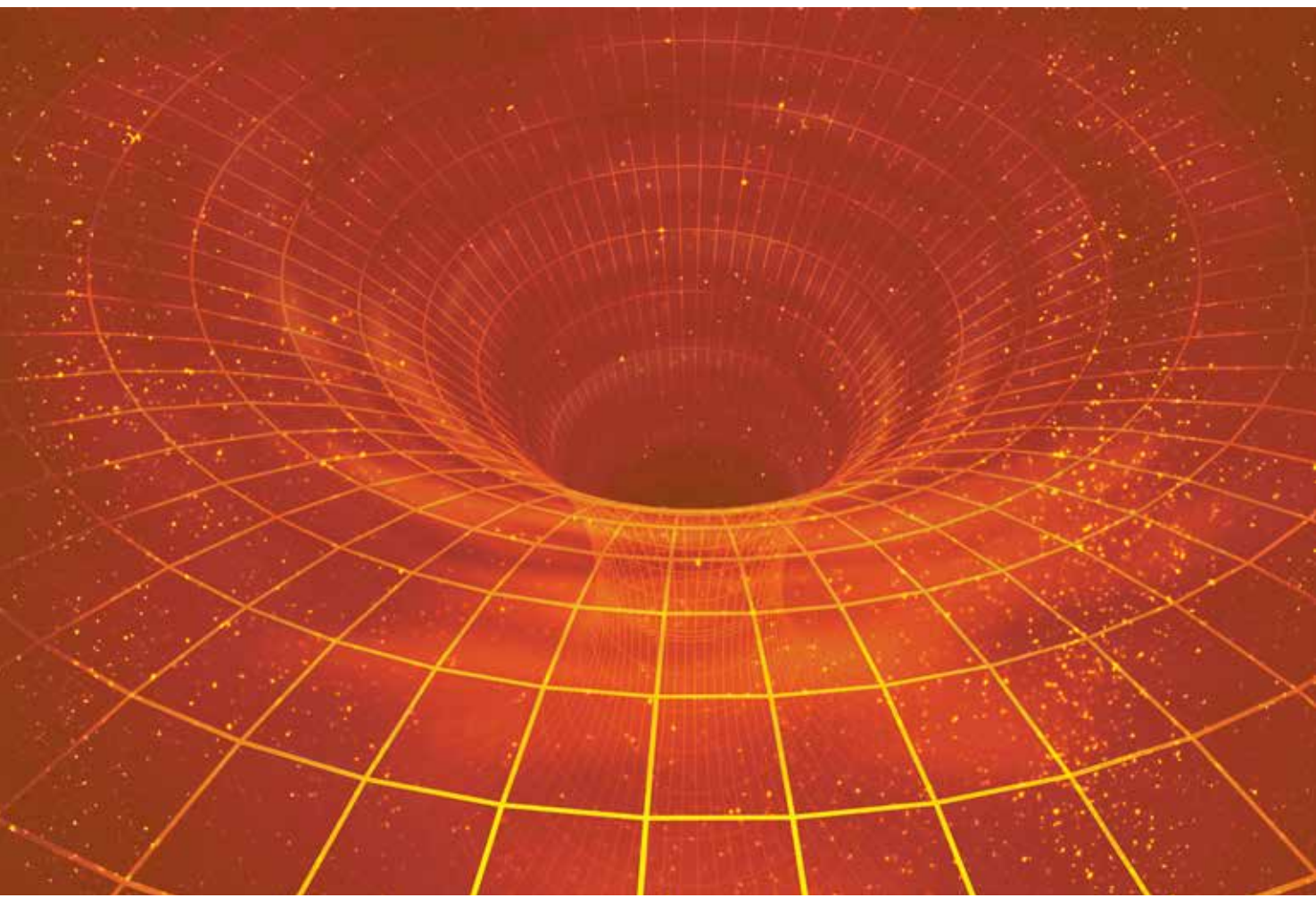


მერაბ ტულუში, თეიმურაზ შენგელია,
თემურ შენგელია, ოთარ ღონღაძე

ფიზიკა

მოსწავლის წიგნი
მეორე სემესტრი

10



გამომცემლობა „საქართველოს მაცნე“

მერაბ ტულუში, თეიმურაზ შენგელია,
თემურ შენგელია, ოთარ ღონღაძე

ფიზიკა

მოსწავლის წიგნი

10

II სემესტრი

გრიფინიჭებულია საქართველოს განათლებისა და
მეცნიერების სამინისტროს მიერ 2022 წელს



გამომცემლობა „საქართველოს მაცნე“

ფიზიკა 10

მოსწავლის წიგნი

II სემესტრი

ავტორები:

მერაბ ტულუში, შპს „მეექვსე საავტორო სკოლის“ ფიზიკის მასწავლებელი;

თეიმურაზ შენგელია, კერძო სკოლა „მერმისის“ ფიზიკის მასწავლებელი;

თემურ შენგელია, ქართულ-ამერიკული სკოლის ფიზიკის მასწავლებელი;

ოთარ ლონლაძე, ვ. კომაროვის სახელობის თბილისის ფიზიკა-მათემატიკის 199-ე
საჯარო სკოლის ფიზიკის მასწავლებელი

რედაქტორი: **ნათელა თუხარელი**

დიზაინერ-დამკაბადონებელი **ლია მოსეშვილი**

გამომცემლობა „საქართველოს მაცნე“

მის: ქ. თბილისი, ე. მაღალაშვილის ქ. №5

ტელ: 568 10 54 67; 574 40 08 57

ელ. ფოსტა: info@saqmatsne.ge

www.saqmatsne.ge

© გამომცემლობა „საქართველოს მაცნე“

© მერაბ ტულუში, თეიმურაზ შენგელია, თემურ შენგელია, ოთარ ლონლაძე

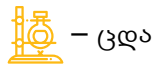
I გამოცემა, 2022 წელი

ISBN 978-9941-16-827-7

სარჩევი

თავი I. ელექტრული დენი	5
§ 1 ელექტრული დენი. დენის წყარო	6
§ 2 ელექტრული წრედი და მისი შემადგენელი კომპონენტები	9
§ 3 ელექტრული დენის მოქმედებები	12
§ 4 დენის ძალა და მისი ერთეული	15
§ 5 დენის ძალის გაზომვა. ამპერმეტრი.....	19
§ 6 დამუხტული ნაწილაკების მიმართული მოძრაობის სიჩქარე დენიან გამტარში	21
§ 7 ძაბვის გაზომვა. ვოლტმეტრი	24
§ 8 გამტარის ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი. გამტარობა. წინაღობა	28
§ 9 ომის კანონი წრედის უბნისათვის	33
§ 10 კუთრი წინაღობა. რეოსტატი	36
§ 11 გამტარის წინაღობის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე	41
§ 12 ზეგამტარობა	46
§ 13 გამტარების მიმდევრობითი შეერთება	50
§ 14 გამტარების პარალელური შეერთება	54
§ 15 დამატებითი წინაღობა. შუნტი	59
§ 16 დენის მუშაობა და სიმძლავრე.....	63
§ 17 ჯოულ-ლენცის კანონი.....	67
§ 18 ელექტრომამოძრავებელი ძალა	71
§ 19 ომის კანონი სრული წრედისათვის	73
§ 20 ელექტრული წრედი დიდი და მცირე გარე წინაღობისას. დენის წყაროს მქც	77
§ 21 ლაბორატორიული სამუშაო. დენის წყაროს ემძ-ისა და შიგა წინაღობის გამოთვლა.....	81
I თავის შემაჯამებელი ამოცანები.....	82
თავი II. ელექტრული დენი სხვადასხვა გარემოში	85
§ 22 ელექტრული დენი ლითონებში	86
§ 23 ელექტროლიტური დისოციაცია. ელექტროლიზი	88
§ 24 ელექტროლიზის კანონები.....	91
§ 25 ელექტროლიზის გამოყენება	96
§ 26 ელექტრული დენი აირებში.....	99
§ 27 არათავისთავადი და თავისთავადი განმუხტვა	102
§ 28 პლაზმა	108
§ 29 ელექტრული დენი ვაკუუმში	110
§ 30 ნახევარგამტარები. საკუთარი გამტარებლობა.....	114
§ 31 მინარევული გამტარებლობა. p-n გადასასვლელი.....	118
§ 32 ნახევარგამტარული დიოდი. ტრანზისტორი	121
II თავის შემაჯამებელი ამოცანები.....	127
უსაფრთხოების წესები ელექტრული დენით სარგებლობისას	128
ცხრილები	129
საგნობრივი საძიებელი	132
პასუხები	133

პირობითი ნიშნები



– ცდა



– ამოხსენით ამოცანები



– გაიხსენეთ



– ერთად ამოვხსნათ ამოცანა



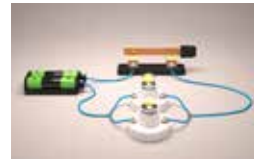
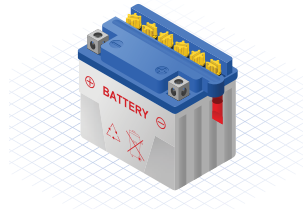
– დაფიქრდით



– ჯგუფური მუშაობა

თავი I

ელექტრული დენი



ამ თავში თქვენ გაეცნობით:

- ელექტრულ დენს და დენის წყაროებს;
- ელექტრულ წრედს და მის შემადგენელ ელემენტებს;
- დენის ძალისა და ძაბვის გაზომვას;
- გამტარის წინააღობას და მის თვისებებს;
- გამტარების მიმდევრობით და პარალელურ შეერთებას;
- ელექტრული დენის მუშაობას და სიმძლავრეს. ჯოულ-ლენცის კანონს;
- ელექტრომაგნიტურ ძალას და ომის კანონს.

§ 1 ელექტრული დენი. დენის წყარო

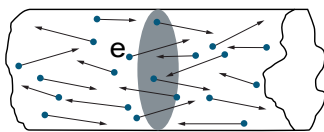
ჩვენი თანამედროვე ყოფა წარმოუდგენელია განათებული ქუჩების და სახლების, მატარებლის, ტრამვაის, ელექტროძრავის, სკუტერის, აგრეთვე ტელევიზორის, კომპიუტერის, სმარტფონის და მრავალი სხვა მოწყობილობის გარეშე. თქვენ იცით, რომ მათი მუშაობისათვის საჭიროა ელექტრული დენი, მაგრამ რას წარმოადგენს ის?

დამუხტული ნაწილაკების მოწესრიგებულ, მიმართულ მოძრაობას **ელექტრული დენი** ეწოდება. ტერმინი დენი გამოხატავს დინებას, ელექტრული დენი კი – დამუხტული ნაწილაკების დინებას, ანუ მიმართულ მოძრაობას.

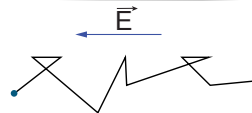
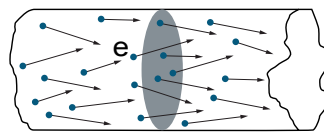
წინა თავებში უკვე გაცანით დამუხტული ნაწილაკების ერთი მიმართულებით მოძრაობას, მაგალითად, სხეულის გავლენით ან შეხებით დამუხტვით შესწავლისას, მაგრამ ელექტრულ დენს და მასთან დაკავშირებულ მოვლენებს ამ თავში უფრო დანვრილებით განვიხილავთ.

ელექტრული დენის განმარტებიდან გამომდინარე, ნებისმიერ გარემოში მისი აღძვრისა და არსებობისათვის აუცილებელია ის შეიცავდეს საკმარისი რაოდენობის თავისუფალ დამუხტულ ნაწილაკებს, ანუ ისეთ ნაწილაკებს, რომლებსაც შეუძლიათ მთელ გარემოში თავისუფალი გადაადგილება. ასეთ ნაწილაკებს მუხტის **გადამტანებს** უწოდებენ. მაგალითად, ლითონებში ასეთი ნაწილაკებია თავისუფალი ელექტრონები, რომელთა რაოდენობა 1 სმ^3 -ში 10^{23} რიგისაა. შემდგომში თქვენ შეისწავლით დენის გავლის პროცესს სხვადასხვა გარემოში, რომლებშიც მუხტის გადამტანები ელექტრონების გარდა შეიძლება იყოს დადებითი და უარყოფითი იონები.

გარემოში დენის არსებობისთვის, მხოლოდ ამ პირობის შესრულება საკმარისი არ არის. ამასთან ერთად, აუცილებელია თავისუფალი დამუხტული ნაწილაკები გადაადგილდეს გარკვეული მიმართულებით. თუ დამუხტული ნაწილაკები გარემოში მხოლოდ ქაოსურად მოძრაობენ, მაშინ მათ მუხტი არ გადააქვთ. მაგალითად, ლითონებში გამტარის ნებისმიერ განივკვეთს ორი საპირისპირო მიმართულებით საშუალოდ თავისუფალი ელექტრონების ერთნაირი რაოდენობა კვეთს (სურ. 1). გამტარის განივკვეთში მუხტის გადატანა მხოლოდ მაშინ, მოხდება, თუ ქაოსურ მოძრაობასთან ერთად ელექტრონები მიმართულ მოძრაობაშიც მონაწილეობს. ამისთვის კი საჭიროა გამტარში არსებობდეს ელექტრული ველი (სურ. 2), ანუ მის ბოლოებს შორის არსებობდეს გარკვეული ძაბვა.



სურ. 1

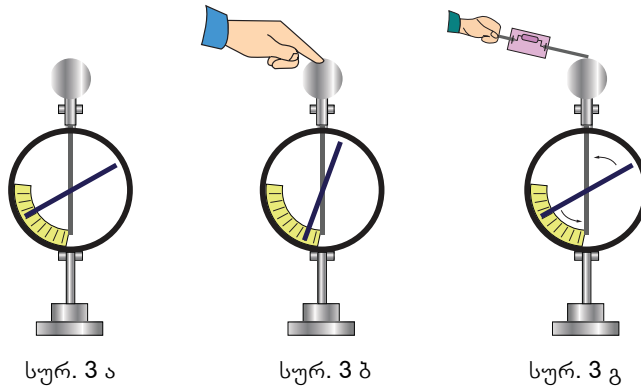


სურ. 2



ჩავატაროთ ცდა. დავმუხტოთ ელექტრომეტრი (სურ. 3ა) და შევეხოთ თითით. თუ მიწასთან კონტაქტი გვაქვს, მუხტი ჩვენი სხეულის გავლით ელექტრომეტრიდან გადავა მიწაში, ანუ ჩვენში გაივლის დენი, თუმცა მას ვერ ვიგრძნობთ (სურ. 3ბ). თუ

დამუხტულ სფეროს ნეონის ნათურიანი ლითონის გამტარით შევეხებით (სურ. 3 გ), დავინახავთ, რომ ნათურა მცირე ხნით გაანათებს.



სურ. 3 ა

სურ. 3 ბ

სურ. 3 გ

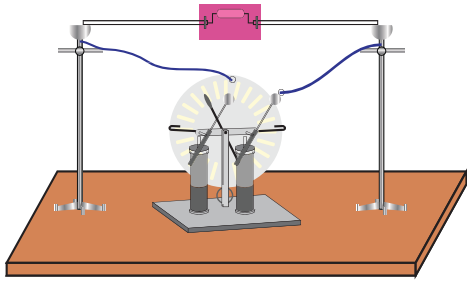
იმისათვის, რომ დენმა გამტარში ხანგრძლივად იარსებოს, საჭიროა მის ბოლოებს შორის ძაბვის შენარჩუნება. სწორედ ამას უზრუნველყოფს დენის წყაროები, რომელთა მუშაობის პრინციპებს შემდგომში გავეცნობით. 1800 წელს ალესანდრო ვოლტამ შექმნა პირველი დენის წყარო – ელექტრული ბატარეა (სურ. 5), რომლის მეშვეობით მიიღო ელექტრული დენი შედარებით ხანგრძლივი დროის განმავლობაში. ამ აღმოჩენამ საფუძველი ჩაუყარა სამეცნიერო-ტექნიკური პროგრესის ახალ ეპოქას, რომელმაც სულ სხვა დონეზე აიყვანა ჩვენი ცივილიზაცია. ყველა დენის წყაროში (გალვანურ ელემენტში, მექანიკურ გენერატორში, მზის ბატარეაში, თერმონწყვილებში და სხვა) (სურ. 6) დადებითი და უარყოფითი მუხტები ერთმანეთისაგან განცალკევდება, რის გამოც დენის წყაროს მომჭერებს შორის აღიძვრება ძაბვა. დენის წყაროების მოქმედების პრინციპი სხვადასხვაა, მაგრამ ყველა მათგანში ელექტრული ენერგია მიიღება სხვა სახის (ქიმიური, მექანიკური, სინათლის, შინაგანი და სხვა) ენერგიიდან.



სურ. 5



სურ. 6



სურ. 7

დენის წყაროა მაგალითად, ელექტროფორული მანქანაც (სურ. 7), რომელშიც სხვადასხვა ნიშნის მუხტების განცალკევება ხდება მისი დისკოების ბრუნვის (მექანიკური ენერჯის) ხარჯზე. მანქანის ერთ პოლუსზე იქმნება ელექტრონების სიჭარბე, ხოლო მეორეზე – ელექტრონების ნაკლებობა. პოლუსებს შორის წარმოიქმნება ძაბვა. თუ პოლუსებს ნეონის ნათურიანი გამტარით შევაერთებთ, მასში გაივლის დენი და ნათურა აინთება – ელექტრონები ამოძრავდება იმ პოლუსიდან, სადაც მათი სიჭარბეა მეორე პოლუსისაკენ, რომელზეც მათი ნაკლებობაა. ნათურა გაანათებს მანამ, სანამ შენარჩუნდება ძაბვა პოლუსებს შორის, ანუ ვიდრე ელექტროფორული მანქანის დისკოები იბრუნებს.

რავდება იმ პოლუსიდან, სადაც მათი სიჭარბეა მეორე პოლუსისაკენ, რომელზეც მათი ნაკლებობაა. ნათურა გაანათებს მანამ, სანამ შენარჩუნდება ძაბვა პოლუსებს შორის, ანუ ვიდრე ელექტროფორული მანქანის დისკოები იბრუნებს.

დასკვნები:

- დამუხტული ნაწილაკების მონესრიგებულ, მიმართულ მოძრაობას ელექტრული დენი ეწოდება;
- გარემოში დენის არსებობისათვის აუცილებელია შესრულდეს ორი პირობა: ა) მასში უნდა იყოს თავისუფალი დამუხტული ნაწილაკები და ბ) მასში უნდა არსებობდეს ელექტრული ველი;
- მოწყობილობას, რომელიც გამტარის ბოლოებს შორის ძაბვას ინარჩუნებს დენის წყარო ეწოდება. დენის წყაროებია: გალვანური ელემენტი, მექანიკური გენერატორი, მზის ბატარეა, თერმოწყვილი და სხვა;
- ყველა დენის წყაროში ელექტრული ენერჯია მიიღება სხვა სახის (ქიმიური, მექანიკური, შინაგანი, სინათლის და სხვა) ენერჯისაგან.

საკონტროლო კითხვები:

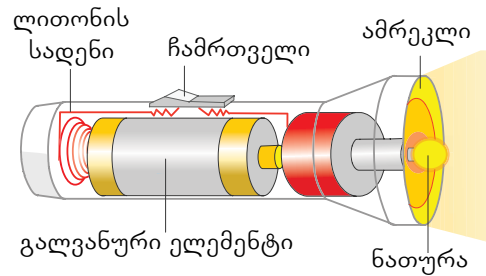
1. რატომ არ მიიღება გამტარში ელექტრული დენი თავისუფალი ელექტრონების ქაოსური მოძრაობით?
2. მიუხედავად იმისა, რომ ლითონის სხეულში უამრავი თავისუფალი ელექტრონია, მისი გადაადგილებით ელექტრული დენი არ მიიღება. რატომ?
3. თქვენი აზრით, დენის რომელ წყაროს გამოიყენებენ კოსმოსურ სადგურზე ელექტრული ხელსაწყოებისათვის?



გადადით <https://bit.ly/3SEVYfj> ბმულზე და ნახეთ ანიმაცია „ელექტრული დენის გავლა წრედში“

§ 2 ელექტრული წრედი და მისი შემადგენელი კომპონენტები

კომპიუტერის, მობილური ტელეფონის, ტელევიზორის, მაცივრის, სარეცხი მანქანის, ციფრული ფოტოაპარატის, უთოს და სხვა ელექტრული ხელსაწყო მუშაობისათვის საჭიროა ისინი დენის წყაროს შევუერთოთ. ეს შეერთება შეიცავს საჭირო კომპონენტების გარკვეულ ნაკრებს, რომლის ცალკე გამოყოფისა და დანიშნულების გასაგებად განვიხილოთ უმარტივესი ელექტრული მოწყობილობა – ჯიბის ფარანი (სურ. 8).



სურ. 8

ჯიბის ფარანში დენის წყაროდ გამოიყენება გალვანური ელემენტი ან აკუმლატორი, რომელსაც აქვს ორი გამომყვანი (პოლუსი). გამომყვანს, რომელზეც გროვდება ჭარბი დადებითი მუხტი, აწერია ნიშანი „+“, ხოლო რომელზეც ჭარბი უარყოფითი მუხტი – ნიშანი „-“. მეორე აუცილებელი კომპონენტია ელექტრული ენერჯის მომხმარებელი. ჯიბის ფარანში ეს არის ნათურა (სურ. 9). ნებისმიერ მომხმარებელს ასევე აქვს ორი გამომყვანი.



სურ. 9

დენის წყარო და მომხმარებელი ერთმანეთთან დაკავშირებულია შემაერთებელი კომპონენტებით – გამტარი სადენებით, რომელსაც ხშირად ლითონის მავთულები წარმოადგენს. სადენების მისაერთებლად იყენებენ მირჩილვას ან შედუღებას, ასევე მომჭერებს და სხვადასხვა მოწყობილობებს (სურ. 10).

მომხმარებლის მარტივად ჩართვისა და გამორთვისათვის გამოიყენება ჩამრთველი (ამომრთველი), ლილაკი და გადამრთველი.



სურ. 10

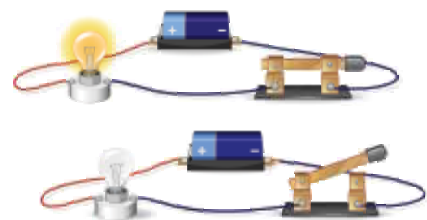
გარკვეული წესით სადენებით შეერთებული დენის წყარო, მომხმარებელი, ჩამრთველი (ამომრთველი) ქმნის **ელექტრულ წრედს**. იგი ორი უზნისაგან შედგება: შიგა წრედი – ყველაფერი, რაც დენის წყაროშია მოთავსებული და გარე წრედი – შემაერთებული სადენები, მომხმარებელი, ჩამრთველი (ამომრთველი).

წრედში დენის არსებობისათვის, აუცილებელია ის იყოს შეკრული, ანუ შედგებოდეს მხოლოდ დენის გამტარი კომპონენტებისაგან. თუ წრედის რომელიმე უბანზე წრედი განწყდება, მასში მასში დენიც შეწყდება. ამაზეა დაფუძნებული ჩამრთველების მოქმედება.

ადამიანის ორგანიზმი ელექტრული დენის კარგი გამტარია. თუ ის წრედის ნაწილი გახდება, მასში დენი გაივლის, რაც სიცოცხლისათვის საფრთხის შემცველია. ამიტომ,

ელექტრულ წრედებთან მუშაობისას საჭიროა დავიცვათ უსაფრთხოების წესები, რომლებსაც სახელმძღვანელოს 128-ე გვერდზე გაეცნობით.

სურ. 11-ის მიხედვით ავანყოთ ელექტრული წრედი. პირველ შემთხვევაში წრედი შეკრულია და ნათურა ანათებს. მეორე შემთხვევაში ჩამრთველი გამორთულია, წრედში დენი არ გადის და ნათურა არ ანათებს.



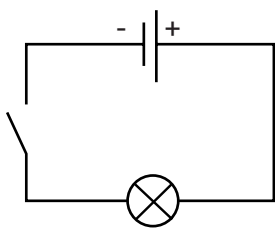
სურ. 11

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

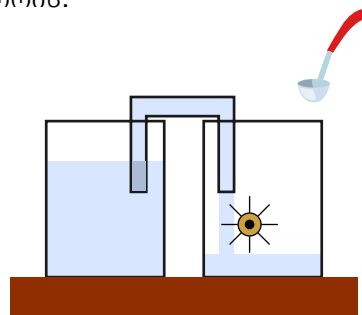
კომპონენტი	პირობითი ნიშანი	კომპონენტი	პირობითი ნიშანი
გალვანური ელემენტი ან აკუმულატორი		მომჭერები ხელსაწყოს ჩასართავად	
ელემენტების ან აკუმულატორების ბატარეა		ლილაკი	
ჩამრთველ-ამომრთველი		გამტართა გადაკვეთა შეერთების გარეშე	
სადენი, გამტარი		ნათურა	
გამტართა შეერთება		ელექტროზარი	

სურ. 12-ზე მოცემულია ჩვენს მიერ შედგენილი წრედის ელექტრული სქემა.

ელექტრული წრედის კომპონენტების დანიშნულების უკეთ გასაგებად, განვიხილოთ მისი მექანიკური ანალოგი. იგი შედგება ორი წყლიანი ჭურჭლისაგან, მილისაგან და ფრთებიანი ბორბლისაგან. მეორე ჭურჭლიდან პირველში წყლის გადასასხმელად, გამოვიყენოთ ჩამჩა (სურ. 13). თუ მილის ერთ ბოლოს ჩავუშვებთ პირველ ჭურჭელში, რომელშიც წყლის დონე უფრო მაღალია, მილის მეორე ბოლოში შეგვიძლია მივიღოთ წყლის ნაკადი, რომელიც ფრთებიან ბორბალს დაატრიალებს. ბორბალმა შეუჩერებლად რომ იტრიალოს, საჭიროა წყლის მუდმივი ნაკადის უზრუნველყოფა, ანუ ჭურჭლებს შორის წყლის დონეთა სხვაობის შენარჩუნება. ამისთვის კი საჭიროა მეორე ჭურჭელში გადმოსხმული წყალი ჩამჩით ისევ პირველ ჭურჭელში დავაბრუნოთ. ანალოგიურად, ელექტრული დენი წრედში არ შეწყდება, ვიდრე დენის წყარო მუშაობს. ერთი პოლუსიდან მეორეში მუხტის მუდმივი გადატანით, დენის წყარო ქმნის და ინარჩუნებს პოტენციალთა სხვაობას პოლუსებს შორის.



სურ. 12



სურ. 13



ელექტრული წრედის რომელი კომპონენტის ანალოგიაა წყლიანი მილი? თუ მილში ონკანს ჩავაყენებთ და გადავკეტავთ, წყლის ნაკადი შეწყდება.



ელექტრული წრედის რომელი კომპონენტის ანალოგიაა ონკანი?

ფრთებიანი ბორბალი დენის მომხმარებლის ანალოგიაა.

თუ მილში წყალს გავყინავთ, ნაკადი მაშინაც შეწყდება, ვინაიდან წყლის მოლეკულები თავისუფლად ვეღარ გადაადგილდება. ანალოგიურად, ელექტრულ წრედში დენის არსებობისათვის საჭიროა, მისი კომპონენტები თავისუფალ დამუხტულ ნაწილაკებს შეიცავდეს.

შემდეგ პარაგრაფებში განსხვავებულ თავისუფალ დამუხტულ ნაწილაკების შემცველ გამტარებს განვიხილავთ.

დასკვნები:

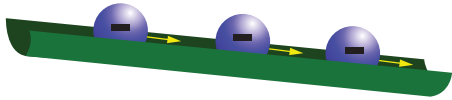
- გარკვეული წესით სადენებით შეერთებულ დენის წყაროს, მომხმარებელს, ჩამრთველს (ამომრთველს) ელექტრულ წრედი ეწოდება;
- ნახაზს, რომელზეც გამოსახულია ელექტრული წრედის შემადგენელი ნაწილების შეერთების წესი, ელექტრულ სქემას უწოდებენ;
- ელექტრულ სქემაში წრედის კომპონენტებს პირობითი ნიშნებით გამოსახავენ.

საკონტროლო კითხვები:

1. პარაგრაფში დასახელებული ელექტრული ხელსაწყოების გარდა, რომელ ელექტრულ ხელსაწყოებს იცნობთ?
2. რა იგულისხმება შიგა წრედში?
3. რა კომპონენტებისგან შედგება გარე წრედი?
4. ელექტროზარის დარეკვისას, რა ფუნქცია აქვს ლილაკს?

§ 3 ელექტრული დენის მოქმედებები

თქვენ უკვე იცით, რომ ელექტრულ დენი დამუხტული ნაწილაკების მიმართულ მოძრაობას წარმოადგენს. ამ დამუხტულ ნაწილაკებს ხშირად მუხტის გადამტანებს უწოდებენ. ისინი შეიძლება სხვადასხვაგვარი იყოს. დენის განმარტების თანხამად, მუხტის



სურ. 14

გადამტანებად შეიძლება მივიჩნიოთ, მაგალითად, დამუხტული მინის ბურთულები, რომლებიც დახრილ ლარში მოძრაობენ (სურ. 14). მაგრამ ასეთი შემთხვევები ელექტრული დენისათვის არატიპურია – უმეტეს შემთხვევაში სხვადასხვა გარემოში ელექტრული დენი არის თავისუფალი ელექტრონების ან იონების მიმართული მოძრაობა.

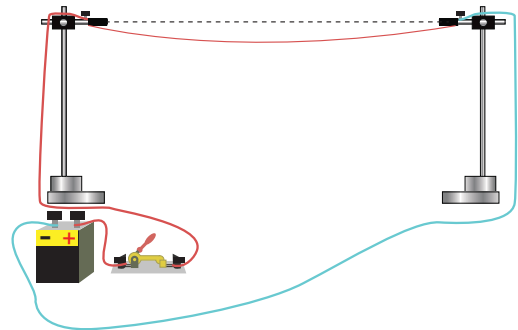
პირველ შემთხვევაში ამბობენ, რომ გვაქვს ელექტრონული გამტარებლობა, მეორე შემთხვევაში კი – იონური გამტარებლობა. არსებობს შერეული გამტარებლობაც, რომლის დროსაც მუხტის გადამტანები არიან ელექტრონებიც და იონებიც.

გამტარში დენის გავლისას, მასში ელექტრონების ან იონების მოძრაობის დანახვა შეუძლებელია. მაშ, როგორ დავადგინოთ გამტარში დენის არსებობა? ელექტრულ დენზე შეიძლება ვიმსჯელოთ მხოლოდ იმ მოვლენებით, რომელსაც ის იწვევს. ასეთ მოვლენებს დენის მოქმედებებს უწოდებენ. ცდით დავაკვირდეთ ზოგიერთ მათგანს.



ჩავატაროთ ცდა. ნიკელის ან რკინის

გაჭიმული გამტარი დენის წყაროს პოლუსებთან შევაერთოთ (სურ. 15), მასში გაივლის დენი, ის გაცხელდება, მოიმატებს სიგრძეში და ოდნავ ჩამოეშვება. ეს **დენის სითბური მოქმედების** მაგალითია.



სურ. 15

ელექტროჩაიდანის, უთოს, ოთახის ელექტროგამათბობლის, ელექტროქურის (სურ. 16) და სხვა საყოფაცხოვრებო მოწყობილობების მუშაობა დენის სითბურ მოქმედებაზეა დამყარებული. დენის სითბური მოქმედება ფართოდ გამოიყენება სოფლის მეურნეობასა და მრეწველობაში: ინკუბატორებისა და სათბურების გათბობა, ბურლულეულის გაშრობა, ლითონების დნობა, ქრა, შედუღება და სხვა.



სურ. 16

ბუნებაში ელექტრული დენის სითბური მოქმედების გამოვლენაა მეხის დაცემით გამოწვეული ტყის ხანძარი (სურ. 17).

წრედში ვარვარების ნათურის ჩართვისას, მისი ვოლფრამის ძაფი გახურდება და დაიწყებს ნათებას (სურ. 18). მასში ელექტრული ენერგიის ნაწილი სინათლის ენერგიაში გადადის. აღსანიშნავია, რომ ვარვარების ნათურისათვის ეს მაჩვენებელი დაახლოებით 5%-ია. თანამედროვე ეკონათურებში კი სინათლედ გარდაიქმნება ელექტრული ენერგიის 50% (სურ. 19).



სურ. 17



სურ. 18



სურ. 19



თუ მყავების, მარილების ან ტუტეების ხსნარებში დენს გავატარებთ, მაშინ ხსნარში ჩაშვებულ ელექტროდებზე მიმდინარეობს ქიმიური რეაქციები: მათზე გამოიყოფა ხსნარში შემავალი ნივთიერებები. მაგალითად, შაბიამნის (CuSO_4) ხსნარში დენის გატარებისას (სურ. 20 ა) უარყოფითად დამუხტულ ელექტროდზე გამოიყოფა სუფთა სპილენძი (Cu) (სურ. 20 ბ). ასეთ შემთხვევაში საქმე გვაქვს ელექტრული **დენის ქიმიურ მოქმედებასთან**.



სურ. 20 ა




სურ. 20 ბ

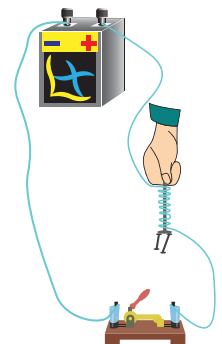
ყველა გამტარში დენი ქიმიურ მოქმედებას არ იწვევს. მაგალითად, ლითონებში დენის გავლისას ქიმიური ცვლილებები არ მიმდინარეობს. ამიტომ გამტარებს ორ ჯგუფად ყოფენ: პირველი გვარის გამტარები, რომლებშიც ელექტრული დენი ქიმიურ ცვლილებებს არ იწვევს (ლითონები, ნახშირი) და მეორე გვარის გამტარები, რომლებშიც ელექტრული დენის გავლა მათ შემადგენელ ნაწილებად შლის. მეორე გვარის გამტარებს **ელექტროლიტებს** უწოდებენ.

ელექტრული დენის სითბურ და ქიმიურ მოქმედებებს მომდევნო პარაგრაფებში დანვრილებით გაეცნობით.

თუ გამტარში ელექტრულ დენს გავატარებთ, ის მაგნიტურ თვისებებს შეიძენს.

 ჩავატაროთ ცდა. დავახვიოთ ლურსმანზე იზოლირებული მავთული და გავატაროთ მასში დენი. ლურსმანი რკინის საგნებს მიიზიდავს, ანუ გამოავლენს მაგნიტურ თვისებებს (სურ. 21). ჩამრთველის გამორთვის შემდეგ კი ლურსმანზე მიკრული რკინის საგნები ჩამოიყრება.

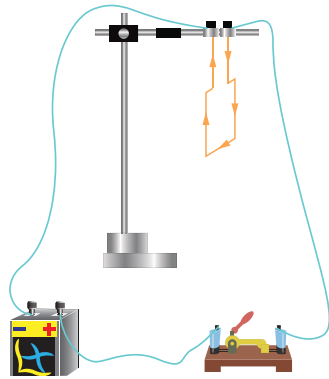
ახლა განვიხილოთ დენიანი გამტარი ჩარჩოს მაგნიტთან ურთიერთქმედება.



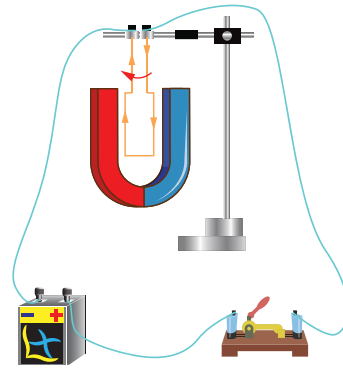
სურ. 21

სურ. 22-ზე ნაჩვენებია სპილენძის მავთულის პატარა ჩარჩო, რომელსაც ადვილად შეუძლია შემობრუნება. ჩარჩოს ბოლოები მიერთებულია დენის წყაროსთან. შესაბამისად, ჩარჩოში გადის ელექტრული დენი, მაგრამ ის უძრავია.

თუ ჩარჩოს მოვათავსებთ მაგნიტის პოლუსებს შორის, მაშინ ის შემობრუნდება, და მაგნიტის მიმართ განსაზღვრულ მდებარეობას დაიკავებს (სურ. 23).



სურ. 22



სურ. 23

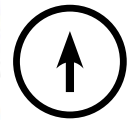
დენიანი ჩარჩოს მაგნიტთან ურთიერთქმედების მოვლენაზეა დამყარებული გალვანომეტრის (სურ. 24) მოქმედების პრინციპი. გალვანომეტრის ისარი დაკავშირებულია ჩარჩოსთან, რომელიც მოთავსებულია მაგნიტის პოლუსებს შორის. ჩარჩოში დენის გავლისას, ის შემობრუნდება და ისარი გადაიხრება. გალვანომეტრის სქემატური აღნიშვნა სურ. 25-ზეა მოცემული.

დენის მაგნიტურ მოქმედებაზეა დამყარებული სხვადასხვა ელექტროძრავებისა და ელექტროგამზომი ხელსაწყოების მუშაობა.

დენის მოქმედებებიდან მაგნიტური მოქმედება იმით გამოირჩევა, რომ ის დენს ყოველთვის თან ახლავს. ელექტრული დენის მაგნიტურ მოქმედებას დანვრილებით შემდგომში გაცნობით.



სურ. 24



სურ. 25

დასკვნები:

- თავისუფალი ელექტრონების მიმართული მოძრაობით განპირობებულ გამტარებლობას ელექტრონულ გამტარებლობას უწოდებენ. იონების მოძრაობით განპირობებულს კი – იონურ გამტარებლობას;
- ელექტრულ დენს ახასიათებს სითბური, ქიმიური და მაგნიტური მოქმედება;
- გამტარებს, რომლებშიც ელექტრული დენის გავლა ქიმიურ ცვლილებებს არ იწვევს, პირველი გვარის გამტარები ეწოდება, ხოლო რომლებშიც იწვევს – მეორე გვარის გამტარები, ანუ ელექტროლიტები.

საკონტროლო კითხვები:

1. რას უწოდებენ შერეულ გამტარებლობას?
2. რაში გამოიხატება დენის სითბური მოქმედება? რომელ ხელსაწყოებში გამოიყენება ის?
3. რაში გამოიხატება დენის ქიმიური მოქმედება? რაში გამოიყენება ის?
4. რაში გამოიხატება დენის მაგნიტური მოქმედება? რომელ ხელსაწყოებში გამოიყენება ის?

§ 4 დენის ძალა და მისი ერთეული

საქართველოში ბევრი მდინარეა. ზოგი საკმაოდ წყალუხვია (სურ. 26), ზოგი კი – წყალმცირე (სურ. 27). ყველა მდინარეში წყლის დინების მიზეზი ერთნაირია – სათავე-სა და შესართავს შორის დონეთა სხვაობა. თუმცა წყლის რაოდენობა, რომელიც ერთსა და იმავე დროში წყალმცირე და წყალუხვი მდინარეების კალაპოტის განივკვეთებში გაედინება, განსხვავებულია. ანალოგიურად, მუხტის რაოდენობა, რომელიც დროის ერთნაირ შუალედებში ჯიბის ფარნისა და პროექტორის ნათურების სადენების განივკვეთებში გადის, მნიშვნელოვნად განსხვავდება ერთმანეთისგან.



სურ. 26



სურ. 27

თქვენ იცით, რომ ფიზიკური მოვლენების, აგრეთვე სხეულთა და ნივთიერებათა თვისებების რაოდენობრივი აღწერისათვის შემოაქვთ ფიზიკური სიდიდეები. მდინარის დინების რაოდენობრივი აღწერისათვის გამოიყენება ფიზიკური სიდიდე **წყლის დებიტი** (ხარჯი), რომელიც გვიჩვენებს მდინარის განივკვეთში დროის ერთეულში გასული წყლის მოცულობას. რა ფიზიკური სიდიდით შეიძლება აღვწეროთ გამტარში დამუხტული ნაწილაკების დინება, ანუ ელექტრული დენი?

როცა თავისუფალი დამუხტული ნაწილაკები, მაგალითად ელექტრონები ან იონები ელექტრულ წრედში მოძრაობს, ადგილი აქვს ერთი უბნიდან მეორეში მუხტის გადატანას. რაც უფრო მეტი დამუხტული ნაწილაკი გაივლის წრედის რაიმე უბანს, მით მეტი იქნება გადატანილი ჯამური q მუხტიც.

სწორედ დროის ერთეულში გამტარის განივკვეთში გასული მუხტი განსაზღვრავს **დენის ძალას**. მას I ასოთი აღნიშნავენ.

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

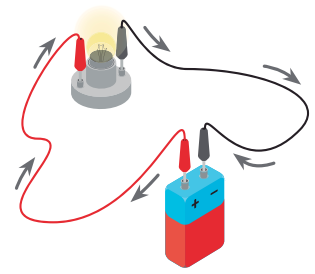
$$I = \frac{q}{t}.$$

ელექტრულ ველში რომელი დამუხტული ნაწილაკების მოძრაობის მიმართულება უნდა მივიჩნიოთ დენის მიმართულებად? რადგან უმეტეს შემთხვევაში საქმე გვაქვს ელექტრულ დენთან ლითონებში, მიზანშეწონილი იქნებოდა დენის მიმართულებად ელექტრონების მოძრაობის მიმართულება აგვეჩიხა, ანუ მიმართულება დენის წყაროს უარყოფითი პოლუსიდან დადებითი პოლუსისაკენ. მაგრამ როცა დენის მიმართულებას ირჩევდნენ, ელექტრონებსა და იონებზე ჯერ არაფერი იყო ცნობილი. ეგონათ, რომ ყველა გამტარში უარყოფით და დადებით მუხტებს ერთდროულად შეეძლოთ გადაადგილება. ამიტომ პირობითად მიიჩნიეს, რომ დენი მიმართულია იქით, საითკენაც მოძრაობს (ან იმოძრაებდა) დადებითი მუხტები, ანუ დენის **წყაროს დადებითი პოლუსიდან უარყოფით პოლუსისაკენ**. ელექტრონის აღმოჩენის შემდეგ (1897 წელი) მიხვდნენ, რომ უკეთესი იქნებოდა დენის მიმართულებად ელექტრონების მოძრაობის

მიმართულება აერჩიათ, მაგრამ ძველი შეთანხმება ძალაში დატოვეს (სურ. 28).

ელექტრულ დენს, რომლის მიმართულება და დენის ძალა არ იცვლება, მუდმივი დენი ეწოდება.

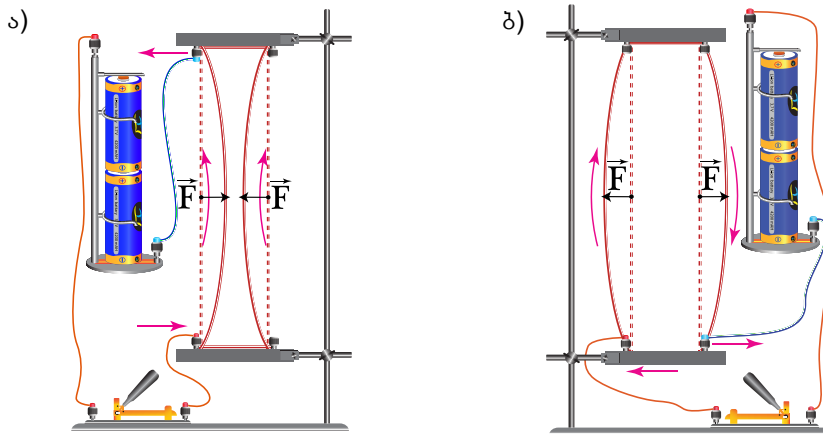
მუდმივი დენის წყაროდ გამოიყენება გალვანური ელემენტი, აკუმულატორი და სხვა.



სურ. 28



ახლა წარმოვიდგინოთ შემდეგი ცდა. სურ. 29 ა,ბ-ზე ნაჩვენებია ერთმანეთის პარალელურად განლაგებული ორი სწორი დრეკადი გამტარი. ორივე მათგანი მიერთებულია დენის წყაროსთან. წრედის შეკვრისას გამტარებში გაივლის დენი. თუ გამტარებში ერთი და იმავე მიმართულების დენი გადის, ისინი ურთიერთმიზიდება (სურ. ა), საწინააღმდეგო მიმართულების დენების შემთხვევაში კი – ურთიერთგანიზიდება (სურ. ბ). ცდებით დადგენილია, რომ დენიან გამტარებს შორის ურთიერთქმედების ძალა დამოკიდებულია გამტარების სიგრძეზე, მათში გამავალ დენის ძალაზე მათ შორის მანძილსა და გარემოზე. ამასთან, ეს ძალა თითოეულ გამტარში გამავალი დენის ძალის პირდაპირპროპორციულია. სწორედ ეს შედეგი გამოიყენეს დენის ძალის ერთეულის დასადგენად.



სურ. 29

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

1 ამპერი არის დენის ძალა, რომელიც ვაკუუმში მოთავსებულ, ერთმანეთისაგან 1 მეტრით დაშორებულ ძალიან გრძელ და წვრილ ორ პარალელურ გამტარში გავლისას სიგრძის ყოველ 1 მეტრზე $2 \cdot 10^{-7}$ ნ ძალით ურთიერთქმედებას იწვევს (2019 წლიდან ეს ერთეული განიმარტა შემდეგნაირად: 1 ამპერი არის დენის ძალა, რომელიც შეესაბამება $1/1,6021766208 \cdot 10^{-19}$ ელემენტარული ელექტრული მუხტის ნაკადს ერთ წამში).



ანდრე მარი ამპერი (1775-1836)

1 ამპერი დენის ძალის მნიშვნელობაზე წარმოდგენის შესაქმნელად მოვიყვანოთ რამდენიმე მაგალითი: ენერგოდამზოგავ ნათურებში გამავალი დენის ძალა $0,04 \div 0,08$ ა-ია, მობილურ ტელეფონებში მუშაობისას – $0,5$ ა, მტვერსასრუტებში $-1,9 \div 4,2$ ა, ავტომატურ სარეცხ მანქანებში $-3 \div 7$ ა, შედუღების აპარატში – $150 \div 1000$ ა და სხვა.

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

ერთი ამპერი SI-ს ერთ-ერთი ძირითადი ერთეულია. 1 კულონი მუხტის ერთეული სწორედ მისი საშუალებითაა განსაზღვრული: $q = It$ ფორმულის თანახმად, $1 \text{ კ} = 1 \text{ ა} \cdot 1 \text{ წმ}$.

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

მობილური ტელეფონის ან სხვა ელექტრომონოცილობის ავტონომიური მუშაობის დრო განისაზღვრება მისი აკუმულატორის ტევადობით, რომელსაც სისტემის გარეშე ერთეულებში – ამპერსაათებში ან მილიამპერსაათებში ზომავენ. 1 ამპერსაათი (1 ა·სთ) არის მუხტი, რომელიც გადის გამტარის განივკვეთში 1 სთ-ის განმავლობაში 1 ა დენის ძალის დროს. $1 \text{ ა} \cdot \text{სთ} = 1 \text{ ა} \cdot 3600 \text{ წმ} = 3600 \text{ კ}$. მაგალითად, თუ მობილური ტელეფონის აკუმულატორის ტევადობა 5000 მა·სთ-ია, ეს ნიშნავს, რომ მას შეუძლია 1 სთ-ის განმავლობაში წრედი 5000 მა დენის ძალით კვებოს, 10 სთ-ის განმავლობაში – 500 მა დენის ძალით და ა.შ.

დასკვნები:

- დენის ძალა ტოლია გამტარის განივკვეთში გასული q მუხტის ფარდობისა დროის იმ t შუალედთან, რომელშიც ამ მუხტმა გაიარა: $I = \frac{q}{t}$;
- დენის მიმართულებად მიჩნეულია დადებითად დამუხტული ნაწილაკების მოძრაობის (ან შესაძლო მოძრაობის) მიმართულება;
- ელექტრულ დენს, რომლის მიმართულება და დენის ძალა არ იცვლება, მუდმივი დენი ეწოდება;
- SI-ში დენის ძალის ერთეულია 1 ამპერი. 1 ამპერი არის დენის ძალა, რომელიც გადის რა ვაკუუმში მოთავსებულ 1 მეტრით დაშორებულ ორ პარალელურ წვრილ გამტარში, მათ ყოველ მეტრზე იწვევს $2 \cdot 10^{-7}$ ნ ძალით ურთიერთქმედებას;
- ერთი კულონი არის მუხტი, რომელიც გადის გამტარის განივკვეთში 1 წმ-ის განმავლობაში 1 ა დენის ძალის დროს.

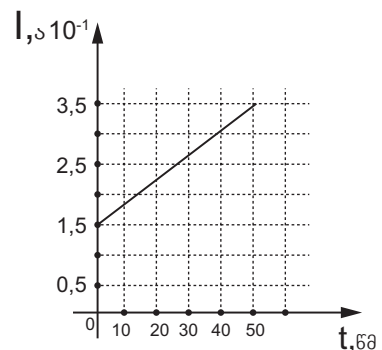
საკონტროლო კითხვები:

1. რა ანალოგია არსებობს გამტარში მუხტების მიმართულ მოძრაობას და მდინარეში წყლის დინებას შორის?
2. იქნება თუ არა ანალოგია, გამტარში მუხტების მიმართულ მოძრაობასა და ცალმხრივი მოძრაობის ქუჩაზე ავტომობილების მოძრაობას შორის? რატომ?
3. რას ნიშნავს, რომ გამტარში გამავალი დენის ძალა 2 ა-ია?
4. თუ ელექტრულ დენს ქმნის უარყოფითად დამუხტული ნაწილაკების მიმართული მოძრაობა, მაშინ როგორია დენის მიმართულება?



ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

სურ. 30-ზე მოცემულია გამტარში გამავალი დენის ძალის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი. იპოვეთ 50 წმ-ში გამტარის განივკვეთში გასული მუხტი. რა ფიზიკური აზრი აქვს გრაფიკის ქვეშ მოთავსებული ფიგურის ფართობს?



სურ. 30

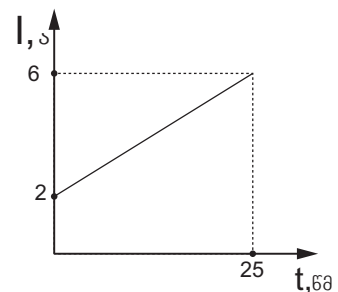
ამოხსნა: ცხადია, როცა დენის ძალა უცვლელია, $I(t)$ დამოკიდებულების გრაფიკის ქვეშ მოთავსებული მართკუთხედის ფართობი რიცხობრივად t დროის შუალედში გამტარის განივკვეთში გასული მუხტის მოდულის ტოლია. როდესაც დენის ძალა იცვლება, t დრო შეიძლება იმდენად მცირე დროის ინტერვალებად დავყოთ, რომ თითოეულში დენის ძალა მუდმივად მივიჩნიოთ. მაშინ გრაფიკის ქვეშ მოთავსებული ზოლის ფართობი რიცხობრივად დროის ამ მცირე ინტერვალში გამტარის განივკვეთში გამავალი მუხტის ტოლი იქნება. თუ ამ ზოლების ფართობებს შევკრებთ, საბოლოოდ მივიღებთ, რომ გრაფიკის ფორმის მიუხედავად, $I(t)$ დამოკიდებულების გრაფიკის ქვეშ მოთავსებული ფიგურის ფართობი რიცხობრივად გამტარის განივკვეთში გამავალი მუხტის მოდულის ტოლია (გაიხსენეთ გადაადგილების პოვნა თანაბარაჩქარებული მოძრაობისას). როცა დენის ძალა დროის მიხედვით წრფივად ცვლადია, მაშინ გრაფიკით შემოსაზღვრული ფიგურა ტრაპეციაა, ამიტომ მისი ფართობი და შესაბამისად, t დროის შუალედში გამტარის განივკვეთში გასული მუხტი ტოლი იქნება: $q = \frac{I_1 + I_2}{2} \cdot t = \frac{1,5 + 3,5}{2} \cdot 50 = 125$ (კ).

პასუხი: გამტარის განივკვეთში 50 ნმ-ის განმავლობაში 125 კ მუხტი გაივლის.



ამოხსენით ამოცანები:

1. განსაზღვრეთ დენის ძალა გამტარში, თუ მის განივკვეთში 2 ნთ-ში 60 კ მუხტი გადის.
2. რამდენჯერ მეტია დენის ძალა პირველ გამტარში, ვიდრე მეორეში, თუ პირველი გამტარის განივკვეთში 2-ჯერ ნაკლებ დროში 3-ჯერ მეტი მუხტი გადის, ვიდრე მეორე გამტარის განივკვეთში?
3. ერთ ნათურაში 8 ნთ-ში 240 კ მუხტმა გაიარა, მეორეში კი 12,5 ნმ-ში – 20 კ მუხტმა. რომელ ნათურაშია დენის ძალა მეტი და რამდენით?
4. რამდენი ელექტრონი გაივლის 1 ნთ-ში ლითონის იმ გამტარის განივკვეთში, რომელშიც 1ა მუდმივი დენი გადის?
5. რამდენი კულონია 1 ა·სთ?
6. რამდენ ხანში განიმუხტება 0,5 ა·სთ ტევადობის ბოლომდე დამუხტული ბატარეა, თუ მასთან მიერთებული მომხმარებელი მუდმივ 0.2 ა დენს მოიხმარს?
7. რამდენ ხანში დაიმუხტება 5%-ით დამუხტული 4000 მა·სთ ტევადობის ბატარეა 85%-მდე, თუ დამტენი მას მუდმივ 2,5 ა დენს აწვდის?
8. სურ. 31-ზე მოცემულია გამტარში გამავალი დენის ძალის დროზე დამოკიდებულების გრაფიკი. იპოვეთ 25 ნმ-ის განმავლობაში ამ გამტარის განივკვეთში გასული მუხტი.
9. ორი ერთნაირი ლითონის ბურთულიდან ერთის მუხტი 20 მკკ-ია, მეორისა კი – 80 მკკ. წვრილი გამტარით შეერთების შემდეგ ბურთულებს შორის მუხტის გადანაწილება 5 მმ-ს გაგრძელდა. განსაზღვრეთ დენის ძალის საშუალო მნიშვნელობა გამტარში.
10. 450 ნფ ტევადობის ბრტყელი კონდენსატორი დამუხტულია 300 ვ-მდე. შემონაფენების წვრილი გამტარით შეერთების შემდეგ კონდენსატორი 0,03 ნმ-ში განიმუხტა. განსაზღვრეთ დენის ძალის საშუალო მნიშვნელობა გამტარში.



სურ. 31

§ 5 დენის ძალის გაზომვა. ამპერმეტრი

როგორც ყველა ფიზიკური სიდიდე, დენის ძალაც შეიძლება იყოს დიდი ან მცირე. თქვენ უკვე იცით, რომ ელექტრული დენის მოქმედებების ინტენსივობა დენის ძალით განისაზღვრება, ამიტომ საჭიროა ვიცოდეთ, როგორ დავადგინოთ წრედში დენის ძალის მნიშვნელობა.

წრედში დენის ძალის მნიშვნელობის განსაზღვრის ერთ-ერთი გზა მისი ხელსაწყოთი გაზომვაა. ამ ხელსაწყოს **ამპერმეტრი** ეწოდება. ისრიანი ამპერმეტრის მოქმედების პრინციპი, ისევე როგორც გალვანომეტრისა, დამყარებულია დენის მაგნიტურ მოქმედებაზე. თანამედროვე ციფრული ამპერმეტრები კი სხვა პრინციპით მუშაობს. მისი სკალა დაგრაფირებულია ამპერებში (მილიამპერებში, კილოამპერებში და სხვა). სურ. 32-ზე ნაჩვენებია სასკოლო ამპერმეტრი. ელექტრულ სქემაზე ამპერმეტრი აღინიშნება წრით, რომელშიც ჩანერილია ასო **A** (სურ. 33).



სურ. 32



სურ. 33

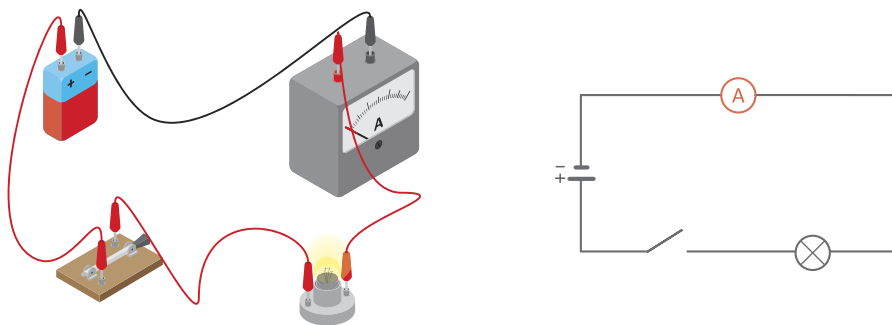
როგორ უნდა ჩავერთოთ ამპერმეტრი წრედში, ისე რომ მან გაზომოს წრედში გამავალი დენის ძალა, და ხელსაწყოც არ დაზიანდეს?

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

მიმდევრობითი შეერთება ეწოდება ისეთ შეერთებას, როდესაც ერთი გამტარის ბოლო უერთდება მეორე გამტარის დასაწყისს, მეორის ბოლო – მესამის დასაწყისს და ა.შ. გამტარებს შორის არ არის წრედის განშტოება. მიმდევრობითი შეერთებას დანერვილებით შემდეგში განვიხილავთ.

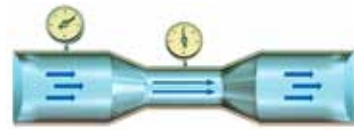
ისრიან ამპერმეტრს წრედში რთავენ ორი მომჭერით. ერთ მათგანს აწერია ნიშანი „+“, ხოლო მეორეს ნიშანი „-“. მომჭერი „+“ ნიშნით აუცილებლად უნდა მივუერთოთ იმ გამტარს, რომელიც მოდის დენის წყაროს დადებითი პოლუსიდან. თანამედროვე ციფრული ამპერმეტრებისათვის ჩართვის წესს მნიშვნელობა არ აქვს.

სურ. 34-ზე ნაჩვენებ წრედში ამპერმეტრი ზომავს ნათურაში გამავალ დენის ძალას. ასეთი წესით აგებულ წრედში დენის ძალა წრედის ყველა უბანზე ერთმანეთის ტოლია. ეს გამომდინარეობს იქიდან, რომ გამტარების ნებისმიერ განივკვეთში დროის ერთეულში გასული მუხტის მნიშვნელობა ერთნაირია. მართლაც, წრედში დენის გავლისას მუხტი მის არცერთ უბანზე არ გროვდება, მსგავსად წყლისა, რომელიც მილში



სურ. 34

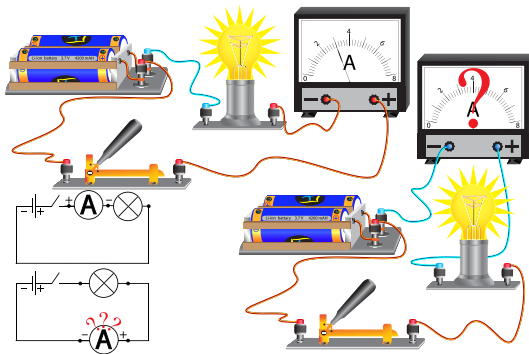
მოძრაობისას არსად გუბდება. იქ, სადაც მილი ვინროა, წყლის წნევა ნაკლებია და მოძრაობის სიჩქარე კი – მეტი, ამიტომ წყლის დებიტი ყველა მილში ერთნაირია (სურ. 35). სწორედ ამიტომ მნიშვნელობა არა აქვს, ამპერმეტრს ნათურამდე ჩავრთავთ, თუ ნათურის შემდეგ – ორივე შემთხვევაში მისი ჩვენება ერთნაირი იქნება (სურ. 36).



სურ. 35

წრედში ამპერმეტრის ჩართვა, გასაზომი დენის ძალის მნიშვნელობაზე გავლენას არ უნდა ახდენდეს. ამპერმეტრი ისეა მოწყობილი, რომ მისი წრედში ჩართვისას დენის ძალა თითქმის არ იცვლება. უფრო დანვრილებით ამ საკითხს და ამპერმეტრის აგებულებას მოგვიანებით გაეცნობით.

ყველა ამპერმეტრის სკალაზე ნაჩვენებია მაქსიმალური დენის ძალის მნიშვნელობა, რომლის გაზომვაც მას შეუძლია. უფრო დიდი დენის გაზომვისას, ამპერმეტრი შეიძლება მწყობრიდან გამოვიდეს. ამასთან, ამპერმეტრის დანაყოფის ფასით განისაზღვრება მისი გაზომვის სიზუსტე.



სურ. 36



სურ. 37

დღესდღეობით ფართოდ გამოიყენება ციფრული ამპერმეტრები, რომლებიც გაზომვის დიდი სიზუსტით და დიპაზონით გამოირჩევა (სურ. 37).

დასკვნები:

- დენის ძალის გასაზომ ხელსაწყოს, ამპერმეტრი ეწოდება;
- მიმდევრობითი შეერთება ეწოდება ისეთ შეერთებას, როდესაც ერთი გამტარის ბოლო უერთდება მეორე გამტარის დასაწყისს, მეორის ბოლო – მესამის დასაწყისს და ა.შ;
- ამპერმეტრს წრედში რთავენ მიმდევრობით იმ მოწყობილობასთან, რომელშიც ზომავენ დენის ძალას;
- ყველა ამპერმეტრის სკალაზე მითითებულია დენის ძალის მაქსიმალური მნიშვნელობა, რომლის გაზომვაც მას შეუძლია.

საკონტროლო კითხვები:

1. როგორია ამპერმეტრის სქემატური აღნიშვნა?
2. რა უდევს საფუძვლად ისრიანი ამპერმეტრის მუშაობას?
3. როგორ უნდა ჩავრთოთ ამპერმეტრი მასზე მითითებული მომჭერების მიხედვით?
4. რატომაა მიმდევრობით შეერთებულ გამტარებში დენის ძალა ერთნაირი?
5. როგორ განვსაზღვროთ ამპერმეტრის დანაყოფის ფასი?

§ 6 დამუხტული ნაწილაკების მიმართული მოძრაობის სიჩქარე დენიან გამტარში

აღბათ გიფიქრიათ, რომ ჩამრთველის ჩართვისას ნათურა მყისიერად ინთება. საინტერესოა, მართლა ასე ხდება, თუ ნათურა გარკვეული დაგვიანებით ინთება? რა სიჩქარით ვრცელდება დენი გამტარში? რაზე დამოკიდებული მუხტის გადამტანი ნაწილაკების მიმართული მოძრაობის სიჩქარე?

ვიდრე ამ კითხვებს ვუპასუხებთ, განვიხილოთ ელექტრული დენის ანალოგიური მექანიკური პროცესი: საქართველოს ტერიტორიაზე მსოფლიოში ერთ-ერთი ყველაზე გრძელი (1768 კმ) ბაქო-თბილისი-ჯეიჰანის ნავთობის მილსადენი გადის (სურ. 38). მილსადენის საქართველოს მონაკვეთის სიგრძე 249 კმ-ია. მილში ნავთობის დინებისათვის საჭიროა მის დასაწყისში ნავთობის წნევის გაზრდა, რაც ტუმბოს მეშვეობით ხდება. წარმოვიდგინოთ, რომ ნავთობის შემოსვლის პუნქტში წნევა გავზარდეთ. წნევის ეს გაზრდა მილში ვრცელდება საკმაოდ დიდი – დაახლოებით 1 კმ/წმ სიჩქარით და 4,15 წთ-ში მიაღწევს მილსადენის საქართველოს მონაკვეთის ბოლო წერტილს. თუმცა ეს არ ნიშნავს, რომ ამ დროში ნავთობის ნაწილაკებიც 249 კმ-ს გაივლის – ისინი ბევრად ნაკლები სიჩქარით მოძრაობს და ამ მანძილის გავლას რამდენიმე დღეს მოანდომებს, ანუ მილში წნევის გადაცემის სიჩქარე ბევრად მეტია ნავთობის ნაწილაკების მოძრაობის სიჩქარეზე.

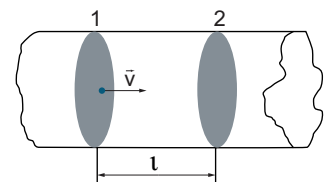


სურ. 38

გამოვიყენოთ ეს ანალოგია ელექტრული დენისათვის.

ელექტრული წრედის შეკვრისას მიმართულ მოძრაობას იწყებს დენის წყაროს პოლუსების მიმდებარედ მყოფი თავისუფალი დამუხტული ნაწილაკები, რაც გამოიწვევს ერთ პოლუსთან მათი რაოდენობის გაზრდას, ხოლო მეორე პოლუსთან – შემცირებას. მუხტის გადამტანი ნაწილაკების გადანაწილების გამო ელექტრული ველი შეიცვლება წრედის მეზობელ უბნებზე, სადაც ასევე ამოძრავდება თავისუფალი დამუხტული ნაწილაკები. ამრიგად, ელექტრული ველის ცვლილების გამო, ერთ ადგილას დაწყებული დამუხტული ნაწილაკების მოძრაობა მთელ წრედში ვრცელდება. ელექტრული ველის ცვლილების გავრცელების სიჩქარე კი ძალიან დიდია – დაახლოებით 300 000 კმ/წმ. ე.ი. დენის გავრცელების სიჩქარე ტოლია გამტარის გასწვრივ ელექტრული ველის ცვლილების გავრცელების სიჩქარისა.

ახლა დავადგინოთ მუხტის გადამტანი ნაწილაკების მიმართული (მონესრიგებული) მოძრაობის საშუალო სიჩქარე დენიან გამტარში. ავიღოთ ცილინდრული ფორმის გამტარი, რომლის განივკვეთის ფართობია S (სურ. 39). ვთქვათ, ელექტრული ველის მოქმედებით q_0 მუხტის მქონე ნაწილაკები მოძრაობს მარცხნიდან მარჯვნივ. გამტარის მოცულობაში, რომელიც შემოფარგლულია l მანძილით დაშორებული 1 და 2 განივკვეთებით, იმყოფება $N=nSl$ ნაწილაკი, რომელშიც n მუხტის გადამტანი ნაწილაკების კონცენტრაციაა (მოცულობის ერთეულში ნაწილაკების რაოდენობა). არჩეულ მოცულობაში მათი საერთო მუხტი ტოლი იქნება:



სურ. 39

$$q = q_0 n S l$$

თუ ნაწილაკების მიმართული მოძრაობის საშუალო სიჩქარეა v , მაშინ $t = \frac{l}{v}$ დროის შუალედში აღნიშნულ მოცულობაში მყოფი ყველა ნაწილაკი გაივლის განივკვეთ 2-ში. ამიტომ დენის ძალა ტოლი იქნება:

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

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

$$v = \frac{I}{q_0 n S}.$$

მაგალითად, $l = 1$ ა დენის ძალისას, $S = 10^{-6}$ მ² განივკვეთის ფართობის სპილენძის გამტარში, რომელშიც თავისუფალი ელექტრონების კონცენტრაციაა $n = 8,5 \cdot 10^{28}$ მ⁻³, მათი მოძრაობის საშუალო სიჩქარეა

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

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

დასკვნები:

- დენის გავრცელების სიჩქარე ტოლია გამტარის გასწვრივ ელექტრული ველის ცვლილების გავრცელების სიჩქარისა (დაახლოებით 300 000 კმ/წმ);
- გამტარში მუხტის გადამტანი ნაწილაკების მიმართული მოძრაობის სიჩქარე ბევრად ნაკლებია ელექტრული დენის გავრცელების სიჩქარეზე.

საკონტროლო კითხვები:

1. რა არის გამტარში ელექტრული ველის ცვლილების ანალოგიური პროცესი ნავთობსადენში?
2. რამდენჯერ მეტია დენის გავრცელების სიჩქარე გამტარში თავისუფალი ელექტრონების მიმართული მოძრაობის სიჩქარეზე?
3. $I = q_0 n v S$ ფორმულის თანახმად რა სიდიდით განისაზღვრება მოცემულ გამტარში გამავალი დენის ძალა?



ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

იპოვეთ ელექტრონების მოწესრიგებული მოძრაობის სიჩქარე 2,5 მმ² განივკვეთის სპილენძის გამტარში, როცა მასში 5 ა დენი გადის. მიიჩნიეთ, რომ სპილენძის ერთ ატომზე ერთი თავისუფალი ელექტრონი მოდის. სპილენძის სიმკვრივე 8900 კგ/მ³-ია, მოლური მასაა 64 გ/მოლი. ავოგადროს რიცხვი $6 \cdot 10^{23}$ -ის ტოლად მიიჩნიეთ.

ამოხსნა: ლითონის გამტარისათვის $I = envs$, საიდანაც $v = \frac{I}{ens}$. ელექტრონების მიმართული მოძრაობის სიჩქარის განსაზღვრისთვის საჭიროა ვიცოდეთ თავისუფალი ელექტრონების n კონცენტრაცია, რომელიც ამოცანის პირობის თანახმად, ატომების

კონცენტრაციის ტოლია. თუ სპილენძის ატომის მასას m_0 -ით აღვნიშნავთ, მაშინ მისი სიმკვრივე შეიძლება ასე ჩავწეროთ: $\rho = m_0 n$, საიდანაც $n = \frac{\rho}{m_0}$. ვინაიდან ნივთიერების მოლური მასა $M = m_0 \cdot N_A$, ამიტომ $m_0 = \frac{M}{N_A}$. n -ისა და m_0 -ის გამოსახულებების სიჩქარის ფორმულაში შეტანით მივიღებთ:

$$v = \frac{IM}{\epsilon_0 N_A} = \frac{5 \cdot 64 \cdot 10^{-3}}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 8900 \cdot 2,5 \cdot 10^{-6} \cdot 6,02 \cdot 10^{23}} \approx 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ (მ/წმ)}.$$

პასუხი: ელექტრონთა მოწესრიგებული მოძრაობის სიჩქარე დაახლოებით $1,5 \cdot 10^{-4}$ მ/წმ-ის ტოლია.



ამოხსენით ამოცანები:


1. დენიან ლითონის გამტარში ელექტრონების მიმართული მოძრაობის სიჩქარე დაახლოებით რამდენიმე მმ/წმ-ია. მიუხედავად ამისა, ჩამრთველის ჩართვისას ნათურა პრაქტიკულად მაშინვე ინთება. როგორ ახსნით ამას?
2. რამდენჯერ სწრაფადაა შესაძლებელი 300 მ მანძილზე სიგნალი გადაცემთ ელექტრულად, ვიდრე ბგერით? ბგერის გავრცელების სიჩქარე ჰაერში 330 მ/წმ-ის ტოლად მიიჩნეთ.
3. წრედში ჩამრთველის ჩართვიდან რამდენ ხანში აინთება მასთან 30 მ სიგრძის გამტარით მიერთებული ნათურა?
4. მიზანშეწონილა თუ არა კომპიუტერის პროცესორის დაკავშირება მონიტორთან 1,5 მ სიგრძის გამტარით, თუ სიგნალის გადაცემის დრო 4 ნსმ-ს არ უნდა აღემატებოდეს?
5. მიმდევრობით შეერთებული ორი ამპერმეტრიდან პირველი 3,4 ა-ს აჩვენებს. რისი ტოლია მეორე ამპერმეტრის ჩვენება, თუ მისი გაზომვის ზღვარი 2-ჯერ მეტია პირველისაზე?
6. რა მუხტი გაივლის ნათურასთან მიმდევრობით შეერთებულ ამპერმეტრში 12 წმ-ში, თუ ნათურაში გამავალი დენის ძალა 2,5 -ია ?
7. რისი ტოლია ელექტრონების მიმართული მოძრაობის საშუალო სიჩქარე ლითონის გამტარში, თუ მასში გამავალი დენის ძალა 0,5 ამპერია, გამტარის განივკვეთის ფართობი – 1 მმ², ხოლო მასში თავისუფალი ელექტრონების კონცენტრაცია 10^{23} სმ⁻³-ის ტოლია?
8. გამოთვალეთ 1 მმ² განივკვეთის ლითონის გამტარში არსებული თავისუფალი ელექტრონების კონცენტრაცია, თუ მასში 2 ა დენისას ელექტრონების მიმართული მოძრაობის საშუალო სიჩქარე 0,5 სმ/წმ-ია.
9. სპილენძის ორი ერთნაირი სიგრძის გამტარი შეერთებულია მიმდევრობით. პირველ გამტარში თავისუფალი ელექტრონების მიმართული მოძრაობის სიჩქარე 1,2 სმ/წმ-ია. განსაზღვრეთ თავისუფალი ელექტრონების მიმართული მოძრაობის სიჩქარე მეორე გამტარში, თუ მისი მასა 4-ჯერ მეტია პირველი გამტარის მასაზე.
10. მიმდევრობით შეერთებული ორი ალუმინის გამტარიდან პირველის განივკვეთის დიამეტრი 3-ჯერ მეტია მეორისაზე. რამდენჯერ მეტია თავისუფალი ელექტრონების მიმართული მოძრაობის საშუალო სიჩქარე მეორე გამტარში, ვიდრე პირველში?

§ 7 ძაბვის გაზომვა. ვოლტმეტრი

საქართველოში, ტრადიციულად, თითქმის ყველა დასახლებულ პუნქტში, მდინარეზე წყლის წისქვილი იყო მოწყობილი (სურ. 40). ასეთ წისქვილში მუშაობა სრულდება წყლის პოტენციალური ენერჯის ხარჯზე, რომელიც მას დედამიწასთან ურთიერთქმედების გამო აქვს. წარმოვიდგინოთ, რომ გვაქვს ერთნაირი დებიტის მქონე ორი მდინარე, მაგრამ მათი წყლის დონეთა სხვაობა განსხვავებულია. რომელი მდინარე შეასრულებს მეტ მუშაობას?



სურ. 40

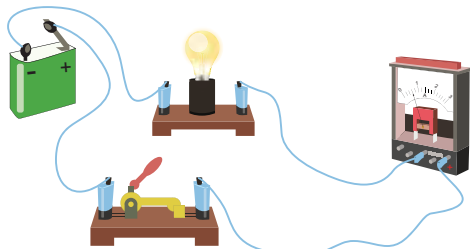
 გავიხსენოთ, რომ სიმძიმის ძალის მიერ შესრულებული მუშაობა გამოითვლება ფორმულით:

$$A = mg(h_1 - h_2),$$

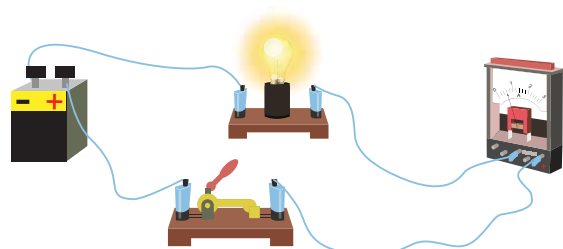
რომელშიც m სხეულის მასაა, ხოლო h_1 და h_2 შესაბამისად, რაიმე დონიდან ათვლილი საწყისი და საბოლოო სიმაღლეებია.

რადგან მდინარეების დებიტი ერთნაირია, ამიტომ მეტ მუშაობას შეასრულებს ის მდინარე, რომლის წყლის დონეთა სხვაობაც მეტია. შესაბამისად, ერთსა და იმავე დროში, ასეთ მდინარეზე მოწყობილი წისქვილი უფრო მეტ მარცვლეულს დაფქვავს, ვიდრე მეორე.

ეს მსჯელობა შეიძლება გამოვიყენოთ ელექტრული დენის შემთხვევაშიც. დენიან გამტარში ელექტრული ველის მოქმედებით მუხტის გადამტანი ნაწილაკები გადაადგილდება. რადგან დამუხტულ ნაწილაკზე ელექტრული ველი მოქმედებს ძალით და ის ამ ძალის მიმართულებით გადაადგილდება, ამიტომ სრულდება მუშაობა, რომელსაც **დენის მუშაობას** უწოდებენ. სურ. 41-ზე ნაჩვენებ წრედში ფარნის ნათურაა ჩართული, დენის წყაროდ კი გალვანური ელემენტი გამოყენებული. ელექტრული დენი ასრულებს მუშაობას, რის გამოც ნათურა ანათებს. ცხადია, დენის შესრულებული მუშაობა დამოკიდებულია ნათურაში დენის ძალაზე, ანუ მასში დროის ერთეულში გასული მუხტის რაოდენობაზე. სურ. 42-ზე ნაჩვენებია წრედი, რომელშიც ჩართულია ავტომობილის განათების ნათურა. დენის წყაროდ კი გამოყენებულია მისი აკუმულატორი. ნათურები ისეთნაირად შეიძლება შევარჩიოთ, რომ ორივე წრედში დენის ძალა ტოლი იყოს, ანუ ამპერმეტრების ჩვენებები იყოს ერთნაირი. მიუხედავად ამისა, მეორე წრედში ნათურა უკეთესად ანათებს, ანუ დენი მეტ მუშაობას ასრულებს. ისმის კითხვა – რატომ?



სურ. 41

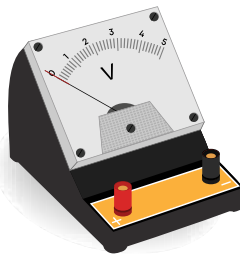


სურ. 42

ნათურის ბოლოებზე არსებული დაბვა მეორე წრედში უფრო მეტია, ვიდრე – პირველში, ანუ ერთი კულონი მუხტის გადატანაზე მეორე ნათურაში ველი უფრო მეტ მუშაობას ასრულებს, ვიდრე პირველში. ეს გასაგებიცაა – დაბვა, რომელსაც ქმნის გალვანური ელემენტი, ნაკლებია ავტომობილის აკუმულატორის მიერ შექმნილ დაბვაზე.

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

ამ მაგალითით დავრწმუნდით, რომ დენის მომხმარებლის ბოლოებზე დაბვის ცოდნა მნიშვნელოვანია. დაბვის განსაზღვრის ერთ-ერთი გზა მისი ხელსაწყოთი გაზომვაა. ამ ხელსაწყოს **ვოლტმეტრი** ეწოდება. სასკოლო ლაბორატორიებში გამოყენებული ვოლტმეტრი ნაჩვენებია სურ. 43-ზე. ისრიანი ვოლტმეტრის მუშაობა დაფუძნებულია დენის მაგნიტურ მოქმედებაზე. გარეგნულად ვოლტმეტრი ძალიან ჰგავს სხვა ელექტროსაზომ ხელსაწყოებს, ამიტომ განსხვავებისთვის მის სკალაზე აწერია ასო **V**. ელექტრულ სქემაზე ვოლტმეტრი აღინიშნება წრით, რომელშიც ჩანერილია ასო **V** (სურ. 44).



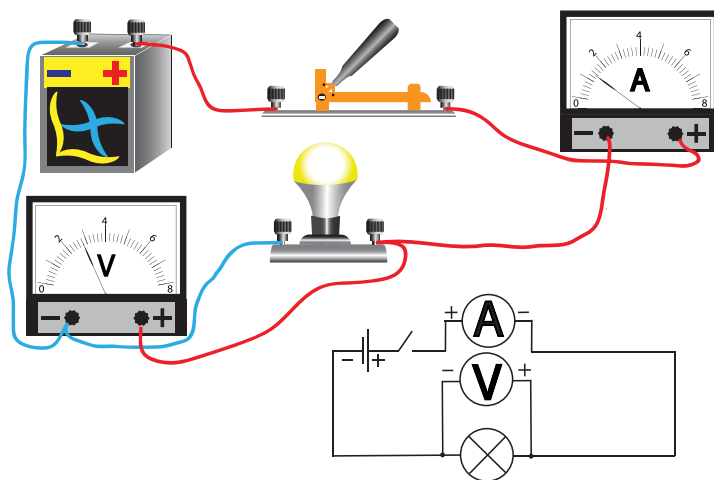
სურ. 43



სურ. 44

ამპერმეტრის მსგავსად, ისრიანი ვოლტმეტრის ერთ-ერთ მომჭერზეც აღნიშნულია ნიშანი „+“, მეორეზე – ნიშანი „-“. მომჭერი „+“ აუცილებლად უნდა მივუერთოთ იმ გამტარს, რომელიც მოდის დენის წყაროს დადებითი პოლუსიდან. თანამედროვე ციფრული ვოლტმეტრებისათვის ჩართვის წესს მნიშვნელობა არა აქვს.

წრედში ვოლტმეტრი ამპერმეტრისაგან განსხვავებულად ირთვება. სურ. 45-ზე ნაჩვენებია წრედი და მისი სქემა, რომელშიც ჩართულია ნათურა, ამპერმეტრი და ვოლტმეტრი.



სურ. 45

დენის ძალა ნათურაში იზომება ამპერმეტრით, რომელიც მასთან მიმდევრობითაა ჩართული. ვოლტმეტრით უნდა გაიზომოს დაბვა ნათურის მომჭერებზე. ამიტომ ისე რთავენ, როგორც სურათზეა ნაჩვენები, კერძოდ, **ვოლტმეტრის მომჭერებს უერთებენ წრედის იმ წერტილებს, რომელთა შორის უნდა გაიზომოს დაბვა**. ასეთ შეერთებას **პარალელური ეწოდება**. გამტართა პარალელურ შეერთებას შემდეგში დანვრით განვიხილავთ.

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

ყველა ვოლტმეტრის სკალაზე ნაჩვენებია ძაბვის მაქსიმალური მნიშვნელობა, რომლის გაზომვაც მას შეუძლია. უფრო დიდი ძაბვის გაზომვისას, ვოლტმეტრი შეიძლება მწყობრიდან გამოვიდეს. ვოლტმეტრის დანაყოფის ფასი განსაზღვრავს მისი გაზომვის სიზუსტეს.

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

დასკვნები:

- ძაბვის გასაზომ ხელსაწყოს ვოლტმეტრი ეწოდება;
- ვოლტმეტრის მომჭერებს უერთებენ წრედის იმ წერტილებს, რომელთა შორის უნდა გაიზომოს ძაბვა.

საკონტროლო კითხვები:

1. მდინარის დონეთა სხვაობა რისი ანალოგიაა ელექტრულ წრედში?
2. რას უწოდებენ დენის მუშაობას?
3. რატომ არის საჭირო დენის მომხმარებლის მომჭერებზე ძაბვის ცოდნა?



ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

გამოთვალეთ 2 მ სიგრძის გამტარის ბოლოებზე მიერთებული ვოლტმეტრის ჩვენება და ელექტრული ველის მიერ 1 სთ-ში შესრულებული მუშაობა, თუ გამტარში ელექტრული ველის დაძაბულობა 48 ვ/მ-ია, მასში გამავალი დენის ძალა კი – 0,5 ა. მიიჩნიეთ, რომ გამტარში ელექტრული ველი ერთგვაროვანია.

ამოხსნა: რადგან გამტარში ელექტრული ველი ერთგვაროვანია, გამტარის ბოლოებს შორის ძაბვა ტოლი იქნება: $U=El=96$ ვ. ამ ძაბვას გვიჩვენებს გამტარის ბოლოებზე მიერთებული ვოლტმეტრიც. გამტარში 1 სთ-ში გადატანილი მუხტის მნიშვნელობა $q=It=0,5 \cdot 3600$ ნმ=1800 კ. შესაბამისად, ელექტრული ძალების მიერ ამ მუხტის გადატანაზე შესრულებული მუშაობა ტოლი იქნება: $A=Uq=96 \cdot 1800$ კვ=172,8 კჯ.

პასუხი: გამტარის ბოლოებზე ძაბვა 96 ვ-ის ტოლია, ელექტრული ძალების შესრულებული მუშაობა კი – 172,8 კჯ.



ამოხსენით ამოცანები:

1. რომელი ვოლტმეტრის ჩვენებაა უფრო ზუსტი, რომლსაც დანაყოფის ფასი მეტი აქვს, თუ რომელსაც – ნაკლები? პასუხი დაასაბუთეთ.
2. იპოვეთ ძაბვა ნათურის ბოლოებზე, თუ მასში 24 კ მუხტის გავლაზე ელექტრული ველი 2400 ჯ მუშაობას ასრულებს?

3. განსაზღვრეთ ნათურაში 15 კ მუხტის გავლაზე ელექტრული ველის მიერ შესრულებული მუშაობა, თუ ნათურის ბოლოებზე ძაბვა 120 ვ-ია.

4. პარალელურად შეერთებული ნათურებიდან პირველში 4-ჯერ მეტმა მუხტმა გაიარა, ვიდრე – მეორეში. რომელ ნათურაში შეასრულა მუხტის გადატანაზე ელექტრულმა ველმა მეტი მუშაობა და რამდენჯერ?

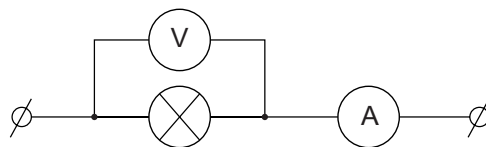
5. რისი ტოლია ვოლტმეტრის ჩვენება, თუ ის მიერთებულია ნათურასთან, რომელშიც 12 კ მუხტის გავლაზე ელექტრული ველი 2640 ჯ მუშაობას ასრულებს?

6. 400 მკვ ტევადობის კონდენსატორის მუხტი 6 კ-ია. რისი ტოლი იქნება ვოლტმეტრის ჩვენება, თუ მას კონდენსატორის შემონაფენებს მივუერთებთ?

7. პარალელურად შეერთებული ნათურებიდან პირველში 3,5-ჯერ მეტი დენი გადის ვიდრე მეორეში. რამდენ ხანში მოიხმარს მეორე ნათურა იმ ენერგიას, რასაც პირველი ნათურა – ერთი დღე-ღამის განმავლობაში?

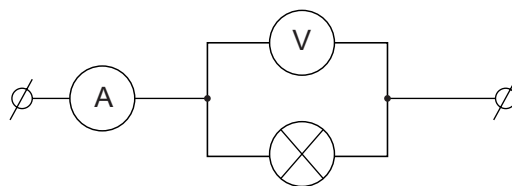
8. მიმდევრობით შეერთებული ნათურებიდან ერთსა და იმავე დროში ელექტრული ველი მეორე ნათურაში 5-ჯერ მეტ მუშაობას ასრულებს, ვიდრე – პირველში. რისი ტოლია მეორე ნათურასთან მიერთებული ვოლტმეტრის ჩვენება, თუ პირველ ნათურასთან მიერთებული ვოლტმეტრი 9 ვ-ს აჩვენებს?

9. განსაზღვრეთ ამპერმეტრის ჩვენება (სურ. 46), თუ ნათურაში მუხტის გადატანაზე ელექტრული ველი 1 ნთ-ის განმავლობაში 600 ჯ მუშაობას ასრულებს, ვოლტმეტრის ჩვენება კი – 20 ვ-ია.



სურ. 46

10. განსაზღვრეთ ვოლტმეტრის ჩვენება (სურ. 47), თუ ნათურაში მუხტის გადატანაზე ელექტრული ველი 40 ნმ-ის განმავლობაში 1620 ჯ მუშაობას ასრულებს, ამპერმეტრის ჩვენება კი 1,5 ა-ია.




სურ. 47

§ 8 გამტარის ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი. გამტარობა. წინალობა

გავიხსენოთ წინა პარაგრაფებში მოყვანილი ელექტრული დენის მექანიკური ანალოგი – მდინარის კალაპოტში წყლის დინება. მდინარის ნებისმიერ მონაკვეთზე წყლის დინების მიზეზი ამ მონაკვეთის ბოლოებს შორის დონეთა სხვაობაა. რაც უფრო დიდია ის, მით მეტია მდინარის დინების სიჩქარე.

როგორც ვიცით, ელექტრული დენი არის დამუხტული ნაწილაკების მიმართული მოძრაობა. ამ მოძრაობის მიზეზი გამტარის ბოლოებს შორის დაბვაა. რაც უფრო დიდია ის, მით მეტია ელექტრული ველის მხრიდან ამ ნაწილაკებზე მოქმედი ძალა, მით მეტია მათი მიმართული (მონესრიგებული) მოძრაობის საშუალო სიჩქარე და შესაბამისად, დენის ძალაც.

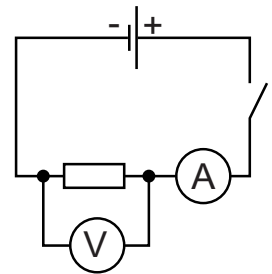
ჩვენი ამოცანაა დავადგინოთ კავშირი გამტარში დენის ძალასა და მის ბოლოებზე არსებულ დაბვას შორის.

 ჩავატაროთ ცდა. სურ. 48-ზე გამოსახული სქემის მიხედვით ავანწყოთ წრედი. თავდაპირველად მომხმარებლად ავირჩიოთ ალუმინის მავთულისგან დახვეული სპირალი (სქემაზე ის პირობითად მართკუთხედითაა აღნიშნული), დენის წყაროდ კი გამოვიყენოთ მონყობილობა, რომლის გამოსავალზე შეიძლება დაბვის ცვლა. სპირალში დენის ძალა და მის მომჭერებზე დაბვა გავზომოთ ამპერმეტრითა და ვოლტმეტრით. დენის წყაროზე შევარჩიოთ დაბვის უმცირესი მნიშვნელობა და ჩავრთოთ ჩამრთველი. დავაფიქსიროთ ამპერმეტრისა და ვოლტმეტრის ჩვენებები (სურ. 49 ა). ცდა გვიჩვენებს, რომ სპირალის ბოლოებზე დაბვის 2-ჯერ გაზრდით, მასში გამავალი დენის ძალაც 2-ჯერ გაიზრდება (სურ. 49 ბ); დაბვის 2,5-ჯერ გაზრდა გამოიწვევს დენის ძალის 2,5-ჯერ მატებას (სურ. 49 გ) და ა.შ. ცდა გვიჩვენებს, რომ რამდენჯერაც ვზრდით ერთსა და იმავე გამტარზე მოდებულ დაბვას, იმდენჯერვე იზრდება მასში გამავალი დენის ძალა.

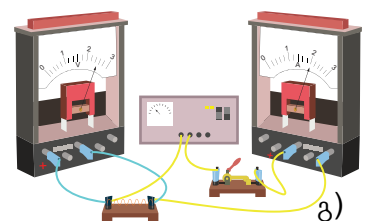
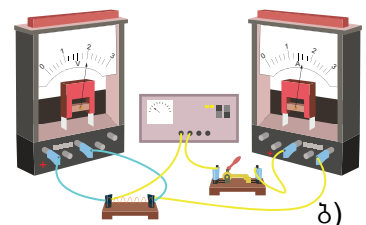
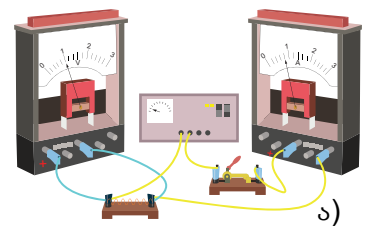
ამრიგად, **დენის ძალა ლითონის გამტარში პირდაპირპროპორციულია მის ბოლოებს შორის დაბვის.**

გავიმეოროთ იგივე ცდა, ოღონდ ალუმინის სპირალის მაგივრად ავიღოთ იგივე გეომეტრიული ზომების სპილენძის სპირალი. თუ წინა ცდის დაბვის მნიშვნელობებს გავიმეორებთ, დავინახავთ, რომ პირდაპირპროპორციული დამოკიდებულება დენის ძალასა და დაბვას შორის შენარჩუნდება, მაგრამ სპილენძის სპირალში გამავალი დენის ძალა მეტი იქნება, ვიდრე ალუმინის სპირალში. მაშასადამე, სპილენძის გამტარი ელექტრულ დენს ალუმინის გამტარზე უკეთ ატარებს.

გამტარში გამავალი დენის ძალის დამოკიდებულება მის ბოლოებს შორის დაბვაზე, შეიძლება გამოვსახოთ გრაფიკულად. თუ აბსცისათა ღერძზე სპირალის ბოლოებზე მოდებულ დაბვას გადავზომავთ, ორდინატთა ღერძზე სპირალში გამავალ დენის ძალას და ცდის შედეგების შესაბამის წერტილებს მოვნიშნავთ, მივიღებთ სურ. 50-ზე გამოსახულ გრაფიკებს. მათემატიკის კურსი-

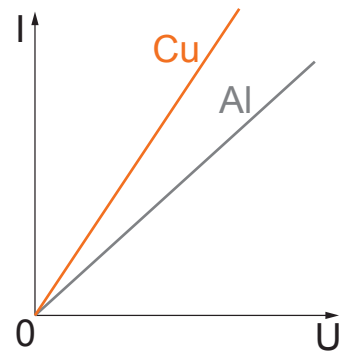


სურ. 48



სურ. 49

დან თქვენთვის ცნობილია, რომ პირდაპირპროპორციული დამოკიდებულება შეიძლება გამოვსახოთ $I = \gamma U$ ფორმულით, სადაც γ პროპორციულობის კოეფიციენტი. მოცემული გამტარისათვის დენის ძალის დამოკიდებულებას მის ბოლოებზე მოდებულ ძაბვაზე, გამტარის **ვოლტ-ამპერულ მახასიათებელს** უწოდებენ.



სურ. 50

ალუმინისა და სპილენძის გამტარებისთვის პროპორციულობის კოეფიციენტი განსხვავებულია. ეს გრაფიკებიდანაც კარგად ჩანს – სპილენძის შესაბამისი გრაფიკის დახრის კუთხე მეტია ალუმინის შესაბამისი გრაფიკის დახრის კუთხეზე. γ პროპორციულობის კოეფიციენტი მოცემული გამტარის მახასიათებელია და მას **გამტარობა** ეწოდება.



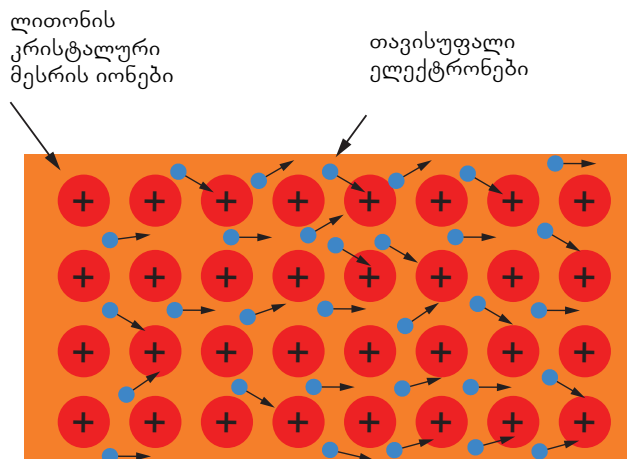
ერნსტ ვერნერ ფონ სიმენსი
1816-1892

როგორც ყველა ფიზიკური სიდიდისათვის, გამტარობისთვისაც საჭიროა ერთეულის შემოღება. SI-ში გამტარობის ერთეულია 1 სიმენსი (სიმ), ცნობილი გერმანელი ფიზიკოსისა და ელექტროტექნიკოსის ერნსტ ვერნერ ფონ სიმენსის პატივსაცემად.

1 სიმენსი ისეთი გამტარის გამტარობაა, რომლის ბოლოებზე 1 ვოლტი ძაბვისას მასში 1 ამპერი დენი გადის.

ჩატარებული ცდებით დავრწმუნდით, რომ ერთნაირი ძაბვისა და გეომეტრიული ზომების შემთხვევაში, სპილენძის გამტარში გამავალი დენის ძალა მეტია ალუმინის გამტარში გამავალ დენის ძალაზე, ანუ მათი გამტარობა სხვადასხვაა. რითია ეს განპირობებული?

ლითონებში მიმართულად მოძრავი ელექტრონები დაბრკოლებას რომ არ აწყდებოდეს, ელექტრული ველის გავლენით ერთხელ ამოდრავებული, ინერციით განუსაზღვრელად დიდხანს იმოდრავებდა. სინამდვილეში კი, ელექტრონები ერთმანეთთან და ლითონის კრისტალური მესრის კვანძებში მყოფ იონებთან ურთიერთქმედებს (სურ. 51). თუ იონების სითბურ მოძრაობას გავითვალისწინებთ (წონასწორობის მდებარეობის მახლობლად რხევას), ეს დაბრკოლება საკმაოდ დიდია, რაც ელექტრონების მიმართული მოძრაობის სიჩქარეს ამცირებს და რომ არა ელექტრული ველის მოქმედება, ისინი მიმართულ მოძრაობას საერთოდ შეწყვეტდა. ამრიგად, ყველა გამტარი „წინააღმდეგობას“ უწევს მასში ელექტრული დენის გავლას. ერთნაირი გეომეტრიული ზომების, სხვადასხვა ლითონის გამტარის მიერ დენისადმი განეული



სურ. 51

განსხვავებული „წინააღმდეგობა“ მათი კრისტალური მესრების განსხვავებული აგებულებითაა გამოწვეული. შემდეგ პარაგრაფებში ნახავთ, რომ გამტარობა ასევე გამტარის განიკვეთის ფართობსა და სიგრძეზეა დამოკიდებული.

გამტარის მიერ დენისათვის განეულ „წინააღმდეგობას“, რაოდენობრივად ახასიათებენ გამტარობის შებრუნებული ფიზიკური სიდიდით, რომელსაც გამტარის წინააღობა ეწოდება. მას R ასოთი აღნიშნავენ (**resistance**):

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

ე.ი. რაც მეტია გამტარის წინააღობა, მით ნაკლები გამტარობა აქვს მას და პირიქით. წინა პარაგრაფში მიღებული ფორმულის გათვალისწინებით, გამტარის წინააღობისათვის გვექნება:

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

SI-ში წინააღობის ერთეულია 1 ომი, ცნობილი გერმანელი ფიზიკოსის გეორგ სიმონ ომის პატივსაცემად.



გეორგ სიმონ ომი
(1787-1854)

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

$$1 \text{ ომი} = \frac{1 \text{ ვ}}{1 \text{ ა}}$$

პრაქტიკაში ხშირად იყენებენ ომის წილად და ჯერად ერთეულებს:

$$1 \text{ მომი} = 10^{-3} \text{ ომი};$$

$$1 \text{ კომი} = 10^3 \text{ ომი};$$

$$1 \text{ მგომი} = 10^6 \text{ ომი}.$$

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

წინააღობის გასაზომად იყენებენ ხელსაწყოს, რომელსაც **ომმეტრი** ეწოდება (სურ. 52).



სურ. 52

დასკვნები:

- დენის ძალა ლითონის გამტარში პირდაპირპროპორციულია მის ბოლოებს შორის დაბვის: $I = \gamma U$;
- მოცემული გამტარისათვის დენის ძალის დამოკიდებულებას მის ბოლოებზე მოდებულ დაბვაზე, გამტარის ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი ეწოდება;
- 1 სიმენსი ისეთი გამტარის გამტარობაა, რომლის ბოლოებზე 1 ვოლტი დაბვისას მასში 1 ამპერი დენი გადის;
- გამტარობის შებრუნებულ ფიზიკურ სიდიდეს, გამტარის წინალობა ეწოდება.

მას R ასოთი აღნიშნავენ: $R = \frac{1}{\gamma}$;

- SI-ში წინალობის ერთეულია 1 ომი. ეს ისეთი გამტარის წინალობაა, რომლის ბოლოებზე 1 ვოლტი დაბვისას მასში 1 ამპერი დენი გადის: $1 \text{ ომი} = \frac{1 \text{ ვ}}{1 \text{ ა}}$.

საკონტროლო კითხვები:

1. რა მიზეზ-შედეგობრივი კავშირია გამტარში გამავალ დენსა და მის ბოლოებზე არსებულ დაბვას შორის?
2. რას უწოდებენ გამტარობას?
3. გამტარების ვოლტ-ამპერული მახასიათებლებით როგორ დავადგენთ, რომლის გამტარობაა ნაკლები?
4. რა უშლის ხელს ელექტრონების მიმართულ მოძრაობას ლითონის გამტარში?
5. როგორ ახსნით, წინალობასა და გამტარობას შორის უკუპროპორციულ დამოკიდებულებას?



ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

სურ. 53-ზე გამოსახულია ორი გამტარის ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი. გამოთვალეთ თითოეულის გამტარობა. ტოლია თუ არა მათი ფარდობა შესაბამისი გრაფიკების დაბვის ღერძთან დახრის კუთხის ტანგენსების ფარდობის?

ამოხსნა: გრაფიკიდან ჩანს, რომ პირველი გამტარის ბოლოებზე 10 ვ დაბვისას, მასში გამავალი დენის ძალა 0,6 ა-ია. მეორე გამტარის ბოლოებზე 20 ვ დაბვისას კი, მასში 0,4 ა დენი გა-



დის. ვინაიდან გამტარობა დენის ძალის დაბვასთან ფარდობით განისაზღვრება, ამიტომ $\gamma_1 = \frac{I_1}{U_1} = 0,06$ სიმენსი და $\gamma_2 = \frac{I_2}{U_2} = 0,02$ სიმენსი. მათი შეფარდება ტოლია: $\frac{\gamma_1}{\gamma_2} = 3$. ნახაზიდან ჩანს, რომ I გამტარისათვის გრაფიკის დაბვის ღერძთან დახრის კუთხის

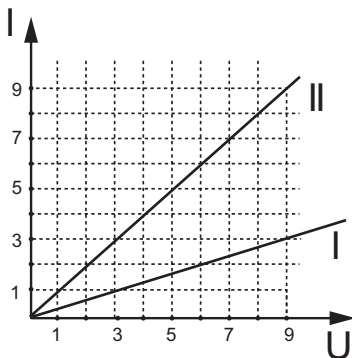
ტანგენსი $\operatorname{tg}\alpha_1 = \frac{3}{2}$ -ს, II გამტარისა კი $\operatorname{tg}\alpha_2 = \frac{1}{2}$ -ს. მათი შეფარდება კი იქნება: $\frac{3/2}{1/2} = 3$, რაც გამტარობების შეფარდებას ემთხვევა.

პასუხი: სადენების გამტარობა 0,06 და 0,02 სიმენსის ტოლია. $I(U)$ დამოკიდებულების გრაფიკების დახვეის ღერძისადმი დახრის კუთხის ტანგენსები ისე შეეფარდება ერთმანეთს, როგორც შესაბამისი გამტარობები.

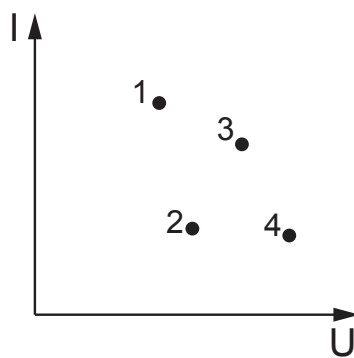


ამოხსენით ამოცანები:

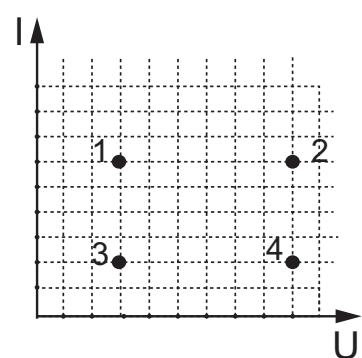
1. მართებულია თუ არა მტკიცება, რომ გამტარობა პირდაპირპროპორციულია გამტარის ბოლოებზე მოდებული ძაბვის და უკუპროპორციულია მასში გამავალი დენის ძალის? პასუხი დაასაბუთეთ.
2. როგორ შეიცვლება გამტარში გამავალი დენის ძალა, თუ გამტარის ბოლოებზე ძაბვას 4,5-ჯერ შევამცირებთ?
3. როგორ უნდა შევცვალოთ გამტარის ბოლოებზე მოდებული ძაბვა, რომ გამტარში გამავალი დენი 3,14-ჯერ გავზარდოთ?
4. პარალელურად შეერთებული ორი გამტარიდან პირველში დენის ძალა მეტია, ვიდრე მეორეში. რომელი გამტარის გამტარობაა მეტი?
5. პარალელურად შეერთებული ორი გამტარიდან, ერთსა და იმავე დროში ელექტრული ველმა მეორე გამტარში უფრო მეტი მუშაობა შეასრულა, ვიდრე პირველში. რომელ გამტარს აქვს მეტი გამტარობა? პასუხი დაასაბუთეთ.
6. მიმდევრობით შეერთებული გამტარებიდან მეორე გამტარის წინალობა უფრო მეტია, ვიდრე – პირველის. ერთსა და იმავე დროში, მუხტის გადატანაზე ელექტრული ველი რომელ გამტარში შეასრულებს მეტ მუშაობას?
7. მიმდევრობით შეერთებული გამტარებიდან პირველთან მიერთებულმა ვოლტ-მეტრმა აჩვენა 12 ვ, მეორესთან მიერთებულმა კი – 18 ვ. რომელი გამტარის წინალობაა მეტი და რამდენჯერ?
8. სურ. 54-ზე გამოსახულია ორი გამტარის ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი. რომელი გამტარის გამტარობაა მეტი და რამდენჯერ?
- 9*¹. დიაგრამაზე (სურ. 55) გამოსახულია ოთხ გამტარზე მოდებული ძაბვები და მასში გამავალი დენის ძალები. რომელი გამტარის წინალობაა ყველაზე მეტი?
10. დიაგრამაზე (სურ. 56) გამოსახულია ოთხ გამტარზე მოდებული ძაბვები და მასში გამავალი დენის ძალები. რომელი გამტარის წინალობებია ტოლი?



სურ. 54



სურ. 55



სურ. 56

¹ აქ და შემდგომში (*)-ით აღნიშნულია შედარებით რთული ამოცანები.

§ 9 ომის კანონი წრედის უზნისათვის

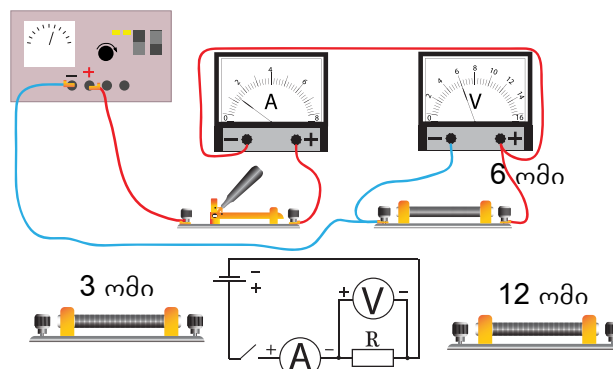
წინა პარაგრაფებში დავადგინეთ, რომ დენის ძალა ერთგვაროვან გამტარში მის ბოლოებს შორის ძაბვის პირდაპირპროპორციულია. როგორ დავადგინოთ დენის ძალასა და წინაღობას შორის დამოკიდებულება?

დენის ძალის ძაბვაზე დამოკიდებულების დასადგენად, ერთი და იგივე მომხმარებლის (წინაღობის) ბოლოებზე ვცვლიდით ძაბვას და ვაფიქსირებდით დენის ძალის შესაბამის მნიშვნელობას.

დენის ძალასა და წინაღობას შორის დამოკიდებულების დასადგენად კი საჭიროა გამტარის ბოლოებზე ძაბვა უცვლელი დავტოვოთ (ამისათვის გამოვიყენოთ დენის წყარო, რომელის მომჭერებზე ძაბვა შეგვიძლია მდორედ ვარეგულიროთ), ვცვალოთ გამტარის წინაღობა და დავაფიქსიროთ დენის ძალის შესაბამისი მნიშვნელობა.



ჩავატაროთ ცდა. ავანყოთ წრედი სურ. 57-ის მიხედვით.



სურ. 57

წრედში მონაცვლეობით ჩავრთოთ სხვადასხვა წინაღობის გამტარი. ვოლტმეტრის საშუალებით ვაკონტროლოთ, რომ ძაბვა გამტარის ბოლოებზე მუდმივი იყოს, მაგალითად, 6 ვ. დენის ძალა წრედში გავზომოთ ამპერმეტრით. ცდის შედეგები სამი სხვადასხვა გამტარის შემთხვევაში – 3 ომი, 6 ომი და 12 ომი, მოყვანილია ცხრილში:

ძაბვა გამტარის ბოლოებზე, ვ	გამტარის წინაღობა, ომი	დენის ძალა წრედში, ა
6	3	2
6	6	1
6	12	0,5

ამ შედეგების განზოგადებით შეგვიძლია დავასკვნათ, რომ **დენის ძალა ერთგვაროვან გამტარში მისი წინაღობის უკუპროპორციულია**. ეს დამოკიდებულება 1826 წელს ცდების საშუალებით გეორგ ომმა დაადგინა.

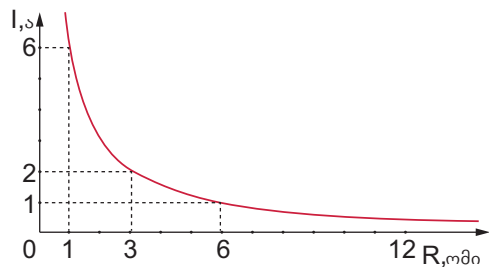
დენის ძალა წრედის უბანში პირდაპირპროპორციულია ამ უბნის ბოლოებს შორის ძაბვისა და უკუპროპორციულია მისი წინაღობის:

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

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

მუდმივი ძაბვისას წრედის უბანში გამავალი დენის ძალის დამოკიდებულება მის წინაღობაზე შეიძლება გრაფიკულად გამოვსახოთ. თუ აბსცისათა ღერძზე წინაღობას

გადავზომავთ, ორდინატთა ღერძზე კი დენის ძალას, ცდის შედეგების შესაბამის წერტილებს მოვნიშნავთ და წირით შევაერთებთ, მივიღებთ სურ. 58-ზე გამოსახულ გრაფიკს. როგორც მათემატიკის კურსიდან ცნობილია, უკუპროპორციული დამოკიდებულების გრაფიკი ჰიპერბოლაა.



სურ. 58

(1) ფორმულიდან გამომდინარეობს, რომ

$$U=IR \text{ და } R=\frac{U}{I}$$



ომის კანონი წარმოადგენს ბუნების ემპირიულ და არა ფუნდამენტურ კანონს. თუმცა ის საკმაოდ ზუსტად სრულდება, როცა წრედის უბნის წინაღობა მუდმივია, ანუ როცა წინაღობა მის ბოლოებს შორის არსებულ დაბრუნებულ დამოკიდებული არ არის. ომის კანონი მართებულია ლითონებისთვის დაბრუნების დიდ დიაპაზონში, ისეთ მნიშვნელობამდე, ვიდრე ლითონი დნობას დაიწყებს.

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

დასკვნები:

- დენის ძალა ერთგვაროვან გამტარში მისი წინაღობის უკუპროპორციულია;
- დენის ძალა წრედის უბანში პირდაპირპროპორციულია ამ უბნის ბოლოებს შორის დაბრუნებისა და უკუპროპორციულია მისი წინაღობის: $I = \frac{U}{R}$.

საკონტროლო კითხვები:

1. რომელი ფიზიკური სიდიდე უნდა დავტოვოთ უცვლელი, დენის ძალის წინაღობაზე დამოკიდებულების დასადგენად?
2. $R = \frac{U}{I}$ ფორმულიდან გამომდინარეობს თუ არა, რომ გამტარის წინაღობა მის ბოლოებს შორის დაბრუნების პირდაპირპროპორციულია?



ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

რისი ტოლია გამტარის წინაღობა, თუ მასში 5 ნმ-ში 12 კ მუხტის გავლისას ელექტრულმა ველმა 2280 ჯ მუშაობა შეასრულა? რა მუშაობას შეასრულებს ელექტრული ველი იმავე დროში, თუ გამტარზე მოდებულ დაბრუნებას 2-ჯერ გავზრდით?

ამოხსნა: ომის კანონის თანახმად, $R = \frac{U}{I}$, ანუ გამტარის წინაღობის საპოვნელად საჭიროა ვიცოდეთ მის ბოლოებს შორის დაბრუნება და მასში გამავალი დენის ძალა. ისინი შეიძლება ამოცანის მოცემულობიდან განვსაზღვროთ: $I = \frac{q}{t} = 2,4$ ა და $U = \frac{A}{q} = 190$ ვ. ამიტომ $R = \frac{U}{I} \approx 79,2$ ომი. გამტარის ბოლოებს შორის დაბრუნების 2-ჯერ გაზრდა დენის ძალას მასში 2-ჯერ გაზრდის. ეს კი ნიშნავს, რომ დროის მოცემულ შუალედში გამტარის გა-

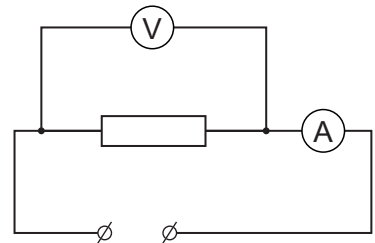
ნიკვეთში გამავალი მუხტიც 2-ჯერ გაზრდება, ამიტომ $A=Uq$ ფორმულის თანახმად, ველის მიერ შესრულებული მუშაობა 4-ჯერ გაიზრდება, ე.ი. ტოლი იქნება 9120 ჯ-ის.

პასუხი: გამტარის წინალობა დაახლოებით 79,2 ომი-ს ტოლია. გამტარის ბოლოებს შორის დაბვის ორჯერ გაზრდისას ელექტრული ველი 9120 ჯ მუშაობას შეასრულებს.

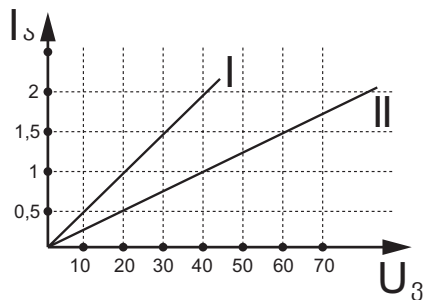


ამოხსენით ამოცანები:

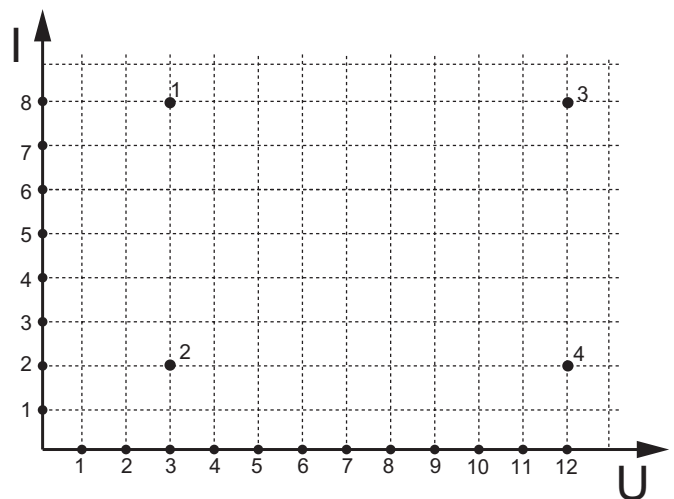
1. გამოთვალეთ დენის ძალა 2,5 ომი წინალობის გამტარში, თუ მის ბოლოებს შორის დაბვა 12 ვ-ია.
2. რა დაბვაა მოდებული წრედის 50 ომი წინალობის უბანზე, თუ მასში გამავალი დენის ძალა 2 ა-ის ტოლია.
3. როგორ შეიცვლება წრედის უბანში გამავალი დენის ძალა, თუ მის ბოლოებზე დაბვას 5-ჯერ გავზრდით, წინალობას კი უცვლელად დავტოვებთ?
4. როგორ შეიცვლება წრედის უბანში გამავალი დენის ძალა, თუ მასზე მოდებულ დაბვას უცვლელად დავტოვებთ, უბნის წინალობას კი 4-ჯერ გავზრდით?
5. წრედის უბანზე მოდებული დაბვა გაზარდეს 8-ჯერ. როგორ უნდა შევცვალოთ ამ უბნის წინალობა, რომ მასში გამავალი დენის ძალა არ შეიცვალოს?
6. როგორ შეიცვლება დენის ძალა წრედის უბანში, თუ მის წინალობას 10-ჯერ გავზრდით, ხოლო უბანზე მოდებულ დაბვას 5-ჯერ შევამცირებთ?
7. $R = \frac{U}{I}$ ტოლობიდან გამომდინარე მარებულება თუ არა იმის მტკიცება, რომ თუ გამტარზე მოდებულ დაბვას 3-ჯერ გავზრდით, მაშინ მისი წინალობაც 3-ჯერ გაიზრდება? პასუხი დაასაბუთეთ.
8. სურათ 59-ზე გამოსახული ამპერმეტრი 1 ა დენის ძალას აჩვენებს, ვოლტმეტრი კი – 9 ვ-ს. რისი ტოლი უნდა იყოს ვოლტმეტრის ჩვენება, რომ ამპერმეტრმა 5 ა აჩვენოს?
9. სურათ 60-ზე გამოსახული გრაფიკების მეშვეობით დაადგინეთ, რომელი გამტარის წინალობაა მეტი და რამდენჯერ.
10. დიაგრამაზე (სურ. 61) გამოსახულია ოთხ გამტარზე მოდებული დაბვები და მასში გამავალი შესაბამისი დენის ძალები. რომელი გამტარის წინალობებია ტოლი?



სურ. 59



სურ. 60




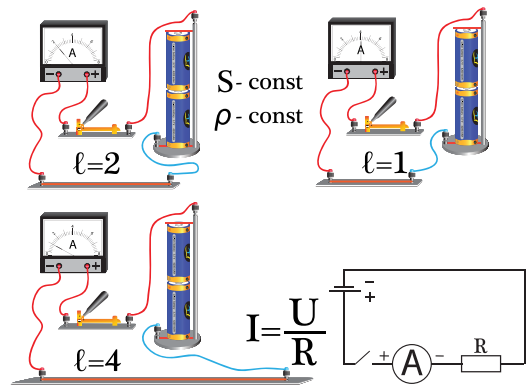
სურ. 61

§ 10 კუთრი წინაღობა. რეოსტატი


ტელევიზორის ყურებისას ან რადიოს მოსმენისას ვუმატებთ/ვუკლებთ ხმას. დაფიქრებულხართ როგორ ხდება ეს? გავერკვეთ და შევეცადოთ ვუპასუხოთ ამ კითხვას.

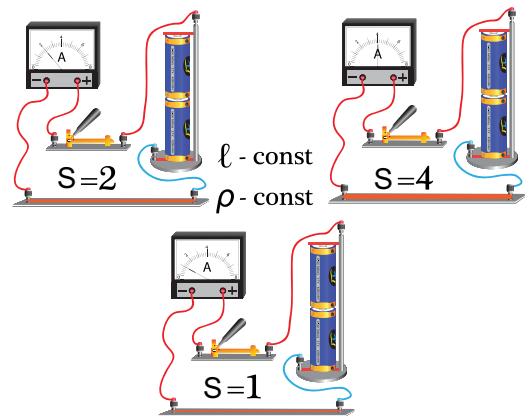
უკვე იცით, რომ ლითონის გამტარის წინაღობის მიზეზს თავისუფალი ელექტრონების ერთმანეთთან და კრისტალური მესრის იონებთან ურთიერთქმედება წარმოადგენს. ამიტომ შეიძლება ვივარაუდოთ, რომ გამტარის წინაღობა დამოკიდებული იქნება მის სიგრძეზე, განივკვეთის ფართობზე და იმ ნივთიერებაზე, რომლისგანაც გამტარია დამზადებული. ეს დამოკიდებულება შეიძლება დავადგინოთ ექსპერიმენტით, რომელშიც ორ მათგანს უცვლელად დავტოვებთ, მესამეს კი შევცვლით და დავაკვირდებით გამტარის წინაღობის ცვლილებას.

 ცდა 1. გავარკვიოთ, როგორ არის დამოკიდებული გამტარის წინაღობა მის სიგრძეზე. ამისათვის ავიღოთ ერთი და იმავე ნივთიერებისაგან დამზადებული ტოლი განივკვეთის ფართობის მქონე სამი გამტარი, რომელთა სიგრძეები ერთმანეთს 1:2:4 პროპორციით შეეფარდება. ავანყოთ წრედი სურ. 62-ის მიხედვით და მონაცვლეობით ჩავრთოთ მასში წინაღობები. ცდა გვიჩვენებს, რომ გამტარის ბოლოებზე მუდმივი ძაბვისას, რამდენჯერაც მეტია გამტარის სიგრძე, იმდენჯერ ნაკლებია ამპერმეტრის ჩვენება, ანუ ნაკლებია დენის ძალა. ომის კანონის თანახმად, ეს ნიშნავს, რომ რამდენჯერაც მეტია გამტარის სიგრძე, იმდენჯერ მეტია მისი წინაღობა. ე.ი **გამტარის წინაღობა პროპორციულია მისი სიგრძის: $R \sim l$** , რომელშიც l გამტარის სიგრძეა.



სურ. 62

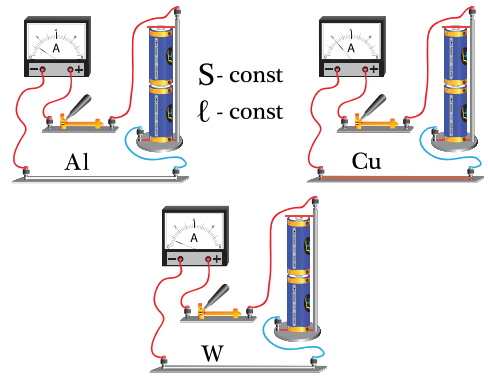
 ცდა 2. ახლა დავადგინოთ გამტარის წინაღობის დამოკიდებულება განივკვეთის ფართობზე. ამისთვის ავიღოთ ერთი და იმავე ნივთიერებისაგან დამზადებული, ტოლი სიგრძის მქონე სამი გამტარი, რომელთა განივკვეთის ფართობები ერთმანეთს 1:2:4 პროპორციით შეეფარდება (სურ 63). გამტარები მონაცვლეობით ჩავრთოთ წრედში. ცდა გვიჩვენებს, რომ გამტარის ბოლოებზე მუდმივი ძაბვისას, რამდენჯერაც მეტია გამტარის განივკვეთის ფართობი, იმდენჯერ მეტია ამპერმეტრის ჩვენება. ეს კი ნიშნავს, რამდენჯერაც მეტია გამტარის განივკვეთის ფართობი, იმდენჯერ ნაკლებია მისი წინაღობა. ე.ი. **გამტარის წინაღობა უკუპროპორციულია მისი განივკვეთის ფართობის: $R \sim \frac{1}{S}$** , რომელშიც S გამტარის განივკვეთის ფართობია.



სურ. 63



ცდა 3. ავილოთ ერთნაირი სიგრძისა და განივკვეთის ფართობის მქონე სპილენძის, ალუმინის და ვოლფრამისაგან დამზადებული სამი გამტარი, რომლებიც მონაცვლეობით ჩავართოთ წრედში (სურ. 64). ცდა გვიჩვენებს, რომ გამტარის ბოლოებზე მუდმივი ძაბვისას, სპილენძის გამტარის შემთხვევაში ამპერმეტრის ჩვენება უდიდესი, ხოლო ვოლფრამის გამტარის შემთხვევაში უმცირესი იქნება. ეს კი ნიშნავს, რომ სპილენძის გამტარის წინააღობა უმცირესია, უფრო მეტია ალუმინის გამტარის წინააღობა, ხოლო ვოლფრამისა – უდიდესი. ე.ი. **გამტარის წინააღობა დამოკიდებულია იმ ნივთიერების გვარობაზე, რომლისგანაც არის დამზადებული.**



სურ. 64

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

ნივთიერების კუთრი წინააღობა მოცემული ნივთიერების ელექტრული თვისებების მახასიათებელი ფიზიკური სიდიდეა, რომელიც რიცხობრივად ტოლია ამ ნივთიერებისაგან დამზადებული ერთეული სიგრძისა და ერთეული განივკვეთის ფართობის მქონე გამტარის წინააღობის. ნივთიერების კუთრ წინააღობას ρ ასოთი აღნიშნავენ.

ჩატარებული ცდების საფუძველზე შეგვიძლია დავწეროთ გამტარის წინააღობის გამოსათვლელი ფორმულა:

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

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

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

პრაქტიკაში ძირითადად გამოიყენება მცირე განივკვეთის (რამდენიმე მმ²) ფართობის მქონე გამტარები. ამიტომ ნივთიერების კუთრ წინააღობას ხშირად გამოსახავენ $1 \frac{\text{ომი} \cdot \text{მმ}^2}{\text{მ}}$ ერთეულში. რადგან $1 \text{ მმ}^2 = 10^{-6} \text{ მ}^2$, ამიტომ $1 \frac{\text{ომი} \cdot \text{მმ}^2}{\text{მ}} = 10^{-6} \text{ ომი} \cdot \text{მ}$.

ნივთიერების კუთრ წინააღობას ცდით ადგენენ. კუთრი წინააღობა მნიშვნელოვნადაა დამოკიდებული ნივთიერების ტემპერატურაზე, ამიტომ ცხრილში ყოველთვის აღნიშნულია ტემპერატურა, რომლის დროსაც მიღებულია ეს შედეგები:

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



რატომ იყენებენ საყოფაცხოვრებო ელექტრული ქსელის გაყვანისას ალუმინისა ან სპილენძის სადენებს?

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

ხშირად, წრედში სასურველი დენის ძალის მისაღებად, საჭიროა გარკვეული მნიშვნელობის წინაღობა. ასეთ წინაღობას რეზისტორს უწოდებენ (სურ. 65). რეზისტორი წრედის კომპონენტია, რომლის ერთადერთი ფუნქციაა შექმნას დენისათვის გარკვეული წინაღობა. ელექტრულ სქემაზე რეზისტორს სურ. 66-ზე მოცემული აღნიშვნით გამოსახავენ.



სურ. 65



სურ. 66

ახლა კი პასუხი გავცეთ პარაგრაფის დასაწყისში დასმულ შეკითხვას. იმისთვის, რომ მოვუმატოთ/დავუკლოთ ტელევიზორის ან რადიოს ხმას, საჭიროა ვცვალოთ ხმამალამოლაპარაკეში (სურ. 67) გამავალი დენის ძალა. წრედში დენის ძალის ცვლილება კი შესაძლებელია წრედის წინაღობის ცვლილებით. ამ მიზნით გამოიყენება მოწყობილობა ცვლადი წინაღობით – **რეოსტატი**. მისი მოქმედების პრინციპი დაფუძნებულია იმ ფაქტზე, რომ გამტარის წინაღობა მისი სიგრძის პირდაპირპროპორციულია. სურ. 68 ა)-ზე ნაჩვენებია ერთ-ერთი მათგანი – რეოსტატი ცოციათი. ამ რეოსტატში მაღალი კუთრი წინაღობის მავთული დახვეულია კერამიკულ ცილინდრზე. იმისათვის, რომ ხვიები ერთმანეთისაგან იზოლირებული იყოს, მავთული დაფარულია იზოლატორის თხელი ფენით. ხვიების ზევით დამაგრებულია ლითონის ღერო, რომელზეც ცოციას შეუძლია გადაადგილება. თავისი კონტაქტებით ცოცია ებჯინება ხვიებს. გადაადგილებისას ხვიებთან ხახუნის გამო, კონტაქტების ქვეშ იზოლატორი მავთულს სცილდება და დენი ხვიებიდან ცოციას გავლით ლითონის ღეროზე გადადის. ცოციას გადაადგილებით იცვლება წრედში ჩართული რეოსტატის წინაღობა. სურ. 68 ბ)-ზე – რეოსტატის სქემატური აღნიშვნაა მოცემული.



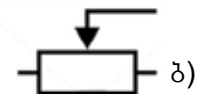
ხმამალამოლაპარაკის სქემატური გამოსახულება

სურ. 67



ა)

სურ. 68




ბ)

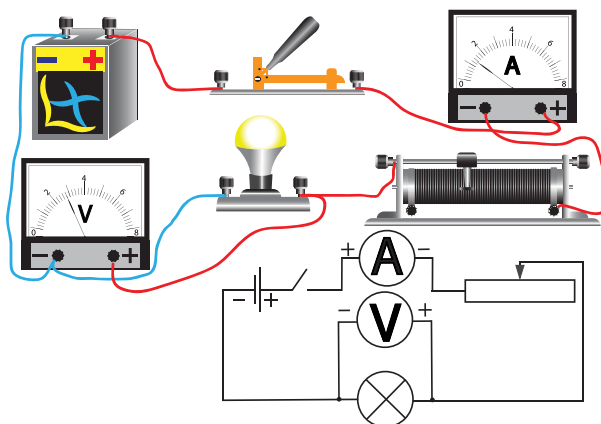
ყოველი რეოსტატი გათვლილია მაქსიმალურ წინაღობასა და დენის ძალაზე, რომელთა მნიშვნელობები აღნიშნულია ხელსაწყოზე.

პრაქტიკაში გამოიყენებულ რეოსტატებს ანიჭებენ მოსახერხებელ და კომპაქტურ ფორმას. ასეთი რეოსტატები ნაჩვენებია სურ 69-ზე.



სურ. 69

 როგორ შეიცვლება ნათურას ნათება რეოსტატის ცოცხას მარჯვნივ გადაადგილებით (სურ. 70)? მარცხნივ გადაადგილებით? შეეცადეთ ააწყოთ ასეთივე წრედი და გამოთქმული ვარაუდი შეამოწმოთ ცდით.



სურ. 70



გაეცანით ვიდეორგოლს „გამტარის კუთრი წინალობა“:
<https://bit.ly/3BQfpuH>

დასკვნები:

- გამტარის წინალობა პროპორციულია მისი სიგრძის: $R \sim l$;
- გამტარის წინალობა უკუპროპორციულია მისი განივკვეთის ფართობის: $R \sim \frac{1}{S}$;
- გამტარის წინალობა დამოკიდებულია იმ ნივთიერების გვარობაზე, რომლისგანაც არის დამზადებული;
- ნივთიერების კუთრი წინალობა მოცემული ნივთიერების ელექტრული თვისებების მახასიათებელი ფიზიკური სიდიდეა, რომელიც რიცხობრივად ტოლია ამ ნივთიერებისაგან დამზადებული ერთეული სიგრძისა და ერთეული განივკვეთის ფართობის მქონე გამტარის წინალობის. კუთრი წინალობას ρ ასოთი აღნიშნავენ;
- გამტარის წინალობა გამოითვლება ფორმულით: $R = \rho \frac{l}{S}$;
- SI-ში ნივთიერების კუთრი წინალობის ერთეულია: 1 ომი · მ;
- რეოსტატი – ხელსაწყო, რომლის საშუალებით წრედის წინალობის ცვლილებით შესაძლებელია დენის ძალის ცვლილება.

საკონტროლო კითხვები:

1. როგორ შეიძლება განვსაზღვროთ რაიმე მასალის კუთრი წინალობა?
2. რატომ არ არის მოსახერხებელი პრაქტიკაში კუთრი წინალობის SI ერთეულის გამოყენება?
3. რომელია უკეთესი გამტარი, ოქრო თუ ვერცხლი?
4. რომელია უკეთესი იზოლატორი, ებონიტი, თუ გრაფიტი?
5. რას უწოდებენ რეზისტორს?



ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

მუდმივი 60 ვ ძაბვის წყაროსთან 0,16 მმ² განივკვეთის ფართობის მქონე ნიკელინის გამტარია მიერთებული. გამოთვალეთ ელექტრული ველის დაძაბულობა გამტარში, თუ მის განივკვეთში 100 ნმ-ში 120 კ მუხტი გადის. გამტარში ელექტრული ველი ერთგვაროვნად მიიჩნეთ.

ამოხსნა: რადგან გამტარში ელექტრული ველი ერთგვაროვანია, მისი დაძაბულობის მოდული გამტარის ბოლოებზე არსებული ძაბვის გამტარის სიგრძესთან ფარდობის ტოლია: $E = \frac{U}{l}$. გამტარის სიგრძის გაგება შესაძლებელია მისი მონაცემებით: $R = \rho \frac{l}{S}$,

ამიტომ $l = \frac{RS}{\rho}$. წინააღმდეგობის საპოვნელად გამოვთვალოთ გამტარში გამავალი დენის ძალა და გამოვიყენოთ ომის კანონი წრედის უბნისათვის: $I = \frac{q}{t} = \frac{120}{100} = 1,2$ (ა), $R = \frac{U}{I} = \frac{60}{1,2} = 50$ (ომი), ამიტომ

$$l = \frac{RS}{\rho} = \frac{50 \cdot 16 \cdot 10^{-8}}{42 \cdot 10^{-8}} = 20 \text{ (მ)}. \text{ ე.ი. } E = \frac{U}{l} = \frac{60}{20} = 3 \text{ (ვ/მ)}.$$

პასუხი: ელექტრული ველის დაძაბულობის მოდული გამტარში 3 ვ/მ-ის ტოლია.




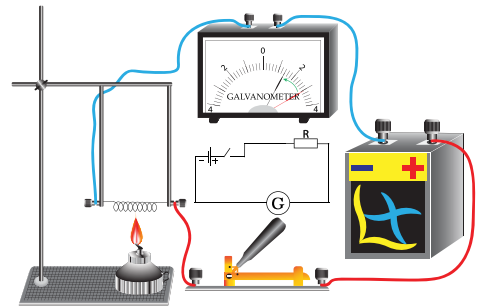
ამოხსენით ამოცანები:

1. გამოთვალეთ რკინისაგან დამზადებული გამტარის წინააღმდეგობა, თუ მისი სიგრძე 4 მ-ია, ხოლო განივკვეთის ფართობი 2 მმ².
2. რა ნივთიერებისგანაა დამზადებული 11 ომი წინააღმდეგობის გამტარი, თუ ცნობილია, რომ მისი სიგრძე 20 მ-ია, ხოლო განივკვეთის ფართობი 0,1 მმ²?
3. შეიცვლება თუ არა გამტარის კუთრი წინააღმდეგობა, თუ მის სიგრძეს ორჯერ შევამცირებთ? პასუხი დაასაბუთეთ.
4. მუდმივი ძაბვის წყაროსთან მიერთებულ ვოლფრამისაგან დამზადებულ გამტარში 2,2 ა დენი გადის. რა დენი გაივლის იმავე სიგრძისა და განივკვეთის ფართობის მქონე ნიქრომისგან დამზადებულ გამტარში, თუ მას იმავე ძაბვის წყაროს მივუერთებთ?
5. ერთი და იმავე ნივთიერებისაგან დამზადებული ორი გამტარიდან ერთის სიგრძე და განივკვეთის ფართობი 3-ჯერ აღემატება მეორისას. შეადარეთ მათი წინააღმდეგობები ერთმანეთს.
6. როგორ შეიცვლება გამტარის წინააღმდეგობა, თუ მას გადავადნობთ და 5-ჯერ მეტი სიგრძის გამტარს დავამზადებთ?
7. როგორ შეიცვლება გამტარის წინააღმდეგობა, თუ მას გადავადნობთ და 4-ჯერ მეტი განივკვეთის ფართობის მქონე გამტარს დავამზადებთ?
8. რას ნიშნავს წარწერა რეოსტატზე: 200 ომი; 2,4 ა? რა მაქსიმალურ ძაბვაზე შესაძლებელია მისი ჩართვა?
9. რეოსტატი დამზადებულია 300 მ სიგრძისა და 0,5 მმ² განივკვეთის ფართობის მქონე ნიქრომის მავთულისგან, განსაზღვრეთ რეოსტატში გამავალი დენის ძალა, თუ 20,4 ვ ძაბვაზე მისი ხვეების მეთავედია ჩართული.
- 10*. მუდმივი 110 ვ ძაბვაზე მიერთებული ელექტროქურის სპირალის წინააღმდეგობა შესაძლებელია 20 ომი-დან 220 ომამდე ვცვალოთ. ააგეთ რეოსტატში გამავალი დენის ძალის წინააღმდეგობაზე დამოკიდებულების გრაფიკი.

§ 11 გამტარის წინაღობის დამოკიდებულება ტემპერატურაზე

რატომ იწვება ხშირად ვარვარების დაფიანი ნათურა ჩართვისას? საყოფაცხოვრებო ტექნიკის მომხმარებლის ინსტრუქციაში რატომ წერია, რომ სიცივიდან ოთახში შეტანისას ტექნიკა ქსელში 2-3 საათის შემდეგ უნდა ჩავრთოთ? როგორ იზომება ტემპერატურა მეტალურგიულ ლუმელში?

 ჩავატაროთ ცდა. ავანყოთ ელექტრული წრედი, რომელიც შედგება დენის წყაროს, ლითონის მავთულის სპირალის და გალვანომეტრისაგან (სურ. 71). ოთახის ტემპერატურაზე სპირალის წინაღობა ისე შევარჩიოთ, რომ ჩამრთველის ჩართვისას გალვანომეტრის ისარი მაქსიმალურად გადაიხაროს (წინაღობის შერჩევა შეიძლება სპირალის სიგრძის ცვლილებით). ჩავინიშნოთ გალვანომეტრის ჩვენება, შემდეგ კი სპირალის სპირტურის ალზე გაცხელება დავიწყოთ. დავინახავთ, რომ სპირალის ტემპერატურის მატებასთან ერთად, გალვანომეტრის ჩვენება მცირდება, ანუ მცირდება დენის ძალა, რაც სპირალის წინაღობის მატებაზე მიუთითებს. იგივე შედეგი განმეორდება, თუ სხვა ლითონებისაგან დამზადებულ სპირალებს ავიღებთ.



სურ. 71

ამრიგად, **ტემპერატურის მატებისას ლითონის წინაღობა იზრდება.**

ლითონის გამტარის ტემპერატურის ზრდისას მისი წინაღობის მატება იმით აიხსნება, რომ ამ დროს მატულობს ლითონის კრისტალური მესრის კვანძებში იონების რხევის ამპლიტუდა – წონასწორობის მდგომარეობიდან მაქსიმალური გადახრა. შესაბამისად, თავისუფალი ელექტრონები უფრო ხშირად ეჯახება იონებს და ამით მათი მიმართული მოძრაობის სიჩქარე იკლებს.

სუფთა ლითონებისათვის წინაღობის ზრდა მნიშვნელოვანია – 100°C -ით გათბობისას წინაღობის მატება 40-50%-ს აღწევს; შენადნობებისათვის ზრდა ნაკლებია. **არის ისეთი შენადნობები, რომელთა წინაღობა ტემპერატურის ზრდისას პრაქტიკულად არ იცვლება.** ასეთებია, მაგალითად კონსტანტანი და მანგანინი. ამ თვისების გამო ისინი ზოგიერთი საზომი ხელსაწყოთა და ეტალონური წინაღობის დასამზადებლად გამოიყენება.

ტემპერატურის მატებისას ელექტროლიტების ხსნარების წინაღობა სულ სხვაგვარად იცვლება. თუ ჩატარებულ ცდაში ლითონის სპირალს რომელიმე ელექტროლიტის ხსნარით შევცვლით, დავინახავთ, რომ მისი ტემპერატურის მატებისას გალვანომეტრის ჩვენებაც იზრდება. ეს კი ნიშნავს, რომ **ტემპერატურის მატებისას ელექტროლიტის ხსნარის წინაღობა მცირდება.** ტემპერატურის მატებისას ელექტროლიტის ხსნარში იონების რაოდენობა (კონცენტრაცია) იზრდება, რაც დენის ძალის ზრდას და შესაბამისად, წინაღობის შემცირებას იწვევს. აღსანიშნავია, რომ გაცხელებისას ნახშირის და ზოგიერთი სხვა მასალის წინაღობაც მცირდება. მათ მოგვიანებით გაეცნობით.

როგორ აღვწეროთ რაოდენობრივად გამტარის წინაღობის ტემპერატურაზე დამოკიდებულება? ვთქვათ, გამტარის წინაღობა t_0 ტემპერატურაზე არის R_0 , ხოლო t ტემპერატურაზე – R . გავიხსენოთ, რომ რაიმე ფიზიკური სიდიდის ფარდობითი ცვლილება ეწოდება ამ სიდიდის ცვლილების ფარდობას მის საწყის მნიშვნელობასთან. წინაღობის ფარდობითი ცვლილება ტოლი იქნება:

$$\frac{R - R_0}{R_0}$$

ცდებით დადასტურებულია, რომ ძალიან დიდი სიზუსტით, **წინალობის ფარდობითი ცვლილება ტემპერატურის ცვლილების პროპორციულია:**

$$\frac{R-R_0}{R_0} = \alpha (t-t_0). \quad (1)$$

α პროპორციულობის კოეფიციენტს **წინალობის ტემპერატურული კოეფიციენტი** ეწოდება. ის ნივთიერების წინალობის ტემპერატურაზე დამოკიდებულების მახასიათებელი ფიზიკური სიდიდეა. როგორც (1) ფორმულიდან ჩანს, მისი განზომილებაა K^{-1} .

წინალობის ტემპერატურული კოეფიციენტი რიცხობრივად გამტარის 1K-ით გათბობისას წინალობის ფარდობითი ცვლილების ტოლია.

რადგან ყველა ლითონის წინალობა გაცხელებისას მატულობს, ამიტომ ლითონებისათვის $\alpha > 0$ და ტემპერატურის ცვლილებისას ის უმნიშვნელოდ იცვლება. თუ ტემპერატურის ცვლილების ინტერვალი დიდი არ არის, α კოეფიციენტი ამ ინტერვალში შეგვიძლია მუდმივად, მისი საშუალო მნიშვნელობის ტოლად მივიჩნიოთ. ხშირად R_0 -ის მნიშვნელობად $0^{\circ}C$ ტემპერატურისას გამტარის წინალობას იღებენ. სუფთა ლითონებისათვის,

$$\alpha \approx \frac{1}{273} K^{-1}.$$

ცხრილში მოცემულია ზოგიერთი გამტარის წინალობის ტემპერატურული კოეფიციენტის საშუალო მნიშვნელობა $0^{\circ}C \div 100^{\circ}C$ ინტერვალში:

ნივთიერება	$\alpha, 10^{-3}K^{-1}$	ნივთიერება	$\alpha, 10^{-3}K^{-1}$
მანგანი	0,02	პლატინა	3,9
კონსტანტანი	0,04	ვერცხლი	4,1
ნიხრომი	0,13	სპილენძი	4,3
ნიკელინი	0,30	ვოლფრამი	4,8
ვერცხლისწყალი	0,88	რკინა	6,6

რადგან ელექტროლიტების ხსნარების წინალობა გათბობისას იკლებს, ამიტომ მათი წინალობის ტემპერატურული კოეფიციენტი უარყოფითია, $\alpha < 0$. მაგალითად, სუფრის მარილის 10%-იანი ხსნარისათვის $\alpha = -0,02K^{-1}$.

გაცხელებისას გამტარების გეომეტრიული ზომები უმნიშვნელოდ იზრდება, ამიტომ ტემპერატურის გაზრდისას, გამტარის წინალობის ცვლილება ძირითადად კუთრი წინალობის ცვლილებითაა გამოწვეული. თუ გამტარის კუთრი წინალობებს t_0 და t ტემპერატურებზე, შესაბამისად ρ_0 -ითა და ρ -თი აღვნიშნავთ, მაშინ შეგვიძლია დავწეროთ:

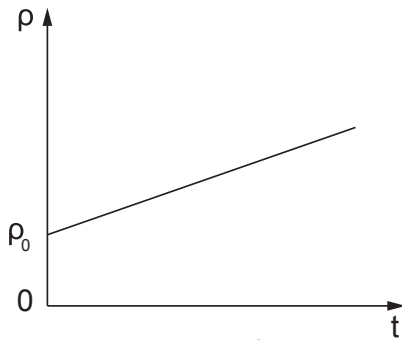
$R = \rho \frac{l}{S}$ და $R_0 = \rho_0 \frac{l}{S}$. ამ გამოსახულებების (1) ფორმულაში ჩასმითა და მარტივი გარდაქმნებით მივიღებთ:

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

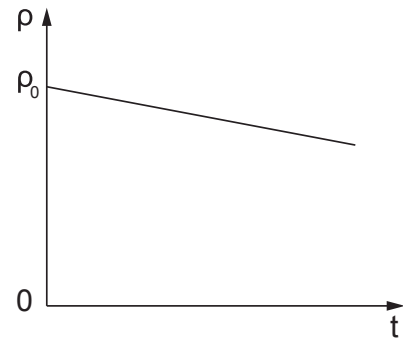
რომელშიც $\Delta t = t - t_0$, თუ საწყის ტემპერატურად $0^{\circ}C$ -ს ავიღებთ, მაშინ $\Delta t = t$ და გვექნება:

$$\rho = \rho_0(1 + \alpha t),$$

ამ ფორმულის თანახმად, კუთრი წინალობა წრფივად დაამოკიდებული ტემპერატურაზე. სურ. 72-ზე გამოსახულია ეს დამოკიდებულება ლითონის გამტარებისათვის, ხოლო სურ. 73-ზე – ელექტროლიტების ხსნარებისთვის.

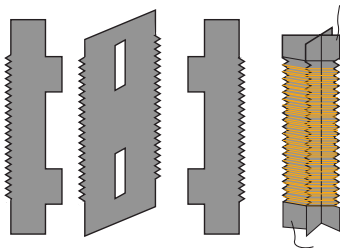


სურ. 72



სურ. 73

ლითონის წინალობის ტემპერატურაზე დამოკიდებულება გამოყენებულია წინალობის თერმომეტრებში. ყველაზე მარტივი წინალობის თერმომეტრია მიკას (მინერალი) ფირფიტაზე დახვეული პლატინის მავთული (სურ. 74), რომლის წინალობის ტემპერატურაზე დამოკიდებულება კარგად არის ცნობილი. წინალობის თერმომეტრს ათავსებენ იმ არეში, სადაც ტემპერატურის გაზომვა სურთ, ხოლო მავთულის ბოლოებს რთავენ წრედში. მისი წინალობის გაზომვით ადგენენ ტემპერატურას. ასეთი თერმომეტრებით (სურ. 75) შესაძლებელია ძალიან დაბალი და მაღალი ტემპერატურების გაზომვა, რისთვისაც თხევადი თერმომეტრები არ გამოდგება.



სურ. 74



სურ. 75

ახლა შეგიძლიათ დაფიქრდეთ და პასუხი გასცეთ პარაგრაფის დასაწყისში დასმულ კითხვებს.



როგორია ნათურის ვარვარების ძაფის წინალობა მის ჩართვამდე? როგორ იქნება ჩართვისას მასში გამავალი დენის ძალა? რა შეიძლება ამ დროს მოხდეს?



როგორ ახსნით მომხმარებლის ინსტრუქციაში არსებულ გაფრთხილებას?



რა ტიპის თერმომეტრია გამოყენებული მეტალურგიულ ღუმელში?

დასკვნები:

- ლითონის წინალობა ტემპერატურის მატებისას იზრდება;
- არსებობს შენადნობები, რომელთა წინალობა ტემპერატურის ზრდისას პრაქტიკულად არ იცვლება;
- ელექტროლიტის ხსნარის წინალობა ტემპერატურის მატებისას მცირდება;
- წინალობის ფარდობითი ცვლილება ტემპერატურის ცვლილების პროპორციულია:

$$\frac{R-R_0}{R_0} = \alpha(t-t_0);$$

- წინალობის ტემპერატურული კოეფიციენტი რიცხობრივად გამტარის 1K-ით გათბობისას წინალობის ფარდობითი ცვლილების ტოლია;
- კუთრი წინალობა წრფივად და მოკიდებული ტემპერატურაზე: $P = P_0(1 + \alpha t)$, რომელშიც P_0 კუთრი წინალობის მნიშვნელობაა 0°C -ზე.

საკონტროლო კითხვები:

1. რატომ იზრდება ლითონის გამტარის წინალობა ტემპერატურის მომატებისას?
2. რატომ მცირდება ელექტროლიტის ხსნარის წინალობა ტემპერატურის მომატებისას?
3. რა განზომილება აქვს წინალობის ტემპერატურულ კოეფიციენტს?
4. რას ნიშნავს რომ ელექტროლიტებისათვის $\alpha < 0$?



ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

მუდმივი ძაბვის წყაროსთან მიერთებულ 0°C -იან სპილენძის გამტარში თავისუფალი ელექტრონების მიმართული მოძრაობის საშუალო სიჩქარე $57,2$ მმ/წმ-ია. რისი ტოლი გახდება ეს სიჩქარე, თუ გამტარს 100°C -მდე გავაცხელებთ? გამტარის სითბურ გაფართოებას ნუ გაითვალისწინებთ.

ამოხსნა: ვინაიდან ლითონის გამტარში $I = envs$, ამიტომ თავისუფალი ელექტრონების მიმართული მოძრაობის საშუალო სიჩქარე $v = \frac{I}{ens}$. სპილენძის გამტარის ტემპერატურის გაზრდით მისი წინალობაც გაიზრდება, შესაბამისად შემცირდება დენის ძალის მასში. რადგან სითბური გაფართოება უმნიშვნელოა, $\frac{I}{ens}$ გამოსახულების მნიშვნელობა არ შეიცვლება, ამიტომ რამდენჯერაც შემცირდება დენის ძალა გამტარში, იმდენჯერაც შემცირდება ნაწილაკების მიმართული მოძრაობის საშუალო სიჩქარე. თუ გავითვალისწინებთ იმასაც, რომ ძაბვა გამტარის ბოლოებზე უცვლელია, შეგვიძლია

დავწეროთ: $\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_1}{I_2} = \frac{R}{R_0}$. მაგრამ $\frac{R}{R_0} = 1 + \alpha t = 1 + 0,0043 \cdot 100 = 1,43$. მაშასადამე, $\frac{V_1}{V_2} = 1,43$,

ამიტომ $v_2 = \frac{V_1}{1,43} = 40$ (მმ/წმ).

პასუხი: 100°C -ზე თავისუფალ ელექტრონთა მიმართული მოძრაობის საშუალო სიჩქარე 40 მმ/წმ-ის ტოლი გახდება.



ამოხსენით ამოცანები:

1. გამტარის წინაღობა 0°C -ზე 80 ომია. განსაზღვრეთ ამ გამტარის წინაღობა 1500°C -ზე, თუ მისი წინაღობის ტემპერატურული კოეფიციენტი $0,0004\text{ K}^{-1}$ -ის ტოლია.
2. გამტარის წინაღობა 0°C -ზე 20 ომია. განსაზღვრეთ ამ გამტარის წინაღობის ტემპერატურული კოეფიციენტი, თუ 1000°C -ზე მისი წინაღობა 30 ომს უტოლდება.
3. ლითონის გამტარის წინაღობის ტემპერატურული კოეფიციენტი $0,0002\text{ K}^{-1}$ -ის ტოლია. განსაზღვრეთ ამ გამტარის წინაღობა 0°C -ზე, თუ 1200°C -ზე მისი წინაღობა 124 ომია.
4. მუდმივი ძაბვის წყაროსთან მიერთებულ 0°C -იან სპილენძის გამტარში 1 ა დენი გადის. რა დენი გაივლის ამ გამტარში, თუ მას 100°C -მდე გავაცხელებთ?
5. 100 ვ ძაბვაზე ჩართულ 0°C -იან ნიკელინის გამტარში 2 ა დენი გადის. რა ძაბვაზე უნდა ჩავრთოთ იგივე გამტარი, რომ მისი 500°C -ზე გაცხელებისას დენის ძალა იგივე დარჩეს?
6. ვოლფრამის ძაფის წინაღობა 0°C -ზე 1,25 ომია. რა ტემპერატურამდე გავაცხელებს ძაფი, თუ მისი წინაღობა 13,25 ომს გაუტოლდა?
7. რამდენი გრადუსით შეიძლება გავზარდოთ პლატინის გამტარის ტემპერატურა, რომ მისი კუთრი წინაღობის ცვლილება 50%-ს არ აღემატებოდეს?
8. რამდენი პროცენტით გაიზრდება რკინის კუთრი წინაღობა, თუ მას 0°C -დან 150°C -მდე გავაცხელებთ?
9. 20°C -ზე გამტარის წინაღობა 11 ომია, 420°C -ზე კი – 12,3 ომი. გამოთვალეთ ამ გამტარის წინაღობის ტემპერატურული კოეფიციენტი.
10. რა ნივთიერებისგანაა დამზადებული გამტარი, თუ 24°C -ზე მისი წინაღობა 6 ომია, 800°C -ზე კი – 6,6 ომი.

§ 12 ზეგამტარობა

წარმოვიდგინოთ გამტარი, რომელსაც საერთოდ არ აქვს წინაღობა. ასეთ გამტარში ერთხელ ამოძრავებული მუხტის გადამტანი ნაწილაკები ყოველგვარი შეფერხების გარეშე უსასრულოდ დიდხანს იმოძრავებდა. თუ ასეთი გამტარების შექმნას შევძლებდით, დენის შესანარჩუნებლად გამტარის ბოლოებს შორის მუდმივად ძაბვის არსებობა აღარ დაგვჭირდებოდა. ეს მოგვცემდა ელექტრული ენერჯის უზარმაზარ ეკონომიას. სინამდვილეში კი, გამტარში დენის შენარჩუნებისათვის საჭიროა მის ბოლოებზე ყოველთვის არსებობდეს ძაბვა. რაც უფრო დიდ მანძილზე ხდება მუხტის გადატანა, მით უფრო დიდი ძაბვა უნდა იყოს მოდებული სადენის ბოლოებზე და მისი გათიშვის შემთხვევაში, გამტარის წინააღობის გამო დენი თითქმის მყისიერად ქრება.

როგორ შევამციროთ, ან საერთოდ გავაქროთ გამტარის წინააღობა? წინა პარაგრაფიდან იცით, რომ ლითონის გამტარების წინააღობა ტემპერატურის ზრდისას მატულობს. შესაბამისად, ტემპერატურის კლებისას – მცირდება. ბუნებრივია ვივარაუდოთ, რომ ძალიან დაბალ ტემპერატურებზე წინააღობა ნულისკენ მიისწრაფვის.

გასული საუკუნის დასაწყისში არ იყო ცნობილი ძალიან დაბალი ტემპერატურის მიღების მეთოდი, შესაბამისად ამ ვარაუდის ექსპერიმენტულად შემოწმება ვერ ხერხდებოდა. ამიტომაც არსებობდა რამდენიმე განსხვავებული თეორია იმის შესახებ, თუ რა ემართებოდა ლითონის გამტარობას ძალიან დაბალ ტემპერატურებზე.

ერთ-ერთი თეორიის მიხედვით, ძალიან დაბალ ტემპერატურაზე ელექტრონები უფრო ძლიერად არის დაკავშირებული ატომბირთვებთან, რის გამოც თავისუფალი ელექტრონების რაოდენობა იკლებს. შედეგად, $T=0K$ ტემპერატურასთან მიახლოებისას წინააღობა უსასრულოდ უნდა იზრდებოდეს.

სხვა თეორიით, ტემპერატურის კლებისას ლითონების კრისტალური მესრის კვანძებში მყოფი იონების რხევა სუსტდება და ისინი სულ უფრო ნაკლებად უშლის ხელს ელექტრონების მიმართულ მოძრაობას. შედეგად, გამტარობა იზრდება და $T=0K$ ტემპერატურასთან მიახლოებისას წინააღობა თითქმის ნულს უნდა გაუტოლდეს.



ჰეიკე კამერლინგ-ონესი (1853-1926)

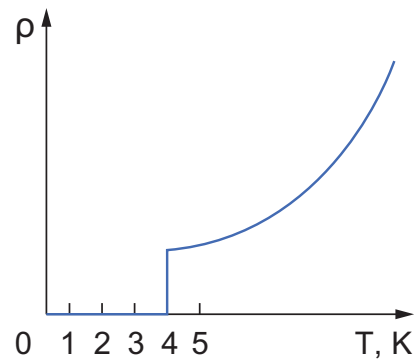
1908 წელს ცნობილმა ნიდერლანდელმა მეცნიერმა, ჰეიკე კამერლინგ-ონესმა პირველმა მიიღო თხევადი ჰელიუმი (ჰელიუმი ნორმალური ატმოსფერული წნევის დროს $4,2 K$ ტემპერატურაზე დუღს). თავდაპირველად მან ძალიან დაბალ ტემპერატურებზე პლატინის გამტარის წინააღობა გაზომა. მიღებული შედეგები არ შეესაბამებოდა არსებულ თეორიებს – ტემპერატურის კლებისას პლატინის წინააღობა უახლოვდებოდა გარკვეულ მუდმივ მნიშვნელობას. კამერლინგ-ონესმა ყურადღება მიაქცია იმ ფაქტს, რომ ერთნაირ პირობებში ნაკლები იყო იმ ნიმუშების წინააღობა, რომლებშიც ნაკლები იყო მინარევი. აქედან მან დაასკვნა, რომ სუფთა ლითონს ნულოვან ტემპერატურაზე უნდა გააჩნდეს უსასრულო გამტარობა. შემდეგი ცდები ჩატარებულ იქნა ოქროზე, რომლის გასუფთავება მინარევებისაგან უფრო

ადვილია, ვიდრე პლატინის. $T \rightarrow 0K$ ტემპერატურებისას, ოქროს კუთრი წინააღობა აღმოჩნდა უფრო ნაკლები, ვიდრე პლატინის. ბოლოს კამერლინგ-ონესმა ცდები ჩაატარა ვერცხლისწყალზე, რადგანაც ოთახის ტემპერატურაზე ის თხევად მდგომარეობაშია და თანმიმდევრული გამოხდის გზით შესაძლებელია მისი ძალიან კარგად განმენდა მინარევებისაგან.

ტემპერატურის კლებისას ვერცხლისწყლის კუთრი წინაღობა თანდათან მცირდება, მაგრამ 4,1K ტემპერატურისას მკვეთრად დაეცა და უსასრულოდ მცირე გახდა (სურ. 76).

1911 წლის 28 აპრილს კამერლინგ-ონესმა თავისი ცდების შედეგები ნიდერლანდების სამეფო აკადემიას მოახსენა. აღმოჩენილ მოვლენას მან **ზეგამტარობა** უწოდა, ხოლო ასეთ მდგომარეობაში მყოფ გამტარებს – **ზეგამტარები**. ამ აღმოჩენისათვის კამერლინგ-ონესს ნობელის პრემია მიენიჭა.

ტემპერატურა, რომლის დროსაც გამტარი ზეგამტარულ მდგომარეობაში გადადის, სხვადასხვა მასალისათვის განსხვავებულია. მას **კრიტიკული ტემპერატურა** ეწოდება. ზოგიერთი ნივთიერების კრიტიკული ტემპერატურა მოყვანილია ცხრილში:



სურ. 76

ნივთიერება	კრიტიკული ტემპერატურა, K
ტიტანი	0,4
ურანი	0,8
თუთია	0,9
ალუმინი	1,2
კალა	3,8
ვერცხლისწყალი	4,1
ტყვია	7,2
ნიობიუმის ნიტრატი	15,2

ამრიგად, ზეგამტარში ელექტრონების მიმართულ მოძრაობას არაფერი ეწინააღმდეგება, ამიტომ მასში დენის შენარჩუნებისათვის ელექტრული ველი საჭირო არ არის. ე.ი. არც უბნის ბოლოებზე ძაბვის არსებობაა საჭირო, ანუ ზედმეტია დენის წყაროც – ზეგამტარში აღძრული დენი, იარსებებს განუსაზღვრელად დიდხანს დენის წყაროს გამორთვის შემდეგაც. მართლაც, ცდებით დადასტურდა, რომ წრიულ ზეგამტარში აღძრული დენი დიდი ხნის განმავლობაში არ წყდება. დაფიქსირებულია შემთხვევა, როდესაც ზეგამტარში ორი წლის შემდეგაც დენის ძალა არ იყო შემცირებული.

გასათვალისწინებელია, რომ ეს დასკვნები მხოლოდ მუდმივი დენისთვისაა მართებული.

ზეგამტარობის პრაქტიკული გამოყენება კაცობრიობას ბევრ სიკეთეს ჰპირდებოდა. მაგალითად, ელექტრომაგნიტებში, ელექტროძრავებში და ელემენტარული ნაწილაკების ამაჩქარებლებში, ზეგამტარების გამოყენება დიდ სარგებელს მოგვცემდა. საქმე ისაა, რომ ამ მოწყობილობებში ძლიერი მაგნიტური ველის შექმნისათვის საჭიროა ელექტრომაგნიტის ხვიებში გვქონდეს დიდი დენის ძალა, რასაც ჩვეულებრივი სადენები ვერ უძლებს.

1913 წელს ზეგამტარული ელექტრომაგნიტის შექმნისას, კამერლიგ-ონესმა აღმოაჩინა, რომ ძლიერი მაგნიტური ველის შემთხვევაში ზეგამტარობა ქრებოდა. იგივეს ინვევდა ძლიერი დენის გატარებაც. მხოლოდ 40 წლის შემდეგ გახდა შესაძლებელი ზეგამტარული მაგნიტის შექმნა – აღმოჩენილ იქნა ზეგამტარი მასალები, რომლებიც უძლებდა ძლიერ მაგნიტურ ველსა და დენს.

ზეგამტარული ელექტრომაგნიტების გამოყენების არე საკმაოდ დიდია. მათ გარეშე შეუძლებელია კვლევების ჩატარება მაღალი ენერგიებისა და მყარი სხეულების ფიზიკაში. ისინი გამოიყენება ელექტროტექნიკასა და ტრანსპორტშიც.

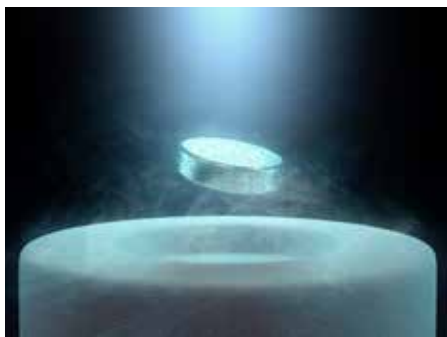
დიდ ადრონულ კოლაიდერში (სურ. 77) ზეგამტარული ელექტრომაგნიტების მიერ შექმნილი ძლიერი მაგნიტური ველის მოქმედებით თითქმის სინათლის სიჩქარით მოძრავი პროტონები იძენს ცენტრისკენულ აჩქარებას.



სურ. 77

ელექტროტექნიკაში ზეგამტარული მაგნიტების საშუალებით შესაძლებელია ასეულობით მეგავატი სიმძლავრის ელექტრული ძრავებისა და გენერატორების შექმნა.

ზეგამტარის ზემოთ მოთავსებული მაგნიტი არ ვარდება და მის თავზე ლივლივებს (სურ. 78). ეს მოვლენა **მაგნიტური ლევიტაციის** სახელითაა ცნობილი. ამ მოვლენაზეა დაფუძნებული ე.წ. **მაგნიტურ ბალიშზე** მატარებლის მოძრაობა (სურ. 79). ამ მატარებლებს ძალიან დიდი სიჩქარით გადაადგილება შეუძლია.



სურ. 78



სურ. 79

1986 წელს აღმოჩენილ იქნა მაღალტემპერატურული ზეგამტარები. ისინი წარმოადგენს ლანთანის, ბარიუმის და სხვა ელემენტების (კერამიკული) რთულ ოქსიდურ ნაერთებს დაახლოებით 100K კრიტიკული ტემპერატურით. სამწუხაროდ, ჯერჯერობით ეს ნაერთები არატექნოლოგიურია – მყიფეა და დიდი სიგრძის ნიმუშების შექმნა ვერ ხერხდება.

თუ გვექნება ზეგამტარი ოთახის ტემპერატურაზე, ეს საშუალებას მოგვცემს შევქმნათ ელექტროენერჯის შენახვისა და ტრანსპორტირების ეფექტური ხერხები. უკვე შემუშავებულია ელექტროენერჯის შენახვის პროექტი: მთაში გაჭრილ გვირაბში მოთავსდება დიდი დიამეტრის (დაახლოებით 100 მ) ზეგამტარული კოჭა. მასში არსებული არამილევადი დენი კი კოჭაში რამდენიმე ტერაჯოულ ენერჯიას შეინახავს. ასევე შესაძლებელი იქნება დიდ მანძილებზე დანაკარგების გარეშე ელექტროენერჯის გადაცემა.

დიდი პერსპექტივა აქვს ზეგამტარების კომპიუტერულ ტექნიკაში გამოყენებასაც. ეს გაზრდის კომპიუტერის სწრაფქმედებას და ასევე შეამცირებს ენერგეტიკულ დანაკარგებს, რაც შესაძლებლობას მოგვცემს შევქმნათ სუპერკომპიუტერი.

ზეგამტარობის მოვლენის ახსნა ფიზიკის სასკოლო კურსში შეუძლებელია. ზეგამტარობის თეორია შემოთავაზებულ იქნა 1957 წელს, ჯონ ბარდინის, ლეონ კუპერისა და ჯონ რობერტ შრიფერის მიერ. ამ მეცნიერთა ღვაწლიც ნობელის პრემიით იქნა აღნიშნული.

ზეგამტარობის კვლევა დღესაც აქტიურად მიმდინარეობს.



გაეცანით ვიდეორგოლს „რა არის ზეგამტარი?“:
<https://bit.ly/3fn0Ebd>

<https://bit.ly/3SnwOCe>



დასკვნები:

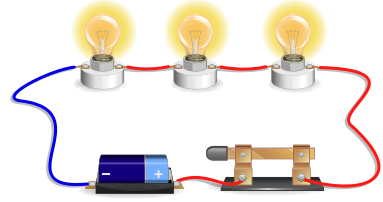
- მოვლენას, რომლის დროსაც გამტარის წინაღობა ნულს უტოლდება, ზეგამტარობა ეწოდება;
- ტემპერატურას, რომელზეც ნივთიერება ზეგამტარულ მდგომარეობაში გადადის, კრიტიკული ტემპერატურა ეწოდება;
- ნივთიერებებს, რომელთა კრიტიკული ტემპერატურა აბსოლუტურ ნულზე ბევრად მაღალია, მაღალტემპერატურული ზეგამტარები ეწოდება.

საკონტროლო კითხვები:

1. რატომ ვერ ამონმებდნენ მე-20 საუკუნის დასაწყისში ნივთიერების წინააღობის ცვლილებას დაბალ ტემპერატურებზე?
2. როგორ ნივთიერებებში ჰქონდა ადგილი წინააღობის მკვეთრ ვარდნას?
3. რა სარგებლობას მოგვცემდა, ჩვეულებრივი სადენების ნაცვლად ზეგამტარული სადენების გამოყენება?
4. სად გამოიყენებენ ზეგამტარებს?
5. რა არის მაგნიტური ლევიტაცია და სად შეიძლება მის გამოყენება?

§ 13 გამტარების მიმდევრობითი შეერთება

უმარტივეს წრედში დენის წყაროსთან მიერთებულია ერთი მომხმარებელი – ნათურა, ელექტროზარი, ელექტროძრავა და სხვა, მაგრამ პრაქტიკაში უმეტესად წრედში ერთდროულად რამდენიმე მომხმარებელია ჩართული. როდესაც ზარის ღილაკს თითო ვაჭერთ, მხოლოდ ზარი რეკავს, მაგრამ ზოგჯერ საჭიროა, ზარის დარეკვასთან ერთად ნათურაც აინთოს. ამ შემთხვევაში ზარი და ნათურა ერთ წრედში უნდა ჩართოს. მომხმარებლები ერთმანეთს სხვადასხვა ხერხით შეიძლება მივუერთოთ. ჩვენი მიზანია გავეცნოთ შეერთების ხერხებს და დავადგინოთ კანონზომიერებები, რომელსაც რამდენიმე მომხმარებლისაგან შემდგარი წრედები ემორჩილება.



სურ. 80

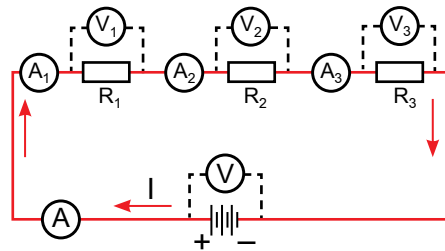
სურ. 80-ზე გამოსახულ წრედში ყველა ელემენტი ერთმანეთის შემდეგ მიმდევრობითაა ჩართული და წრედში არ არის განშტოება. თქვენ უკვე იცით, რომ ასეთ შეერთებას **მიმდევრობითი შეერთება** ეწოდება. გაიხსენეთ, რომ წრედში ამპერმეტრს მიმდევრობით ვრთავთ.

მიმდევრობითი შეერთების მექანიკური ანალოგი სურ. 81-ზეა გამოსახული. თუ მილის რომელიმე უბანზე ონკანს ჩავკეტავთ, წყალი მთელ მილში შეწყდება. ასევე, თუ მიმდევრობით ჩართული მომხმარებლებიდან რომელიმე მათგანი დენს არ გაატარებს, ის სხვა მომხმარებლებშიც შეწყდება.

განვიხილოთ წრედი, რომელშიც სამი სხვადასხვა R_1 , R_2 და R_3 წინაღობა მიმდევრობითაა ჩართული, ხოლო ძაბვა დენის წყაროს მომჭერებზე U -ს ტოლია (სურ. 82).



სურ. 81



სურ. 82

მიმდევრობითი შეერთებისას სრულდება სამი ძირითადი კანონი:

1. დენის ძალა მიმდევრობით შეერთებულ ყველა წინაღობაში ერთნაირია:

$$I_1 = I_2 = I_3 = I.$$

ეს იქიდან გამომდინარეობს, რომ მიმდევრობითი შეერთებისას წრედში განშტოება არ არის, მუხტი ვერსად გროვდება და შესაბამისად, დროის ერთსა და იმავე შუალედში ყველა წინაღობის განივკვეთში გასული მუხტი ერთნაირია;

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

$$U = U_1 + U_2 + U_3.$$

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

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

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

$$U = U_1 + U_2 + U_3.$$

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

$$R = R_1 + R_2 + R_3.$$

მიმდევრობით შეერთებული წინააღობების უბნის სრული წინააღობა ცალკეული წინააღობების ჯამის ტოლია. თუ წრედის მოცემული უბნის ყველა წინააღობას შევცვლით სრული წინააღობის ტოლი ერთი წინააღობით, წრედში დენის ძალა არ შეიცვლება.

N რაოდენობის ერთნაირი R_1 წინააღობის მიმდევრობითი შეერთებისას სრული წინააღობა ტოლი იქნება:

$$R = NR_1.$$

რადგან მიმდევრობითი შეერთებისას დენის ძალა ყველა წინააღობაში ერთნაირია, ამიტომ, $\frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2}$, ანუ

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}.$$

ე.ი. მიმდევრობითი შეერთებისას, ძაბვები წინააღობების ბოლოებზე ამ წინააღობების პირდაპირპროპორციულად ნაწილდება, ანუ ძაბვა დიდ წინააღობაზე იმდენჯერ აღემატება ძაბვას მცირე წინააღობაზე, რამდენჯერაც დიდი წინააღობა აღემატება მცირეს.

მიმდევრობითი ჩართვის კანონები შეიძლება ცდით შევამოწმოთ:

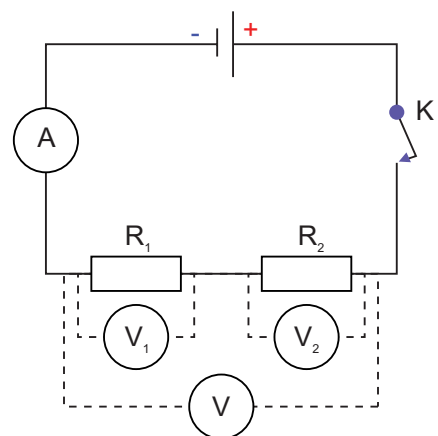
ცდისთვის საჭიროა: დენის წყარო, ორი სხვადასხვა წინააღობის რეზისტორი, ვოლტმეტრი, ამპერმეტრი, ჩამრთველი, შემაერთებელი სადენები.

სამუშაოს მსვლელობა:

1. ააწყეთ წრედი სურ. 83-ზე გამოსახული სქემის მიხედვით, ვოლტმეტრის გარეშე;
2. გაზომეთ დენის ძალა წრედში და ჩაწერეთ ცხრილში;
3. გაზომეთ: U_1 ძაბვა პირველ რეზისტორზე, U_2 ძაბვა მეორე რეზისტორზე და U ძაბვა ორივე რეზისტორის უბანზე. ამისთვის ვოლტმეტრი რიგრიგობით ჩართეთ ისე, როგორც სქემაზე პუნქტირითაა ნაჩვენები. გაზომვების შედეგები ჩაწერეთ ცხრილში.
4. შეამოწმეთ ძაბვების შეკრების კანონზომიერება;
5. ომის კანონი გამოყენებით გამოთვალეთ პირველი და მეორე რეზისტორის წინააღობა. მიღებული შედეგები ჩაწერეთ ცხრილში;
6. შეკრიბეთ რეზისტორების წინააღობები და ჯამი ჩაწერეთ ცხრილში;

7. $R = \frac{U}{I}$ ფორმულით გამოთვალეთ უბნის სრული წინააღობა და შეადარეთ წინააღობათა ჯამს;

8. გააანალიზეთ შედეგები და გამოიტანეთ დასკვნები.



სურ. 83

დენი ძალა $I, \text{ ა}$	ძაბვა, ვ			წინალობა, ომი			
	U_1	U_2	$U = U_1 + U_2$	R_1	R_2	$R_1 + R_2$	$R = \frac{U}{I}$



ნახეთ ანიმაცია „მიმდევრობითი შეერთება“:

<https://bit.ly/3fpCnS5>

დასკვნები:

- დენის ძალა მიმდევრობით შეერთებულ ყველა წინალობაში ერთნაირია:
 $I_1 = I_2 = I_3 = \dots = I_n = I;$
- ძაბვა მიმდევრობით შეერთებული წინალობების უბნის ბოლოებზე, თითოეული წინალობის ბოლოებზე არსებული ძაბვების ჯამის ტოლია:
 $U = U_1 + U_2 + U_3 + \dots + U_n;$
- მიმდევრობით შეერთებული წინალობების უბნის სრული წინალობა ცალკეული წინალობების ჯამის ტოლია: $R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n;$
- N რაოდენობის ერთნაირი R_1 წინალობის მიმდევრობითი შეერთებისას, სრული წინალობა ტოლია: $R = NR_1;$
- მიმდევრობითი შეერთებისას, ძაბვები წინალობების ბოლოებზე ამ წინალობების პირდაპირპროპორციულად ნაწილდება: $\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}.$

საკონტროლო კითხვები:

1. როგორ შეერთებას უწოდებენ მიმდევრობითს?
2. რატომ არის მიმდევრობით შეერთებულ გამტარებში დენის ძალა ერთნაირი?
3. მიმდევრობით შეერთებული სხვადასხვა წინალობებიდან რომლის ბოლოებზე არის მეტი ძაბვა?



ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

სურ. 84-ზე მოცემული სქემით აწყობილ წრედში ვოლტმეტრის ჩვენება 36 ვ-ია. როდესაც გადამრთველი A მდებარეობაშია, ამპერმეტრი 4 ა-ს აჩვენებს, თუ გადამრთველს B მდებარეობაში გადავიყვანთ, ამპერმეტრის ჩვენება 3 ა გახდება, ხოლო გადამრთველის C -სთან მიერთებისას – 2 ა. განსაზღვრეთ R_1 , R_2 და R_3 რეზისტორების წინალობა.

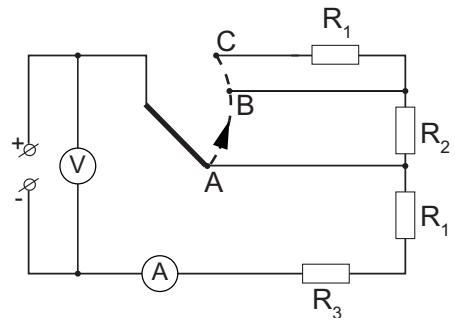
ამოხსნა: როდესაც გადამრთველის A მდებარეობაშია, წრედში მხოლოდ R_1 და R_3 წინალობებია მიმდევრობით ჩართული, ამიტომ სრული წინალობა იქნება $R_1 + R_3 = \frac{U}{I_1} = \frac{36}{4} = 9$ (ომი). ანალოგიურად, გადამრთველის B მდებარეობაში გადატანისას:

$R_1 + R_3 + R_2 = \frac{U}{I_2} = \frac{36}{3} = 12$ (ომი), გადამრთველის C მდებარეობაში გადაყვანისას კი

$$R_1 + R_1 + R_3 + R_2 = \frac{U}{3} = \frac{36}{2} = 18 \text{ (ომი)}. \text{ პირველი და მე-}$$

ორე ტოლობიდან ვღებულობთ, რომ $R_2 = 3$ ომი, მიღებული შედეგის მესამე ტოლობაში ჩასმით მივიღებთ: $R_1 + 12 \text{ ომი} = 18 \text{ ომი}$. ე.ი. $R_1 = 6$ ომი. პირველი ტოლობიდან კი მივიღებთ: $R_3 = 3$ ომი.

პასუხი: $R_1 = 6$ ომი, $R_2 = 3$ ომი, $R_3 = 3$ ომი

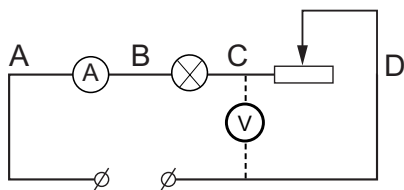


სურ. 84

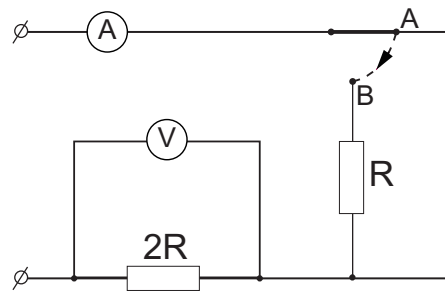


ამოხსენით ამოცანები:

- 40 ომი წინააღობის ნათურასთან მიმდევრობითაა შეერთებული 30 ომი წინააღობის რეზისტორი. იპოვეთ ამ უბნის სრული წინააღობა.
- 50 ომი წინააღობის რეზისტორთან მიმდევრობით შეერთებულია რეოსტატი, რომელსაც აწერია: 250 ომი, 2 ა. რა ფარგლებშია შესაძლებელი მთელი უბნის წინააღობის ცვლილება?
- 5 ომი წინააღობის ათი რეზისტორი შეერთებულია მიმდევრობით. იპოვეთ თითოეულ რეზისტორში გამავალი დენის ძალა, თუ ძაბვა მთელი უბნის ბოლოებს შორის 80 ვ-ია.
- მუდმივი ძაბვის წყაროსთან მიერთებულ 75 ომი წინააღობის ნათურაში 2 ა დენი გადის. რა წინააღობის რეზისტორი უნდა შევავერთოთ ნათურასთან მიმდევრობით, რომ დენი ძალა მასში 3-ჯერ შემცირდეს?
- მიმდევრობით შეერთებული ოთხი ერთნაირი ნათურა მიერთებულია მუდმივი ძაბვის წყაროსთან. როგორ შეიცვლება ძაბვა თითოეულ ნათურაზე, თუ მათ რაოდენობას ექვსამდე გავზრდით?
- მიმდევრობითაა შეერთებული $R_1 = 20$ ომი, $R_2 = 30$ ომი და $R_3 = 40$ ომი წინააღობის სამი რეზისტორი 54 ვ ძაბვის წყაროსთანაა მიერთებული. იპოვეთ ძაბვა თითოეული რეზისტორის ბოლოებს შორის.
- ნომინალური მონაცემები, რომელზეც გათვლილია ნათურა 123 ვ და 3 ა-ია. რა დამატებითი წინააღობა უნდა მივუერთოთ მას მიმდევრობით, რომ 369 ვ მუდმივი ძაბვის წყაროსთან მიერთების შემდეგ ნათურამ ნორმალურ რეჟიმში იმუშაოს?
- მოცემული გვაქვს 220 ვ ძაბვაზე გათვალისწინებული 88 ომი წინააღობის ელექტროქურა, 330 ვ მუდმივი ძაბვის წყარო და რეოსტატი წარწერით: 90 ომი, 3 ა. როგორ ავანყოთ წრედი, რომ ელექტროქურამ ნორმალურ რეჟიმში იმუშაოს?
- როგორ შეიცვლება ვოლტმეტრისა და ამპერმეტრის ჩვენება (სურ. 85), თუ რეოსტატის ცოციას მარჯვნივ გავწევთ?
- ამპერმეტრისა და ვოლტმეტრის ჩვენება, შესაბამისად 1,2 ა და 48 ვ-ია (სურ. 86). რა გახდება მათი ჩვენება, თუ გადამრთველს B მდებარეობაში გადავიყვანთ?

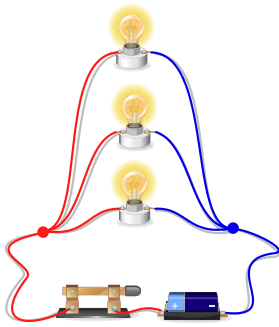


სურ. 85



სურ. 86

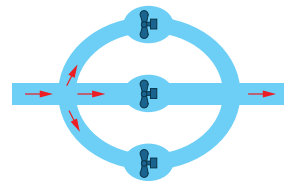
§ 14 გამტარების პარალელური შეერთება



სურ. 87

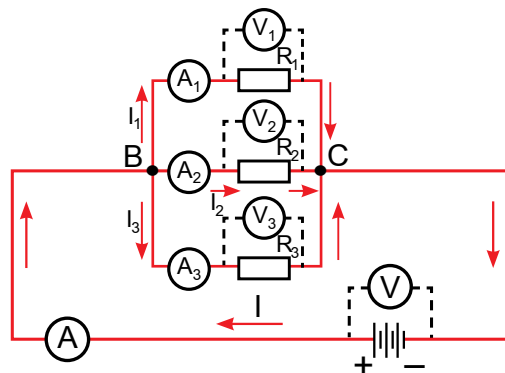
საკლასო ოთახის განათების წრედში რამდენიმე ნათურაა ჩართული, მაგრამ მიმდევრობითი შეერთებისაგან განსხვავებით, ერთი ნათურის მწყობრიდან გამოსვლა დანარჩენი ნათურების ჩაქრობას არ იწვევს. ამასთან, ყველა ნათურა ერთნაირ ძაბვაზეა გათვლილი. მაშ როგორ არის ეს ნათურები ერთმანეთთან შეერთებული? სურ. 87-ზე გამოსახულ წრედში სამივე ნათურას აქვს შეერთების ორი საერთო წერტილი. პირველში ხდება დენის განშტოება (გაყოფა), ხოლო მეორეში – შეკრება. თქვენ უკვე იცით, რომ ასეთ შეერთებას **პარალელური შეერთება** ეწოდება. გაიხსენეთ, რომ წრედში ვოლტმეტრს პარალელურად ვერთავთ.

პარალელური შეერთების მექანიკური ანალოგი სურ. 88-ზეა გამოსახული. წყლის ნაკადი რამდენიმე ნაწილად იყოფა, ხოლო შემდეგ ისევ ერთდება. თუ მილის რომელიმე განშტოებაში ონკანს გადავკეტავთ, დანარჩენ განშტოებებში წყალი მაინც იდენს. ასევე, თუ პარალელურად ჩართული მომხმარებლებიდან რომელიმე მათგანი დენს არ გაატარებს, ის სხვა მომხმარებლებში არ შეწყდება.



სურ. 88

როგორ გამოვთვალოთ დენის ძალა, ძაბვა და წინაღობა პარალელური შეერთებისას? განვიხილოთ წრედი, რომელშიც სამი სხვადასხვა R_1 , R_2 და R_3 წინაღობა პარალელურადაა ჩართული, ხოლო ძაბვა დენის წყაროს მომჭერებზე U -ს ტოლია (სურ. 89).



სურ. 89

პარალელური შეერთებისას სრულდება სამი ძირითადი კანონი:

1. თითოეული წინაღობის ბოლოებზე ძაბვა ერთნაირია და პარალელურად შეერთებული წინაღობების ბოლოებზე არსებული ძაბვის ტოლია:

$$U_1 = U_2 = U_3 = U. \quad (1)$$

ეს იქიდან გამომდინარეობს, რომ პარალელურად შეერთებულ ყველა წინაღობას ორი საერთო B და C წერტილი აქვს და მათ შორის 1 კ მუხტის ნებისმიერი გზით გატანისას ერთნაირი მუშაობა შესრულდება;

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

$$I = I_1 + I_2 + I_3. \quad (2)$$

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

3. პარალელურად შეერთებული გამტარების უბნის მთლიანი წინააღობის დასადგენად გამოვიყენოთ (1) და (2) ტოლობები. თუ უბნის მთლიან წინააღობას R -ით აღვნიშნავთ, ომის კანონის გამოყენებით (2) ტოლობა შემდეგნაირად ჩაიწერება:

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

ამ ტოლობის U -ზე შეკვეცით მივიღებთ:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}. \quad (3)$$

ამრიგად, **პარალელურად შეერთებული გამტარების უბნის სრული წინააღობის შებრუნებული სიდიდე ცალკეული გამტარის წინააღობის შებრუნებული სიდიდეების ჯამის ტოლია.** თუ წრედის მოცემული უბნის ყველა წინააღობას შევცვლით სრული წინააღობის ტოლი ერთი წინააღობით, წრედში დენის ძალა არ შეიცვლება.

(3) ფორმულიდან გამომდინარეობს, რომ პარალელურად ჩართული წინააღობების რაოდენობის ზრდით, უბნის სრული წინააღობა მცირდება. მართლაც, წინააღობის დამატებით უბნის სიგრძე არ იცვლება, მაგრამ ამით თითქოს განიკვეთის ფართობი იზრდება, რაც წინააღობის შემცირებას იწვევს.

იმ შემთხვევაში, როდესაც პარალელურად შეერთებულია ორი წინააღობა, გვექნება:

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}.$$

N რაოდენობის ერთნაირი R_1 წინააღობის პარალელური შეერთებისას კი სრული წინააღობის შებრუნებული სიდიდე ტოლი იქნება:

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

საიდანაც,

$$R = \frac{R_1}{N}.$$

რადგან პარალელური შეერთებისას ძაბვა ყველა წინააღობაზე ერთნაირია, ამიტომ $I_1 R_1 = I_2 R_2$, ანუ

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

ე.ი. **პარალელური შეერთებისას, წინააღობებში გამავალი დენის ძალები, ამ წინააღობების უკუპროპორციულად ნაწილდება,** ანუ დენის ძალა მცირე წინააღობაში იმდენჯერ აღემატება დიდ წინააღობაში დენის ძალას, რამდენჯერაც დიდი წინააღობა მეტია მცირეზე.

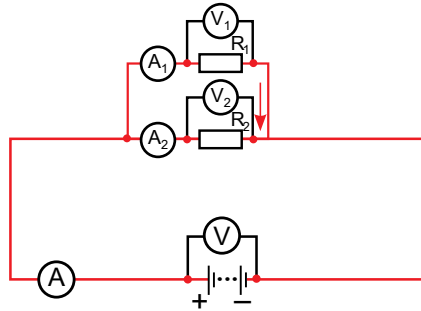
პარალელური შეერთება საშუალებას გვაძლევს მომხმარებლები ერთმანეთისგან დამოუკიდებლად ჩავრთოთ ან გამოვრთოთ. ზუსტად ამიტომ, სახლებში, მანქანებში, ქუჩებში და მრავალ სხვა შემთხვევაში, ელექტრომომხმარებლების პარალელური შეერთება გამოიყენება.

პარალელური შეერთების კანონები შეიძლება ცდით შევამოწმოთ:

ცდისთვის საჭიროა: დენის წყარო, ორი სხვადასხვა წინააღობის რეზისტორი, ვოლტმეტრი, ამპერმეტრი, ჩამრთველი, შემაერთებელი სადენები.

სამუშაოს მსვლელობა:

1. ააწყეთ წრედი სურ. 90-ზე გამოსახული სქემის მიხედვით, ვოლტმეტრისა და ამპერმეტრის გარეშე;



სურ. 90

2. გაზომეთ დენის ძალა წრედში, ამისთვის ამპერმეტრი ჩართეთ წრედის განუშტოებელ უბანში. მონაცემი ჩანერეთ ცხრილში;

3. მონაცვლეობით გაზომეთ დენის ძალა R_1 და R_2 წინააღობებში. ეს მონაცემები და მათი ჯამი ჩანერეთ ცხრილში;

4. ერთმანეთს შეადარეთ წრედში გამავალი დენის ძალის გაზომვითა და შეკრებით მიღებული შედეგები;

5. ვოლტმეტრით გაზომეთ ძაბვა დენის წყაროს მომჭერებსა და თითოეული წინააღობის ბოლოებზე. მონაცემები ჩანერეთ ცხრილში და შეადარეთ ერთმანეთს;

6. ომის კანონის გამოყენებით გამოთვალეთ მთლიანი უბნისა და თითოეული წინააღობა. შედეგები შეიტანეთ ცხრილში;

7. $R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$ ფორმულით გამოთვალეთ სრული წინააღობა და შეადარეთ ომის კანონით მიღებულ შედეგს;

8. გააანალიზეთ შედეგები და გამოიტანეთ დასკვნები.

დენის ძალა, ა				ძაბვა, ვ			წინააღობა, ომი			
I	I_1	I_2	$I_1 + I_2$	U	U_1	U_2	$R = \frac{U}{I}$	$R_1 = \frac{U}{I_1}$	$R_2 = \frac{U}{I_2}$	$R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$



ნახეთ ვიდეორგოლი „მიდევრობითი და პარალელური შეერთება“:

<https://bit.ly/3BM3X3o>

გაეცანით ანიმაციას „პარალელურად შეერთებული წინააღობები“:

<https://bit.ly/3xR16Vy>



დასკვნები:

- პარალელური შეერთებისას, თითოეული წინაღობის ბოლოებზე დაბვა ერთნაირია და პარალელურად შეერთებული წინაღობების ბოლოებზე არსებული დაბვის ტოლია: $U_1 = U_2 = U_3 = \dots = U_n = U$;
- პარალელური შეერთებისას დენის ძალა წრედის არაგანშტოებულ ნაწილში მის განშტოებებში დენის ძალების ჯამის ტოლია: $I = I_1 + I_2 + I_3 + \dots + I_n$;
- პარალელურად შეერთებული გამტარების უბნის სრული წინაღობის შებრუნებული სიდიდე ცალკეული გამტარის წინაღობის შებრუნებული სიდიდეების ჯამის ტოლია: $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$;
- N რაოდენობის ერთნაირი R_1 წინაღობის პარალელური შეერთებისას, სრული წინაღობა ტოლია: $R = \frac{R_1}{N}$;
- პარალელური შეერთებისას, წინაღობებში გამავალი დენის ძალები, ამ წინაღობების უკუპროპორციულად ნაწილდება: $I_1 = \frac{R_2}{R_1} I_2$.

საკონტროლო კითხვები:

1. როგორ შეერთებას უწოდებენ პარალელურს?
2. რა უპირატესობა აქვს მომხმარებლების პარალელურ შეერთებას, მიმდევრობითთან შედარებით?
3. რატომ არის პარალელურად შეერთებული წინაღობების ბოლოებზე დაბვები ერთნაირი?
4. პარალელურად შეერთებული წინაღობებიდან რომელში იქნება ნაკლები დენის ძალა?

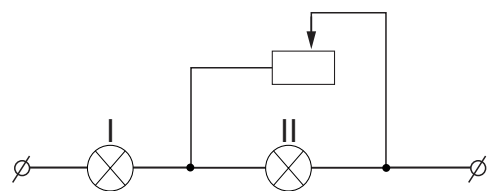


ერთად ამოხსნათ ამოცანა

ორი ნათურიდან პირველს აწერია: 42 ვ, 0,6 ა; მეორე ნათურას: 68 ვ 0,4 ა. მოცემული გვაქვს 110 ვ დაბვის დენის წყარო და რეოსტატი წარწერით: 470 ომი, 1 ა. როგორ ავანყოთ წრედი, რომ ნათურებმა ნომინალური დაბვის რეჟიმში იმუშაოს?

ამოხსნა: ნათურების ნომინალური დაბვის ჯამი დენის წყაროს მომჭერებზე დაბვის ტოლია. ეს გვაფიქრებინებს, რომ ნათურები მასთან მიმდევრობით შევაერთოთ, მაგრამ ნათურები სხვადასხვა დენის ძალაზეა გათვლილი და ეს უნდა გავითვალისწინოთ: პირველი ნათურის წინაღობა $\frac{42}{0,6} = 70$ (ომი)-ა, მეორისა $\frac{68}{0,4} = 70$ (ომი).

მათი მიმდევრობით ჩართვისას საერთო წინაღობა 240 ომი იქნება, ხოლო ნათურებში $\frac{110}{240} \approx 0,46$ (ა) დენი გაივლის, რაც მეორე ნათურისთვის დაუშვებელია. ამიტომ მეორე ნათურას პარალელურად მივუერთოთ რეოსტატი და მისი წინაღობა შევარჩიოთ ისე, რომ მეორე ნათურაში 0,4 ა დენი გადიოდეს. განვსაზღვროთ რეოსტატის ეს წინაღობა. რეოსტატზე მოდებული U_R დაბვა და მასში გამავალი I_R დენის ძალა, შესაბამისად იქნება:



სურ. 91

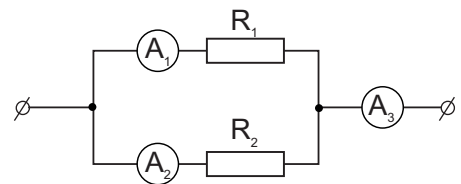
$U_R = U_2 = 68$ ვ, $I_R = I_1 - I_2 = 0,2$ ა. წინალობა, რომელიც რეოსტატზე უნდა შევარჩიოთ იქნება: $R = \frac{U_R}{I_R} = 340$ (ომი).

პასუხი: მეორე ნათურასთან პარალელურად უნდა ჩავრთოთ რეოსტატი 340 ომი წინალობით და შემდეგ მიმდევრობით მივუერთოთ პირველ ნათურას.

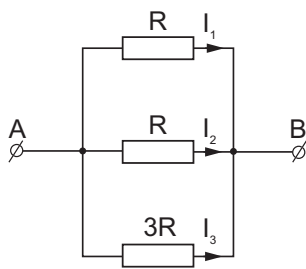


ამოხსენით ამოცანები:

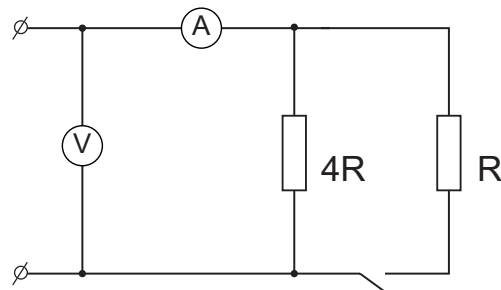
1. პარალელურად შეერთებული ორი გამტარიდან ერთის წინალობა 6 ომია, მეორისა კი – 12 ომი. იპოვეთ უბნის სრული წინალობა.
2. პარალელურად შეერთებული სამი გამტარიდან თითოეულის წინალობა 21 ომია. რისი ტოლია უბნის სრული წინალობა?
3. პარალელურად შეერთებული ათი ერთნაირი ნათურა მიერთებულია მუდმივი 88 ვ ძაბვის წყაროსთან. იპოვეთ დენის ძალა წრედის განუშტოებელ უბანში, თუ თითოეული ნათურის წინალობა 110 ომია.
4. მიმდევრობით შეერთებული 12 ერთნაირი რეზისტორი ერთმანეთთან შეაერთეს პარალელურად, რამდენჯერ შემცირდა უბნის სრული წინალობა?
5. პირველი ამპერმეტრის ჩვენება 0,9 ა-ია (სურ. 92). იპოვეთ მეორე და მესამე ამპერმეტრის ჩვენება, თუ $R_1 = 15$ ომი, $R_2 = 5$ ომი.
6. წრედის AB უბანში გამავალი დენის ძალა 2,1 ა-ია (სურ. 93). იპოვეთ დენის ძალა თითოეულ რეზისტორში.
7. 36 ვ ძაბვის დენის წყაროსთან მიმდევრობით შეერთებული ორი ნათურის მიერთებისას წრედში 3,6 ა დენი გადის. პარალელურად შეერთებული იმავე ნათურების მიერთებისას კი – 15 ა. იპოვეთ თითოეული ნათურის წინალობა.
8. როგორ შეიცვლება ვოლტმეტრისა და ამპერმეტრის ჩვენება ჩამრთველის ჩართვის შემდეგ (სურ. 94)? დაბვა უბნის მომჭერებზე მუდმივია.



სურ. 92

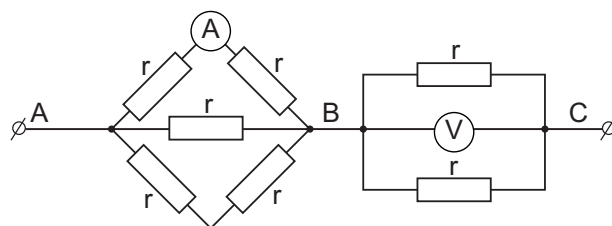


სურ. 93



სურ. 94

9. იპოვეთ სურ. 95-ზე გამოსახული წრედის უბნის სრული წინალობა, თუ $r = 4$ ომს. 10*. განსაზღვრეთ დენის ძალა ამპერმეტრში, თუ ვოლტმეტრი 12 ვ-ს აჩვენებს. (იხილეთ ამოცანა N 9).



სურ. 95

§ 15 დამატებითი წინალობა. შუნტი

ვოლტმეტრი. თქვენ უკვე იცით, რომ ვოლტმეტრს იმ უბნის პარალელურად რთავენ, რომელზეც ძაბვის გაზომვა უნდათ. ცხადია, ძაბვა ვოლტმეტრის მომჭერებზე იგივეა, რაც წრედის უბანზე, მაგრამ ვოლტმეტრის ჩართვა უბნის წინალობის ცვლილებას გამოიწვევს. თუ უბნის სანყისი წინალობა იყო R , მაშინ R_3 წინალობის ვოლტმეტრის ჩართვის შემდეგ ის გახდება

$$R' = \frac{RR_3}{R + R_3}, \quad (1)$$

რაც უბნის სანყისი წინალობაზე ნაკლებია. შესაბამისად, უბნის ბოლოებზე ძაბვაც შემცირდება, ანუ ვოლტმეტრის ჩვენება ნაკლები იქნება, ვიდრე იყო ძაბვა მის ჩართვამდე. იმისათვის, რომ ვოლტმეტრის ჩართვამ უბნის პარამეტრების საგრძნობი ცვლილება არ გამოიწვიოს, საჭიროა მისი წინალობა უბნის წინალობაზე ბევრად მეტი იყოს. ამაში ადვილად დავრწმუნდებით, თუ (1) ტოლობას შემდეგნაირად გარდავქმნით:

$$R' = \frac{R}{1 + \frac{R}{R_3}}$$

თუ $R \ll R_3$, მაშინ $\frac{R}{R_3} \rightarrow 0$ და $R' \approx R$.

ასევე იცით, რომ ყველა ვოლტმეტრის სკალაზე ნაჩვენებია ძაბვის ის მაქსიმალური მნიშვნელობა, რომლის გაზომვა მას შეუძლია. თუ შევეცდებით უფრო დიდი ძაბვის გაზომვას, ვოლტმეტრი შეიძლება მწყობრიდან გამოვიდეს. როგორ გავზომოთ ამავე ვოლტმეტრით ძაბვა, რომელიც მასზე მითითებულ დასაშვებ მნიშვნელობაზე მეტია? ამისათვის ვოლტმეტრთან მიმდევრობით რთავენ დამატებით რეზისტორს, $R_{\text{დ}}$ წინალობით, რაც ვოლტმეტრის გაზომვის ზღვარს ზრდის.

მართლაც, დამატებითი რეზისტორის ჩართვით გასაზომი ძაბვა იყოფა ორ ნაწილად (სურ. 96): ერთი ნაწილი მოდის ვოლტმეტრზე (U_3), მეორე კი დამატებით რეზისტორზე ($U_{\text{დ}}$). გაიხსენეთ, რომ მიმდევრობითი შეერთებისას ძაბვები იკრიბება, ამიტომ:

$$U = U_3 + U_{\text{დ}}$$

ვოლტმეტრში გამავალი დენის ძალა შეიძლება ორი სახით ჩავწეროთ:

$$I_3 = \frac{U_3}{R_3} = \frac{U}{R_3 + R_{\text{დ}}}$$

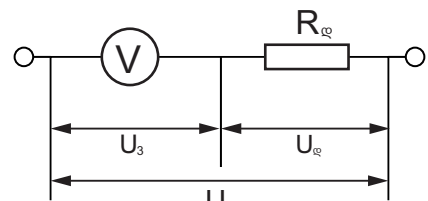
საიდანაც

$$\frac{U}{U_3} = \frac{R_3 + R_{\text{დ}}}{R_3} = 1 + \frac{R_{\text{დ}}}{R_3}$$

შეფარდება $\frac{U}{U_3}$ გვიჩვენებს, თუ რამდენჯერ გაიზარდა ვოლტმეტრის გაზომვის

ზღვარი და შესაბამისად, დანაყოფის ფასიც. თუ ამ შეფარდებას n -ით აღვნიშნავთ, მაშინ დამატებითი წინალობისათვის გვექნება:

$$R_{\text{დ}} = R_3(n - 1).$$



სურ. 96

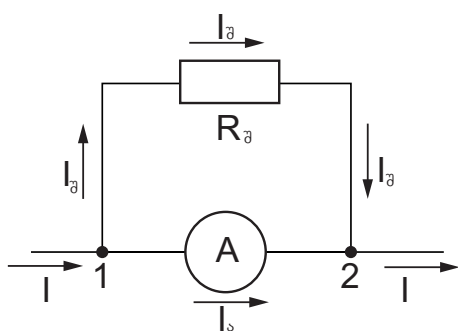
დამატებითი წინალობის ჩართვით იზრდება ვოლტმეტრის გაზომვის ზღვარი, მაგრამ იმდენჯერვე მცირდება გაზომვის სიზუსტე. როგორც წესი, ვოლტმეტრებს რამდენიმე დამატებითი წინალობა აქვს, რომლებთან შეერთება გადამრთველის საშუალებით ხდება.

ამპერმეტრი. ამპერმეტრს მომხმარებელთან მიმდევრობით რთავენ. მასში გამავალი დენის ძალა იგივეა, რაც მომხმარებელში, მაგრამ ამპერმეტრის ჩართვა წინალობის ცვლილებას გამოიწვევს. თუ მომხმარებლის წინალობა იყო R , მასთან R_s წინალობის ამპერმეტრის ჩართვის შემდეგ სრული წინალობა ტოლი იქნება:

$$R' = R + R_s = R \left(1 + \frac{R_s}{R} \right).$$

იმისათვის, რომ ამპერმეტრის ჩართვამ უბნის პარამეტრების საგრძნობი ცვლილება არ გამოიწვიოს, საჭიროა მისი წინალობა ბევრად ნაკლები იყოს მომხმარებლის წინალობაზე. მართლაც, თუ $R_s \ll R$, მაშინ $\frac{R_s}{R} \rightarrow 0$ და $R' \approx R$.

გაიხსენეთ, რომ ყველა ამპერმეტრის სკალაზე ნაჩვენებია დენის ძალის ის მაქსიმალური მნიშვნელობა, რომლის გაზომვაც მას შეუძლია. თუ შევცდებით უფრო დიდი დენის გაზომვას, ამპერმეტრი შეიძლება მწყობრიდან გამოვიდეს.



სურ. 97

როგორ გავზომოთ ამავე ამპერმეტრით დენის ძალა, რომელიც მასზე მითითებულ დასაშვებ მნიშვნელობაზე მეტია? ამისათვის ამპერმეტრთან პარალელურად რთავენ ისეთი წინალობის რეზისტორს, რომ ამპერმეტრში გამავალმა დენის ძალამ დასაშვებ ზღვარს არ გადააჭარბოს. ამ რეზისტორს **შუნტს (shunt – დამატებითი გზა)** უწოდებენ.

ამპერმეტრის შუნტირებით გასაზომი დენი განშტოების ნერტილში (1) ორ ნაწილად იყოფა: მისი ნაწილი ამპერმეტრში გადის, დანარჩენი კი

– შუნტში (სურ. 97). გაიხსენეთ, რომ პარალელური შეერთებისას დენის ძალები იკრიბება, ამიტომ:

$$I = I_s + I_g.$$

ძაბვა 1 და 2 ნერტილებს შორის შეიძლება ორი სახით ჩავწეროთ:

$$U = I_s R_s = I \frac{R_s R_g}{R_s + R_g},$$

საიდანაც

$$\frac{I}{I_s} = \frac{R_s + R_g}{R_s} = 1 + \frac{R_g}{R_s}.$$

შეფარდება $\frac{I}{I_s}$ გვიჩვენებს, თუ რამდენჯერ გაიზარდა ამპერმეტრის გაზომვის ზღვარი, შესაბამისად დანაყოფის ფასიც. თუ ამ შეფარდებას n -ით აღვნიშნავთ, მაშინ შუნტის წინალობისთვის მივიღებთ:

$$R_g = \frac{R_s}{n - 1}.$$

შუნტის ჩართვით იზრდება ამპერმეტრის გაზომვის ზღვარი, მაგრამ იმდენჯერვე მცირდება გაზომვის სიზუსტე. გასათვალისწინებელია შუნტების განიკვეთის ფართო-

ბი – ის უნდა ისე შეირჩეს, რომ შუნტის გაცხელება გამოირიცხოს, წინააღმდეგ შემთხვევაში მისი წინალობა გაზომვისას შეიცვლება.

როგორც წესი, ამპერმეტრებს რამდენიმე შუნტი აქვს, რომლებთან შეერთება გადამრთველის საშუალებით ხდება.

დასკვნები:

- ვოლტმეტრის წინალობა ბევრად მეტი უნდა იყოს იმ უბნის წინალობაზე, რომლის ბოლოებზე დაბვას ვზომავთ: $R \ll R_v$;
- ვოლტმეტრის გაზომვის ზღვრის n -ჯერ გასაზრდელად, მასთან მიმდევრობით აერთებენ დამატებითი წინალობას, რომელიც ტოლია: $R_{\Sigma} = R_v(n - 1)$;
- ამპერმეტრის წინალობა ბევრად ნაკლები უნდა იყოს იმ მომხმარებლის წინალობაზე, რომელშიც დენის ძალას ვზომავთ: $R_s \ll R$;
- ამპერმეტრის გაზომვის ზღვრის n -ჯერ გასაზრდელად, მასთან პარალელურად აერთებენ დამატებითი წინალობას, რომელიც ტოლია: $R_{\Sigma} = \frac{R_s}{n - 1}$.

საკონტროლო კითხვები:

1. უბნის ბოლოებს შორის ვოლტმეტრის ჩართვა რატომ იწვევს დაბვის შეცვლას?
2. რა ხერხით ზრდიან ვოლტმეტრის გაზომვის ზღვარს?
3. როგორ ცვლის ვოლტმეტრის გაზომვის ზღვრის გაზრდა გაზომვის სიზუსტეს?
4. მომხმარებელთან ამპერმეტრის შეერთება რატომ იწვევს დენის ძალის შეცვლას?
5. რა ხერხით ზრდიან ამპერმეტრის გაზომვის ზღვარს?



ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

თუ ამპერმეტრს 0,2 ომი წინალობის შუნტს მივუერთებთ, მისი მეშვეობით შესაძლებელი იქნება 8 ა დენის ძალის გაზომვა, ხოლო თუ 0,1 ომი წინალობის შუნტს, მაშინ – 14 ა-ისა. რამდენჯერ შემცირდება ამპერმეტრის გაზომვის სიზუსტე, თუ მას 0,15 ომი წინალობის შუნტს მივუერთებთ?

ამოხსნა: თქვენთვის ცნობილია, რომ ხელსაწყო აბსოლუტური ცდომილება მისი დანაყოფის ფასის ნახევარია. ცხადია, რამდენჯერაც გაიზრდება დანაყოფის ფასი, იმდენჯერ გაიზრდება აბსოლუტური ცდომილებაც. იმისათვის, რომ გავიგოთ რამდენჯერ იზრდება გაზომვის ზღვარი (დანაყოფის ფასი), პირველ რიგში უნდა ვიპოვოთ ამპერმეტრის წინალობა. მაქსიმალურ დაბვა, რომელზედაც ამპერმეტრია გათვლილი, აღვნიშნოთ U_0 -ით და გამოვსახოთ ის პირველ ორ შემთხვევაში:

$U_0 = I_1 \cdot \frac{R_A R_1}{R_A + R_1}$, $U_0 = I_2 \cdot \frac{R_A R_2}{R_A + R_2}$. თუ ამ გამოსახულებებს ერთმანეთს გავუტოლებთ, ვიპოვით ამპერმეტრის წინალობას. $\frac{8 \cdot R_A \cdot 0,2}{R_A + 0,2} = \frac{7 \cdot R_A \cdot 0,1}{R_A + 0,1}$, საიდანაც $R_A = 0,6$ ომი.

რამდენჯერ იზრდება დანაყოფის ფასი დავადგინოთ შემდეგი გამოსახულებით:

$$n = \frac{R_A}{R_B} + 1. \quad n = \frac{0,6}{0,15} + 1 = 5. \text{ ე.ი. დანაყოფის ფასი და შესაბამისად, აბსოლუტური}$$

ცდომილებაც 5-ჯერ იზრდება, ანუ 5-ჯერ მცირდება გაზომვის სიზუსტე.

პასუხი: ამპერმეტრის გაზომვის სიზუსტე 5-ჯერ მცირდება.



ამოხსენით ამოცანები:

1. 800 ომი წინააღობის ვოლტმეტრს მიმდევრობით მიუერთეს 200 ომი წინააღობის რეზისტორი. რას გვიჩვენებს ვოლტმეტრი, თუ დაბვა რეზისტორის ბოლოებზე 15 ვ-ია?
2. მიმდევრობით შეერთებული ორი ნათურიდან პირველის წინააღობა 3-ჯერ აღემატება მეორისას. რისი ტოლი იქნება პირველ ნათურასან მიერთებული ვოლტმეტრის ჩვენება, თუ მთლიანი უბნის ბოლოებს შორის დაბვა 144 ვ-ია? მიიჩნიეთ, რომ ვოლტმეტრის წინააღობა ბევრად აღემატება ნათურისას.
3. მიმდევრობით შეერთებული $R_1=0,3$ კომი და $R_2=0,6$ კომი წინააღობის რეზისტორები მიერთებულია 270 ვ დაბვის წყაროსთან. რისი ტოლი იქნება 400 ომი წინააღობის ვოლტმეტრის ჩვენება, თუ მას R_1 რეზისტორის ბოლოებთან მივაერთებთ?
4. 100 ომი წინააღობის ნათურასთან პარალელურად შეაერთეს 1 ომი წინააღობის ამპერმეტრი. იპოვეთ ნათურაში გამავალი დენის ძალა, თუ ამპერმეტრი 3 ა-ს აჩვენებს.
5. პარალელურად შეერთებული $R_1=12$ ომი და $R_2=36$ ომი წინააღობის რეზისტორებიდან R_1 -ში გამავალი დენის ძალა 1,2 ა-ია. იპოვეთ დენის ძალა R_2 წინააღობის რეზისტორში.
6. რა დამატებით წინააღობა უნდა მივუერთოთ 1 კომი წინააღობის ვოლტმეტრს, რომ მისი გაზომვის ზღვარი 6-ჯერ გაიზარდოს?
7. 500 ომი წინააღობის ვოლტმეტრის გაზომვის ზღვარი 12 ვ-ია. რა დამატებითი წინააღობა უნდა მივუერთოთ ვოლტმეტრს, რომ მისი გაზომვის ზღვარი 60 ვ-მდე გაიზარდოს?
8. რა წინააღობის შუნტი უნდა მივუერთოთ 0,9 ომი წინააღობის ამპერმეტრს, რომ მისი გაზომვის ზღვარი 10-ჯერ გავზარდოთ?
9. 0,76 ომი წინააღობის ამპერმეტრს, რომლის დანაყოფის ფასი 1 მა-ია, 10 დანაყოფი აქვს. რა წინააღობის შუნტი უნდა მივაერთოთ ამპერმეტრს, რომ მისი მეშვეობით შესაძლებელი გახდეს 0.2 ა დენის გაზომვა?
- 10*. ვოლტმეტრის გაზომვის ზღვარი 600 ვ-ია, მასში გამავალი დენის ძალის მაქსიმალური მნიშვნელობა კი – 0.3 ა. როგორ შეიცვლება ვოლტმეტრის გაზომვის სიზუსტე, თუ მას მიმდევრობით დამატებით 2,4 კომი წინააღობის გამტარს მივუერთებთ?

§ 16 დენის მუშაობა და სიმძლავრე

თანამედროვე ადამიანის ყოფა ელექტრული დენის გარეშე წარმოდგენილია. დენი ელექტრული ენერჯიის წყაროა. ეს ენერჯია შეიძლება ნებისმიერ სხვა – მექანიკურ, სითბურ, ქიმიურ და ა.შ. სახის ენერჯიად გარდაიქმნას. გაიხსენეთ, რომ ენერჯია მუშაობის შესრულების უნარია, ე.ი. ელექტრულ დენს შეუძლია შეასრულოს მუშაობა. რისი ტოლია ელექტრული დენის მიერ შესრულებული მუშაობა?

თავიდანვე აღვნიშნოთ, რომ გამონათქვამი – „ელექტრული დენის მუშაობა“ ზუსტი არ არის. მართებული იქნებოდა გვეთქვა „ელექტრული ძალების მიერ შესრულებული მუშაობა“, რადგან სწორედ ეს ძალები ამოძრავებს დამუხტულ ნაწილაკებს გამტარში და ქმნის ელექტრულ დენს.

თქვენ უკვე იცით, რომ წრედის უბნის ბოლოებზე არსებული U ძაბვა რიცხობრივად იმ მუშაობის ტოლია, რომელსაც ელექტრული ველი ამ უბანზე 1 კ მუხტის გადატანისას ასრულებს. ცხადია, იმავე უბანზე 10 კ მუხტის გადატანისას 10 -ჯერ მეტი მუშაობა შესრულდება. ამიტომ, ზოგადად, q მუხტის გადატანისას, ელექტრული ველი $A = qU$ მუშაობას შეასრულებს. დენის ძალის განმარტებიდან გამომდინარეობს, რომ $q = It$, რომელშიც I წრედის უბანში გამავალი დენის ძალაა, t კი – დენის გავლის დრო. მუშაობის ფორმულაში მუხტის ამ მნიშვნელობის ჩასმით მივიღებთ:

$$A = UIt. \quad (1)$$

ამრიგად, წრედის უბანზე ელექტრული დენის მიერ შესრულებული მუშაობა ტოლია ამ უბნის ბოლოებზე მოდებული ძაბვის, მასში დენის ძალისა და დენის გავლის დროის ნამრავლის.

მაშასადამე, წრედის უბანზე ელექტრული დენის მიერ შესრულებული მუშაობის განსაზღვრისათვის, საკმარისია გავზომოთ მასში დენის ძალა, უბანზე მოდებული ძაბვა და დენის გავლის დრო (სურ. 98).

(1) ფორმულიდან გამომდინარეობს, რომ SI-ში $1 \text{ჯ} = 1 \text{ვ} \cdot 1 \text{ა} \cdot 1 \text{წმ}$.

ენერჯიის მუდმივობის კანონის თანახმად, ენერჯია, რომელიც წრედის უბანზე t დროის განმავლობაში გამოიყოფა, დენის მიერ შესრულებული მუშაობის ტოლია.

თუ ომის კანონიდან წრედის უბნისთვის ძაბვას დენის ძალით გამოვსახავთ, ან დენის ძალას – ძაბვით და (1) ფორმულაში ჩავსვათ, დენის მუშაობისათვის კიდეც ორ ეკვივალენტურ ფორმულას მივიღებთ:

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

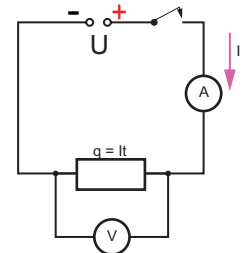
$$A = \frac{U^2}{R} t, \quad (3)$$

რომელშიც R უბნის წინააღობაა.

ნებისმიერი ელექტრული ხელსაწყო (ელექტროძრავა, ელექტროსახურებელი, ნათურა და ა.შ.) გათვლილია დროის ერთეულში გარკვეული ენერჯიის მოხმარებაზე. ამიტომ მნიშვნელოვანია დენის სიმძლავრის ცნებაც. დენის P სიმძლავრე ტოლია დენის A მუშაობის ფარდობისა დროის იმ t შუალედთან, რომლის განმავლობაშიც ეს მუშაობა შესრულდა:

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

თუ (1) ფორმულას გავითვალისწინებთ, მივიღებთ:



სურ. 98

$$P = UI. \quad (4)$$

ომის კანონის გამოყენებით მიიღება სიმძლავრის კიდევ ორი ფორმულა:

$$P = I^2R, \quad (5)$$

$$P = \frac{U^2}{R}. \quad (6)$$

ფორმულა (4)-დან გამომდინარეობს, რომ SI-ში **1ვტ = 1ა · 1ვ**.

დენის სიმძლავრე შესაძლებელია არა მარტო გამოვთვალოთ, არამედ უშუალოდ გავზომოთ კიდევ ხელსაწყოთი, რომელსაც **ვატმეტრი** ეწოდება.

აღსანიშნავია, რომ ფორმულები (1) და (4) უნივერსალურია და მათი გამოყენება შეიძლება ნებისმიერ შემთხვევაში. ფორმულები (2), (3) და (5), (6) კი მიღებულია ერთ-გვაროვანი უბნისთვის ომის კანონზე დაყრდნობით და ამიტომ შესაძლებელია გამოვიყენოთ მხოლოდ მაშინ, როცა დენის მუშაობა მთლიანად გამტარის შინაგანი ენერჯის ზრდას ხმარდება.



სურ. 99

ყოფა-ცხოვრებაში დენის შესრულებული მუშაობას, ანუ მოხმარებულ ელექტროენერჯიას **ელექტრომრიცხველით** ზომავენ (სურ. 99). ის მოხმარებულ ელექტროენერჯიას აღრიცხავს არა ჯოულებით, არამედ **კილოვატ-საათებით (კვტ · სთ)**. რა ერთეულია ის?

1 კვტ · სთ არის ელექტრული ენერჯია, რომელსაც მოიხმარს ერთი კილოვატი სიმძლავრის მომხმარებელი ერთი საათის განმავლობაში.

ვინაიდან $1\text{კვტ} = 1000\text{ვტ}$, $1\text{სთ} = 3600\text{წმ}$ და $1\text{ვტ} = 1\text{ჯ/წმ}$, ამიტომ $1\text{კვტ} \cdot \text{სთ} = 1000\text{ჯ/წმ} \cdot 3600\text{წმ} = 3,6 \cdot 10^6\text{ჯ}$.

ვთქვათ, ელექტროენერჯიის საყოფაცხოვრებო ტარიფი – 1კვტ · სთ-ის ღირებულება 22 თეთრია. თუ მრიცხველის წინა ჩვენება 260კვტ · სთ იყო და ახალი ჩვენება 360კვტ · სთ-ია, მოხმარებული ელექტროენერჯია იქნება: $360\text{კვტ} \cdot \text{სთ} - 260\text{კვტ} \cdot \text{სთ} = 100\text{კვტ} \cdot \text{სთ}$. შესაბამისად, გადასახდელი თანხა იქნება $100 \cdot 22\text{თ} = 22\text{ლარი}$.

დასკვნები:

- წრედის უბანზე ელექტრული დენის მიერ შესრულებული მუშაობა ტოლია ამ უბნის ბოლოებზე მოდებული ძაბვის, მასში დენის ძალისა და დენის გავლის დროის ნამრავლის: $A = UIt$;
- როცა დენის მუშაობა მთლიანად გამტარის შინაგანი ენერჯიის ზრდას ხმარდება, მაშინ ის შეიძლება გამოვთვალოთ შემდეგი ფორმულებითაც:

$$A = I^2Rt, A = \frac{U^2}{R} t;$$

- დენის სიმძლავრე წრედის უბანზე, მის ბოლოებზე მოდებული ძაბვისა და მასში გამავალი დენის ძალის ნამრავლის ტოლია: $P = UI$;
- როცა დენის მუშაობა მთლიანად გამტარის შინაგანი ენერჯიის ზრდას ხმარდება, მაშინ დენის სიმძლავრე შეიძლება გამოვთვალოთ შემდეგი

$$\text{ფორმულებითაც: } P = I^2R, P = \frac{U^2}{R};$$

- 1 კვტ · სთ არის ელექტრული ენერჯია, რომელსაც მოიხმარს ერთი კილოვატი სიმძლავრის მომხმარებელი ერთი საათის განმავლობაში. $1\text{კვტ} \cdot \text{სთ} = 3,6 \cdot 10^6\text{ჯ}$.

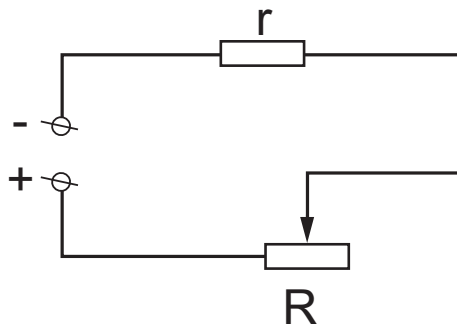
საკონტროლო კითხვები:

1. როგორ გესმით გამონათქვამი „ელექტრული დენის მუშაობა“?
2. რას ნიშნავს, როცა წრედის რაიმე უბნის ბოლოებს შორის დაბვა 5 ვ-ია?
3. რა ჰქვია სიმძლავრის საზომ ხელსაწყოს?
4. რამდენ 1კვტ. სთ ენერგიას ხარჯავს თქვენი ელექტროჩაიდან 15 წუთის განმავლობაში?
5. რას ზომავს ელექტრომრიცხველი?



ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

რეოსტატი და r წინააღობის რეზისტორი მიერთებულია მუდმივი დაბვის წყაროსთან (სურ. 100). როდესაც წრედში დენის ძალა 1,5 ა-ია, რეოსტატში 30 ვტ სიმძლავრე გამოიყოფა, 4 ა დენის ძალის გავლისას კი - 64 ვტ. იპოვეთ რეზისტორის წინააღობა.



სურ. 100

ამოხსნა: ჯერ ვიპოვოთ დაბვა რეოსტატზე თითოეულ შემთხვევაში: $U_1 = \frac{P_1}{I_1} = 20$ ვ, $U_2 = \frac{P_2}{I_2} = 16$ ვ. ჩავწეროთ დაბვა წრედის მთელ უბანზე ორივე შემთხვევაში და გავითვალისწინოთ, რომ ის არ იცვლება: $U = I_1 r + U_1$ და $U = I_2 r + U_2$. აქედან $1,5r + 20 = 4r + 16$, $25r = 4$, $r = 1,6$ ომი.

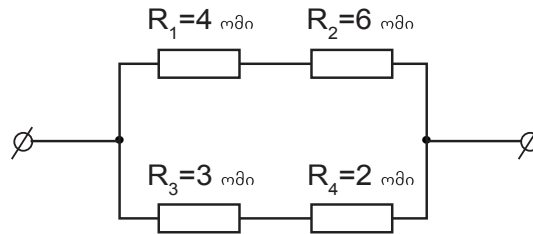
პასუხი: რეზისტორის წინააღობა 1,6 ომის ტოლია.



ამოხსენით ამოცანები:

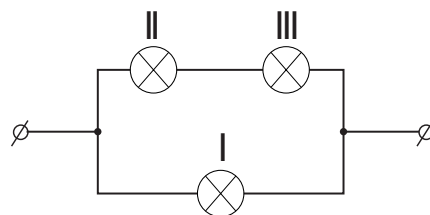
1. იპოვეთ წრედის უბანზე 10 კ მუხტის გადატანისას ელექტრული ძალების მიერ შესრულებული მუშაობა, თუ უბნის ბოლოებს შორის დაბვა 150 ვ-ია.
2. წრედის უბნის ბოლოებს შორის დაბვა 24 ვ-ია, მასში გამავალი დენის ძალა კი - 0,25 ა. იპოვეთ ელექტრული ძალების მიერ ამ უბანზე 2 წთ-ის განმავლობაში შესრულებული მუშაობა.
3. რამდენ ხანში შეასრულებს ელექტრული დენი 3,6 მგჯ მუშაობას წრედის უბანზე, რომლის ბოლოებს შორის დაბვა 200 ვ-ია, მასში გამავალი დენის ძალა კი - 0,5 ა.

4. იპოვეთ ნათურის ნომინალური სიმძლავრე, თუ მას აწერია: 20 ვ ; 5ა.
5. ელექტრული ძალების მიერ 30 ომი წინააღობის უბანზე 40 წმ-ის განმავლობაში შესრულებული მუშაობა 432 ჯ-ია. იპოვეთ ამ უბანში გამავალი დენის ძალა.
6. მუდმივი ძაბვის წყაროსთან მიერთებულია მიმდევრობით შეერთებული თორმეტი ერთნაირი ნათურა. როგორ შეიცვლება ნათურების საერთო სიმძლავრე, თუ მათგან რომელიმე ოთხს დავამოკლებთ?
7. სურ 101-ზე გამოსახული რეზისტორებიდან, ერთსა და იმავე დროში, რომლის წინააღობის დაძლევაზე დაიხარჯება მეტი ელექტრო ენერგია?



სურ. 101

8. მიზანშინინილია თუ არა 110 ვ ძაბვაზე გაანგარიშებული 80 ვტ და 100 ვტ სიმძლავრის ნათურები მიმდევრობით შევუერთოთ 220 ვ ძაბვის წყაროს? პასუხი დაასაბუთეთ.
- 9*. 90 ვტ და 180 ვტ სიმძლავრის ერთსა და იმავე ძაბვაზე გაანგარიშებული ორი ნათურა იგივე ძაბვის ქსელში მიმდევრობითაა ჩართული. იპოვეთ თითოეული ნათურის მიერ მოხმარებული სიმძლავრე.
10. 220 ვ ძაბვაზე გაანგარიშებული $P_1=100$ ვტ, $P_2=200$ ვტ და $P_3=300$ ვტ სიმძლავრის ნათურები შეაერთეს სურ. 102-ზე მოცემული სქემის მიხედვით და ჩართეს 220 ვ ძაბვის ქსელში. იპოვეთ თითოეული ნათურის მიერ მოხმარებული სიმძლავრე.



სურ. 102

§ 17 ჯოულ-ლენცის კანონი

ყოფა-ცხოვრებაში ელექტრული დენის ენერჯიის სხვა სახის ენერჯიად გარდაქმნის უამრავი მაგალითი გვხვდება. მათ შორის, ხშირად ეს ენერჯია სითბურ ენერჯიად გარდაიქმნება. ყოველდღიურად ვიყენებთ ელექტროსახურებელ მოწყობილობებს – ტოსტერს, ელექტროჩაიდანს, ელექტროქურას, თმის ელექტროსაშრობს, უთოს, ელექტროგამათბობელს და მრავალ სხვას (სურ. 103). ყველა მათგანს საკმაოდ დიდი კუთრი წინააღმდეგობის მქონე გამტარი ნივთიერებისგან დამზადებული სახურებელი ელემენტი აქვს. მასში დენის გავლისას არც მექანიკური მუშაობა სრულდება და არც ქიმიური გარდაქმნები ხდება. ის მხოლოდ ცხელდება და გარემომცველ სხეულებს სითბოს გადასცემს.



სურ. 103

ლითონის გამტარში დენის გავლისას, მისი გაცხელების მექანიზმი ასეთია: ელექტრული ველი აჩქარებს თავისუფალ ელექტრონებს; ისინი კრისტალური მესრის იონებს ეჯახება და შეძენილი ენერჯიის ნაწილს მათ გადასცემს; შედეგად, წონასწორობის მდგომარეობის მახლობლად იონების რხევითი მოძრაობის ენერჯია მატულობს; იზრდება გამტარის შინაგანი ენერჯია; მატულობს გამტარის ტემპერატურა და ის გარემომცველ სხეულებზე სითბოს გადაცემას იწყებს.

გარკვეული დროის შემდეგ გამტარის ტემპერატურის მატება შეწყდება. მართალია, ელექტრული ველის მიერ შესრულებული მუშაობის ხარჯზე გამტარს უწყვეტად გადაეცემა ენერჯია, მაგრამ მისი შინაგანი ენერჯია აღარ მატულობს. ეს ნიშნავს, რომ გამტარი გარემოს გადასცემს დენის მიერ შესრულებული მუშაობის ტოლ სითბოს რაოდენობას: $Q = A$. თუ წინა პარაგრაფში მიღებულ ელექტრული დენის მიერ შესრულებული მუშაობის ფორმულას გავითვალისწინებთ, გვექნება:

$$Q = UIt = I^2Rt = \frac{U^2}{R} t.$$

თუ წრედის მოცემულ უბანზე ელექტრული ენერჯია ასევე მექანიკურ ან ქიმიურ ენერჯიადაც გარდაიქმნება, მაშინ გამტარის მიერ გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა დენის მიერ შესრულებულ მუშაობაზე ნაკლები იქნება. ამ შემთხვევაში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა მხოლოდ $Q = I^2Rt$ ფორმულით გამოითვლება.




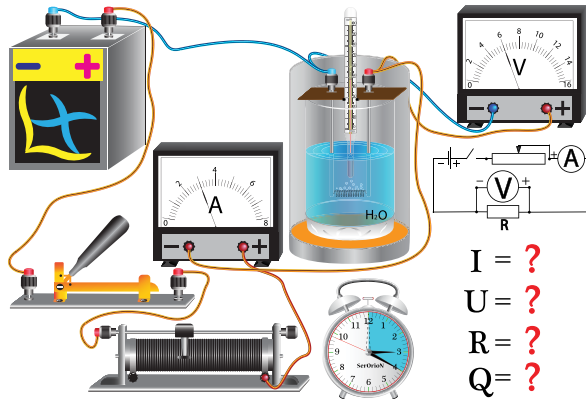
ჯეიმს პრესკოტ ჯოული 1818-1889

ეს შედეგი ექსპერიმენტული გზით ერთმანეთისაგან დამოუკიდებლად მიიღეს ჯეიმს პრესკოტ ჯოულმა, 1841 წელს და ემილ ლენცმა, 1842 წელს. სურ. 104-ზე ნაჩვენებია ელექტრული წრედი, რომელსაც ისინი ამ კანონზომიერების დასადგენ ექსპერიმენტში იყენებდნენ.



ემილ ლენცი 1804-1865

 შეეცადეთ აღწეროთ ეს ცდა, სურათის მიხედვით აიღოთ ხელსაწყოების ჩვენებები და დაადგინოთ მოცემულ დროის შუალედში წყლისათვის მიწოდებული სითბოს რაოდენობა.



სურ. 104

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

$$Q = I^2 R t.$$

ეს დებულება **ჯოულ-ლენცის კანონის** სახელითაა ცნობილი. იგი შეიძლება ელექტროლიტების ხსნარებისთვისაც გამოვიყენოთ.

ალბათ გსმენიათ, რომ დიდ მანძილებზე ელექტრულ ენერგიას მაღალი ძაბვის ხაზებით გადასცემენ (სურ. 105). მაგალითად, ენგურჰესიდან თბილისამდე ელექტრული ენერგიის გადაცემა რამდენიმე ასეული კილოვოლტი ძაბვით ხდება, სახლში კი 220 ვ ძაბვას ვიყენებთ. მაშ რისთვისაა საჭირო ასეთი მაღალი ძაბვის გამოყენება? სადენების გათბობის გამო, ელექტრული ენერგიის გადაცემისას მისი დანაკარგი გარდაუვალია. დიდი სიგრძის ელექტროგადამცემ ხაზებში ის შეიძლება ძალიან დიდი იყოს. გავარკვიოთ, რაზეა დამოკიდებული ენერგიის დანაკარგი და როგორ შეიძლება მისი შემცირება.



სურ. 105

ვთქვათ, P არის სადენების საშუალებით გადასაცემი დენის სიმძლავრე, ხოლო P_1 – სიმძლავრის დანაკარგი სადენებში, რომელიც ტოლია: $P_1 = I^2 R$. ამ ფორმულაში R სადენების წინააღობაა, ხოლო I – დენის ძალა მათში.

დენის ძალა შეიძლება გადასაცემი სიმძლავრის საშუალებით გამოვსახოთ:

$$I = \frac{P}{U},$$

რომელშიც U ძაბვაა სადენებს შორის ხაზის დასაწყისში.

შვეიტანოთ დენის ძალის ეს მნიშვნელობა სიმძლავრის დანაკარგის ფორმულაში და გავითვალისწინოთ, რომ ორსადენიანი გადამცემი ხაზისათვის $R = 2\rho l/S$. მივიღებთ:

$$P_1 = \frac{2\rho l P^2}{S U^2}$$

გადამცემი ხაზის l სიგრძე, გადასაცემი P სიმძლავრე და სადენების ρ კუთრი წინაღობა მოცემული გადამცემი ხაზისათვის ფიქსირებული სიდიდეებია, ამიტომ დანაკარგების შესამცირებლად ან სადენის S განივკვეთის ფართობი უნდა გავზარდოთ, ან U დაბვა. სადენების მასის მომატების გამო, განივკვეთის ფართობს ძალიან ვერ გავზრდით. ამიტომ დანაკარგებს სწორედ დაბვის გაზრდის ხარჯზე ამცირებენ.



<https://bit.ly/3dO3HJ9> ბმულზე გადასვლით შეგიძლიათ ნახოთ ვიდეოტესტები.

ნახეთ ვიდეორგოლი „ელექტროჩაინის მქკ-ს განსაზღვრა“:
<https://bit.ly/3E0SAaf>



დასკვნები:

- დენიანი გამტარის მიერ გამოყოფილი სითბოს რაოდენობა ტოლია დენის ძალის კვადრატის, გამტარის წინააღობისა და დროის იმ შუალედის ნამრავლის, რომლის განმავლობაშიც გამტარში დენი გადიოდა: $Q = I^2 R t$. ამ კანონს ჯოულ-ლენცის კანონი ეწოდება.

საკონტროლო კითხვები:

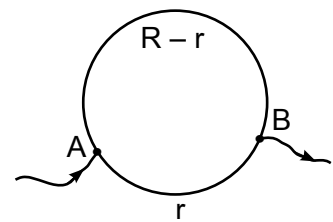
1. რატომ წყდება გარკვეული დროის შემდეგ დენიანი გამტარის ტემპერატურის ზრდა?
2. რა გზით ამცირებენ ელექტროგადამცემ ხაზებში ენერჯის დანაკარგს?



ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

ერთგვაროვანი მავთულისგან დამზადებული წრიული ფორმის რგოლი მუდმივი დაბვის წყაროსთან A და B წერტილებითა ჩართული (სურ. 106). ამ წერტილების რა მდებარეობისთვის გამოიყოფა რგოლში მინიმალური სითბოს რაოდენობა?

ამოხსნა: მუდმივი დაბვისას გამტარში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობის საპოვნელად გამოვიყენოთ გამოსახულება: $Q = \frac{U^2}{R} \cdot t$. ცხადია, რაც მეტია გამტარის წინააღობა, მით ნაკლები სითბოს რაოდენობა გამოიყოფა მასში. გამტარის წინააღობა, რომლისგანაც რგოლია დამზადებული, R -ით აღვნიშნოთ. წრედში რგოლის A და B წერტილებით ჩართვისას მივიღებთ პარალელურად შეერთებულ ორ წინააღობას. თუ ერთ-ერთ მათგანს r -ით აღვნიშნავთ, მეორე ნაწილის წინააღობა იქნება $R-r$.



სურ. 106

შესაბამისად, რგოლის სრული წინააღობისათვის მივიღებთ: $R_{\text{სრ}} = \frac{r(R-r)}{r+(R-r)} = \frac{rR-r^2}{R}$. ამ

წილადში მნიშვნელი ფიქსირებული სიდიდეა, ამიტომ ის მაქსიმალური იქნება მაშინ, როცა მრიცხველი იქნება მაქსიმალური. განვიხილოთ ფუნქცია: $Y(r) = rR - r^2$. თუ ამ დამოკიდებულების გრაფიკს ავაგებთ, მივიღებთ პარაბოლას, რომლის ტოტები ქვევი-

თაა მიმართული. მათემატიკის კურსიდან თქვენთვის ცნობილია, რომ ასეთი კვადრატული ფუნქცია მაქსიმალურ მნიშვნელობას აღწევს არგუმენტის $x_0 = -\frac{b}{2a}$ მნიშვნელობისას. შესაბამისად, $r_0 = \frac{-R}{-2} = \frac{R}{2}$. ე.ი. რგოლის წინალობა მაქსიმალური იქნება, თუ მას დიამეტრზე მდებარე წერტილებით ჩავრთავთ. ამ დროს რგოლში მინიმალური სიბრტყის რაოდენობა გამოიყოფა.

პასუხი: რგოლში მინიმალური სიბრტყის რაოდენობის გამოყოფისთვის ის მუდმივი დაბვის წყაროსთან დიამეტრზე მდებარე წერტილებით უნდა ჩავრთოთ.



ამოხსენით ამოცანები:

1. როგორ შევადგინოთ ორი გამტარი, მუდმივი დაბვის ქსელში ჩართვისას მეტი სიბრტყის რაოდენობა რომ გამოიყოს?

2. მიმდევრობით შეერთებული ორი რეზისტორიდან პირველის წინალობა 3-ჯერ მეტია მეორისაზე. ერთსა და იმავე დროში რომელ მათგანზე გამოიყოფა მეტი სიბრტყის რაოდენობა და რამდენჯერ?

3. ერთნაირი წინალობის შვიდი რეზისტორი ჯერ მიმდევრობით შეაერთეს, შემდეგ კი – პარალელურად. ორივე შემთხვევაში რეზისტორები ერთი და იგივე მუდმივი დაბვის წყაროსთან მიაერთეს. ერთნაირ დროში, რომელ შემთხვევაში გამოიყოფა მეტი სიბრტყის რაოდენობა და რამდენჯერ?

4. ნათურა, რომელსაც აწერია 110 ვ; 5 ა უნდა ვკვებოთ მუდმივი 200 ვ დაბვის წყაროდან. ნათურის ნომინალურ რეჟიმში მუშაობისათვის მასთან მიმდევრობით რთავენ რეზისტორს. იპოვეთ რეზისტორის წინალობა და მასზე 15 წთ-ის განმავლობაში გამოყოფილი სიბრტყის რაოდენობა.

5. ერთნაირ დაბვაზე გაანგარიშებულ $P_1=100$ ვტ და $P_2=200$ ვტ სიმძლავრის ორ ვარვარების ნათურას აერთებენ მიმდევრობით და რთავენ იმავე დაბვის ქსელში, რომელზედაც ნათურებია გათვლილი. რომელი ნათურა გაანათებს უკეთ? პასუხი დაასაბუთეთ.

6. ერთნაირ დაბვაზე გაანგარიშებულ $P_1=80$ ვტ და $P_2=120$ ვტ სიმძლავრის ორ ვარვარების ნათურას აერთებენ პარალელურად და რთავენ ქსელში, რომლის დაბვა გათვლილზე ორჯერ ნაკლებია. რომელი ნათურა გაანათებს უკეთ? პასუხი დაასაბუთეთ.

7. ელექტროქურა, რომლის სპირალი დამზადებულია 2 მმ² განივკვეთის ფართობის მქონე 0,5 მ სიგრძის რკინის მავთულისგან, 3,5 სთ-ის განმავლობაში 220 ვ დაბვის ქსელში იყო ჩართული. რამდენი კვტ · სთ ელექტროენერგია მოიხმარა ქურამ? სპირალის წინალობის ტემპერატურულ ცვლილებას ნუ გაითვალისწინებთ.

8. ელექტროჩაიდანს აქვს ორი სპირალი, რომელთა ჩართვა შესაძლებელია როგორც მიმდევრობით, ასევე პარალელურ რეჟიმში. რომელ რეჟიმში უნდა ჩავრთოთ ჩაიდანს, რომ მან წყალი სრაფად აადულოს? პასუხი დაასაბუთეთ.

9. ელექტროჩაიდანს აქვს ორი სპირალი, რომელთა ჩართვა შეიძლება ცალ-ცალკე, მიმდევრობით და პარალელურად. მხოლოდ პირველი სპირალის ჩართვით წყალი ჩაიდანში დუღდება 6 წთ-ში, იგივე რაოდენობისა და ტემპერატურის წყალი მხოლოდ მეორე სპირალით დუღდება 12 წთ-ში. რამდენ ხანში ადუღდება იგივე რაოდენობისა და ტემპერატურის წყალი ჩაიდანში, თუ სპირალებს ქსელში ჩავრთავთ: ა) მიმდევრობით? ბ) პარალელურად?

10*. რამდენ ხანში აადულებს 10°C ტემპერატურის 2 ლ წყალს 60% მქკ-ს მქონე ელექტროჩაიდანს, რომელიც 210 ვ დაბვის ქსელშია ჩართული და მასში გამავალი დენის ძალა 10 ა-ია?

§ 18 ელექტრომამოძრავებელი ძალა

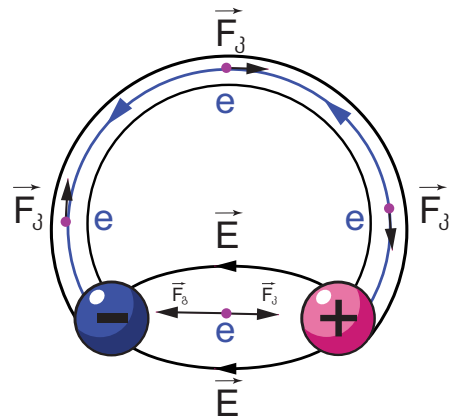
როგორც უკვე იცით, იმისათვის, რომ დენმა გამტარში ხანგრძლივად იარსებოს საჭიროა მის ბოლოებს შორის დაბვის შენარჩუნება. სწორედ ამას უზრუნველყოფს დენის წყაროები.

ძალიან ხშირად, სხვადასხვა საყოფაცხოვრებო მოწყობილობისათვის – საათი, ტელევიზორის პულტი, ჯიბის ფარანი და სხვა, იყენებთ ელემენტებს. ბევრ მათგანს აწერია 1,5 ვ. რას ნიშნავს ეს ნარწერა? რა პროცესები მიმდინარეობს დენის წყაროებში?



ორი ერთნაირი, საპირისპირო ნიშნით დამუხტული ბურთულის გამტარით შეერთებისას, მასში ელექტრული დენი აღიძვრება – ელექტრონები ელექტრული ველის საპირისპიროდ ამოძრავდება. ეს დენი იქნება ძალიან ხანმოკლე – მუხტები ერთმანეთს გაანეიტრალებს, ბურთულებს შორის პოტენციალთა სხვაობა ნულს გაუტოლდება და გამტარში ელექტრული დენიც შეწყდება.

იმისთვის, რომ გამტარში ელექტრონების მოძრაობა არ შეწყდეს, საჭიროა მოწყობილობა – დენის წყარო. მასში ელექტრონებზე უნდა იმოქმედოს ძალამ, რომელიც ბურთულების მხრიდან მოქმედი ელექტრული ძალის სანინაალმდეგოდ იქნება მიმართული (სურ. 107). გამომდინარე აქედან, ეს ძალა ელექტროსტატიკური ბუნებისა ვერ იქნება.



სურ. 107

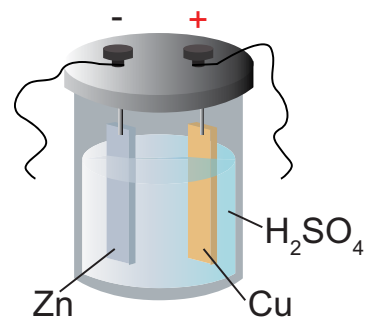
ელექტროსტატიკური ძალების გარდა, დამუხტულ ნაწილაკებზე მოქმედ სხვა ნებისმიერ ძალებს, **გარე ძალებს** უწოდებენ.

წრედში გარე ძალების არსებობის აუცილებლობა ნათლად ჩანს ენერგიის მუდმივობის კანონიდანაც. ჯოულ-ლენცის კანონის თანახმად, გამტარში დენის გავლა მის გახურებას იწვევს – გამოიყოფა ენერგია. ეს ენერგია ელექტროსტატიკური ველის მუშაობით ვერ შეივსება, რადგან ის პოტენციალური ველია – შეკრული წრედის გასწვრივ ამ ველის მიერ შესრულებული მუშაობა ნულის ტოლია. ე.ი. წრედში, კულონური ძალების გარდა, აუცილებლად უნდა არსებობდეს მუხტებზე მოქმედი არაპოტენციალური ძალები. ზუსტად ამ ძალების მიერ შესრულებული მუშაობის ხარჯზე შეივსება წრედიდან გამოყოფილი ენერგია.

წრედის შეკვრისას ელექტრული ველი მის ყველა ნაწილში – **სრულ წრედში** გვექნება. დენის წყაროს შიგნით – **შიგა წრედში**, მუხტები გარე ძალების მოქმედებით ელექტრული ძალების სანინაალმდეგოდ მოძრაობს, **გარე წრედში** კი ისინი მხოლოდ ელექტრული ველის მოქმედებით მოძრაობს.

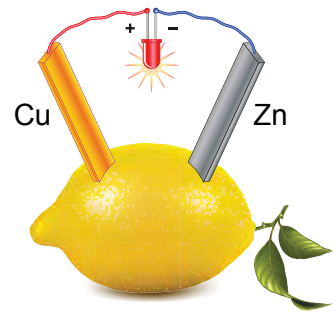
გარე ძალების ბუნება მრავალფეროვანია. ისინი შეიძლება წარმოიქმნას ქიმიური პროცესების დროს, არაელექტროსტატიკური ელექტრული ველით, დროში ცვალებადი მაგნიტური ველით, სინათლის მოქმედებით და სხვა.

განვიხილოთ დენის წყარო – გალვანური ელემენტი, რომელშიც გარე ძალები ქიმიური პროცესის შედეგად წარმოიქმნება. ვოლტას ელემენტი შედგება გოგირდმჟავას ხსნარში ჩაშვებული სპილენძისა და თუთიის ფირფიტების – ელექტროდებისაგან (სურ. 108). ქიმიური ძალების მოქმედებით თუთია მჟავაში იხსნება და ხსნარში თუთიის დადებითი იონები გადადის. ამიტომ, თუთიის ელექტროდი უარყოფითად იმუხტება. სპილენძი კი გო-



სურ. 108

გირდმუავაში ძალინ ცუდად იხსნება, შედეგად თუთიისა და სპილენძის ელექტროდებს შორის წარმოიქმნება პოტენციალთა სხვაობა, რაც შეკრულ წრედში დენს უზრუნველყოფს. უარყოფით ელექტროდს **კათოდს** უწოდებენ, დადებითს კი – **ანოდს**.



სურ. 109

ანალოგიური დენის წყაროს დამზადება სახლშიც შეგიძლიათ ერთი ან რამდენიმე ლიმონის გამოყენებით (სურ. 109).

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

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

$$\mathcal{E} = \frac{A_{\text{ფ}}}{q}$$

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

მაგალითად, ვოლტას ელემენტში ემძ რიცხობრივად ტოლია პოლუსებს შორის ერთეული დადებითი მუხტის გადატანაზე ქიმიური ძალების მიერ შესრულებული მუშაობის.

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

ახლა შეგვიძლია პასუხი გავცეთ პარაგრაფის დასაწყისში დასმულ კითხვას. წარწერა ელემენტზე – 1,5 ვ, ნიშნავს რომ გარე ძალები მისი ერთი პოლუსიდან მეორე პოლუსამდე 1 კ მუხტის გადატანაზე 1,5 ჯ მუშაობას ასრულებს, ანუ ელემენტის $\mathcal{E} = 1,5$ ვ.

დასკვნები:

- ელექტროსტატიკური ძალების გარდა, დამუხტულ ნაწილაკებზე მოქმედ სხვა ნებისმიერ ძალებს, გარე ძალებს უწოდებენ;
- დენის წყაროს ელექტრომამოძრავებელი ძალა ტოლია გარე ძალების მიერ შეკრულ კონტურზე მუხტის გადაადგილებისას შესრულებული მუშაობის ფარდობისა ამ მუხტთან: $\mathcal{E} = \frac{A_{\text{ფ}}}{q}$;
- ელექტრომამოძრავებელი ძალის ერთეული SI-ში არის 1 ვოლტი.

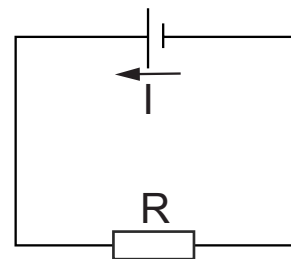
საკონტროლო კითხვები:

1. რატომ არის წრედში აუცილებელი გარე ძალების არსებობა?
2. რა არის შიგა წრედი? გარე წრედი? სრული წრედი?
3. დენის წყაროში რომელ ელექტროდს უწოდებენ კათოდს? ანოდს?
4. თქვენი აზრით „ლიმონიან ელემენტში“ რა ასრულებს ელექტროლიტის როლს?
5. შეიძლება თუ არა, გალვანური ელემენტის ელექტროდებად, ერთი და იმავე ლითონის ფირფიტები გამოვიყენოთ? რატომ?

§ 19 ომის კანონი სრული წრედისათვის

თქვენ უკვე იცით ომის კანონი წრედის უბნისათვის: დენის ძალა წრედის უბანში პირდაპირპროპორციულია ამ უბნის ბოლოებს შორის ძაბვის და უკუპროპორციულია მისი წინააღობის. ახლა გავარკვიოთ, თუ რაზეა დამოკიდებული დენის ძალა სრულ (ჩაკეტილ) წრედში, რომელიც დენის წყაროსაც შეიცავს?

განვიხილოთ უმარტივესი სრული წრედი (სურ. 110), რომელიც შედგება \mathcal{E} ელექტრომამოძრავებელი ძალის მქონე დენის წყაროსაგან (გალვანური ელემენტი, აკუმულატორი, გენერატორი და სხვ.) და R წინააღობის რეზისტორისაგან. მას წრედის **გარე წინააღობას** უწოდებენ. დენის წყაროს აქვს r წინააღობა, რომელსაც დენის წყაროს **შიგა წინააღობას** უწოდებენ. გენერატორებში r ხვების წინააღობაა, აკუმულატორებში და გალვანურ ელემენტებში კი ელექტროლიტის ხსნარისა და ელექტროდების წინააღობა.



სურ. 110

კანონს, რომელიც ერთმანეთთან წრედში დენის ძალას, ემძ-სა და წრედის სრულ $r + R$ წინააღობას აკავშირებს, უწოდებენ **ომის კანონს სრული წრედისათვის**. თუ ენერჯიის მუდმივობისა და ჯოულ-ლენცის კანონებს გამოვიყენებთ, ეს კავშირი შეიძლება თეორიულად დავადგინოთ.

ვთქვათ, გამტარის განივკვეთში t დროის შუალედში q მუხტი გადის. ამ მუხტის გადაადგილებაზე გარე ძალების მიერ შესრულებული მუშაობა ტოლია: $A_g = \mathcal{E}q$. დენის ძალის განსაზღვრიდან გამომდინარეობს, რომ $q = It$, ამიტომ

$$A_g = \mathcal{E}It. \quad (1)$$

წრედში დენის გავლისას, მის შიგა და გარე უბნებზე გამოიყოფა სითბოს რაოდენობა, რომელიც ჯოულ-ლენცის კანონის თანახმად ტოლია:

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

ენერჯიის მუდმივობის კანონის თანახმად, გარე ძალების მიერ შესრულებული მუშაობა სრულ წრედში გამოყოფილი სითბოს რაოდენობის ტოლია: $A_g = Q$, ამიტომ (1) და (2) ფორმულების გათვალისწინებით გვექნება:

$$\mathcal{E}It = I^2Rt + I^2rt,$$

საიდანაც

$$\mathcal{E} = IR + Ir. \quad (3)$$

დენის ძალის ნამრავლს უბნის წინააღობაზე ხშირად ძაბვის ვარდნას უწოდებენ. შესაბამისად, $U = IR$ არის ძაბვის ვარდნა გარე წრედზე, ხოლო $U_0 = Ir$ – ძაბვის ვარდნა შიგა წრედზე.

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

$$\mathcal{E} = U + U_0. \quad (4)$$

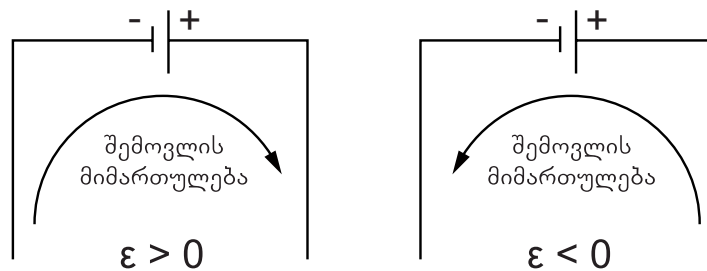
თუ (3) ფორმულიდან დენის ძალას გამოვსახავთ, მივიღებთ:

$$I = \frac{\mathcal{E}}{r+R} \quad (5)$$

სწორედ ეს ფორმულა გამოსახავს ომის კანონს სრული წრედისათვის: **დენის ძალა სრულ წრედში დენის წყაროს ელექტრომამოძრავებელი ძალის წრედის სრულ წინააღმდეგობასთან ფარდობის ტოლია.**

ალბათ გამოგიცვლიათ ელემენტები ტელევიზორის პულტისათვის, სათამაშო ავტომობილისათვის ან ჯიბის ფარანისათვის. ყურადღებას მიაქცევდით, რომ რამდენიმე ელემენტი ერთმანეთთან გარკვეული წესითაა შეერთებული. ელემენტებს ერთმანეთთან მიმდევრობით ან პარალელურად აერთებენ.

განვიხილოთ წრედი, რომელიც მიმდევრობით შეერთებულ დენის წყაროს რამდენიმე ელემენტს შეიცავს. რადგან ელექტრომამოძრავებელი ძალა კუთრი, ანუ ერთეულოვანი მუხტის გადატანაზე შესრულებული მუშაობაა, ამიტომ ის სკალარული სიდიდეა, რომელიც შეიძლება იყოს როგორც დადებითი, ასევე უარყოფითი. დენის წყაროს ემძის ნიშანი დამოკიდებულია ელექტრული წრედის იმ უბნის შემოვლის მიმართულების არჩევაზე, რომელშიც მოცემული დენის წყაროა ჩართული. შემოვლის მიმართულება შეიძლება ავირჩიოთ ნებისმიერად. თუ არჩეული მიმართულებით შემოვლისას დენის წყაროს უარყოფითი პოლუსიდან დადებითზე გადავდივართ, მაშინ გარე ძალები დადებით მუშაობას ასრულებს და ამ დენის წყაროს $\mathcal{E} > 0$. თუ შემოვლისას დადებითი პოლუსიდან უარყოფითზე გადავდივართ, მაშინ გარე ძალები უარყოფით მუშაობას ასრულებს და ამ დენის წყაროს $\mathcal{E} < 0$ (სურ. 111).



სურ. 111

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

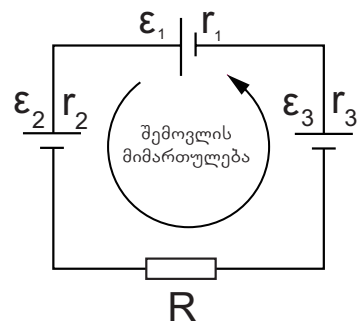
$$\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \dots + \mathcal{E}_N.$$

მაგალითად, სურ. 112-ზე გამოსახულ წრედში, თუ შემოვლის მიმართულებად საათის ისრის მოძრაობის საწინააღმდეგო მიმართულებას ავირჩევთ, მაშინ $\mathcal{E}_1 > 0$, $\mathcal{E}_2 > 0$ და $\mathcal{E}_3 > 0$. ამიტომ

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

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

ელემენტთა ბატარეის შიგა წინააღმდეგობა თითოეული ელემენტის შიგა წინააღმდეგობების ჯამის ტოლია:

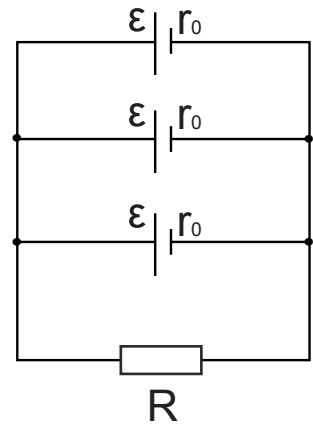


სურ. 112

$$r = r_1 + r_2 + \dots + r_N.$$

ტელევიზორის პულტსა ან ჯიბის ფარანში ელემენტებს მიმდევრობით ისე რთავთ, რომ ყველა მათგანის ემძ დადებითია. თუ სათამაშო ავტომობილის ბატარეაში ოთხ ცალი 1,5 ვ ემძ-ის მქონე ელემენტს მიმდევრობით შევაერთებთ, ბატარეის ემძ 6 ვ იქნება. ე.ი. ელემენტების მიმდევრობითი შეერთებით, შეგვიძლია გავზარდოთ ემძ.

ერთნაირი ემძ-ის მქონე დენის წყაროების პარალელური შეერთებისას (სურ. 113), ბატარეის ემძ ერთი ელემენტის ემძ-ის ტოლია. ბატარეის შიგა წინააღობა კი პარალელური შეერთების წესით გამოითვლება, ამიტომ: $r = \frac{r_0}{3}$. ელემენტების პარალელურ შეერთებას ძირითადად წრედში დენის ძალის გასაზრდელად იყენებენ.



სურ. 113

დასკვნები:

- დენის ძალის ნამრავლს უბნის წინააღობაზე ამ უბანზე ძაბვის ვარდნას უწოდებენ;
- დენის წყაროს ემძ ტოლია შეკრული წრედის გარე და შიგა უბნებზე ძაბვის ვარდნების ჯამის: $\mathcal{E} = U + U_0$;
- დენის ძალა სრულ წრედში დენის წყაროს ელექტრომამოძრავებელი ძალის წრედის სრულ წინააღობასთან ფარდობის ტოლია: $I = \frac{\mathcal{E}}{r+R}$;
- რამდენიმე მიმდევრობით შეერთებულ დენის წყაროს სრული ემძ თითოეული ელემენტის ემძ-ის ალგებრული ჯამის ტოლია: $\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 + \mathcal{E}_2 + \dots + \mathcal{E}_N$.

საკონტროლო კითხვები:

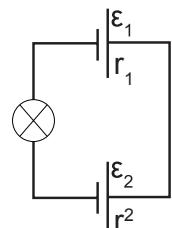
1. რისი ტოლია წრედის შიგა და გარე უბნებზე გამოყოფილი სითბოს რაოდენობათა ჯამი?
2. როგორ დავადგინოთ მიმდევრობით შეერთებული ელემენტების ემძ-ის ნიშანი?
3. რას ნიშნავს, როცა სრული ემძ $\mathcal{E} > 0$? $\mathcal{E} < 0$?
4. როგორ გამოითვლება მიმდევრობით შეერთებული ელემენტების ბატარეის შიგა წინააღობა? პარალელურად შეერთებულის?



ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

ორი გალვანური ელემენტი და 5,5 ომი წინააღობის ნათურა ერთმანეთთან შეერთებულია ისე, როგორც სურ. 114-ზე გამოსახულ სქემაზეა ნაჩვენები. განსაზღვრეთ ნათურაში გამოყოფილი სიმძლავრე, თუ $\mathcal{E}_1 = 10$ ვ, $r_1 = 0,4$ ომი, $\mathcal{E}_2 = 4$ ვ, $r_2 = 0,1$ ომი.

ამოხსნა: სქემატური ნახაზიდან ჩანს, რომ დენის წყაროების ემძ-ებს ერთმანეთის საპირისპირო ნიშანი აქვს, ამიტომ სრული ემძ-ის მო-



სურ. 114

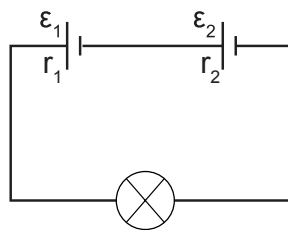
დული ტოლია: $\mathcal{E} = \mathcal{E}_1 - \mathcal{E}_2 = 6$ ვ, წრედის ყველა ელემენტის მიმდევრობითი ჩართვის გამო, სრული წინაღობა ტოლი იქნება $R_{\text{სრ}} = 0,4 + 0,1 + 5,5 = 6$ (ომი), შესაბამისად, დენის ძალა წრედში ტოლია: $I = \frac{\mathcal{E}}{R_{\text{სრ}}} = 2$ ა. ცხადია, ეს დენი გადის ნათურაშიც, ამიტომ მასში გამოყოფილი სიმძლავრე იქნება: $P_{\text{ნათ}} = I^2 R_{\text{ნათ}} = 4 \cdot 5,5 = 22$ (ვტ).

პასუხი: ნათურაზე 22 ვტ სიმძლავრე გამოიყოფა.

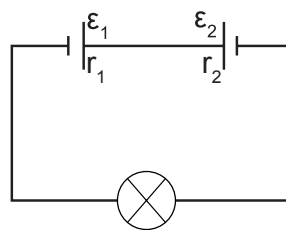


ამოხსენით ამოცანები:

- აკუმულატორის დამუხტვისას, 144 კ მუხტის გადატანაზე გარე ძალების მიერ შესრულებული მუშაობა 720 ჯ-ია. იპოვეთ აკუმულატორის ემძ.
- დენის წყაროს ემძ და შიგა წინაღობა, შესაბამისად 3 ვ და 1 ომია. განსაზღვრეთ დენის ძალა წრედში, თუ მისი გარე წინაღობა 5 ომია.
- დენის წყაროს ემძ და შიგა წინაღობა, შესაბამისად 9 ვ და 0,5 ომია. განსაზღვრეთ ძაბვის ვარდნა დენის წყაროში, თუ წრედის გარე წინაღობა 2,5 ომია.
- იპოვეთ დენის წყაროს ემძ, თუ მისი შიგა წინაღობა 2 ომია, გარე წინაღობა – 6 ომი, ხოლო ძაბვის ვარდნა გარე წრედში 12 ვ-ის ტოლია.
- რამდენჯერ აღემატება დენის წყაროს ემძ გარე წრედში ძაბვის ვარდნას, თუ წრედის გარე წინაღობა შიგა წინაღობაზე 5-ჯერ მეტია?
- 9 ვ ემძ-ის მქონე დენის წყაროსთან რეზისტორის ჩართვისას, ძაბვის ვარდნა გარე წრედში 4,5 ვ-ია. რისი ტოლი იქნება ძაბვის ვარდნა გარე წრედში, თუ ერთის ნაცვლად მიმდევრობით შეერთებულ ორ ისეთივე რეზისტორს ჩავრთავთ?
- 12 ვ ემძ-ის მქონე დენის წყაროსთან რეზისტორის ჩართვისას, ძაბვის ვარდნა გარე წრედში 4 ვ-ია. რისი ტოლი იქნება ძაბვის ვარდნა გარე წრედში, თუ ერთის ნაცვლად ორ ისეთივე პარალელურად შეერთებულ რეზისტორს ჩავრთავთ?
- განსაზღვრეთ დენის წყაროს ემძ და შიგა წინაღობა, თუ წრედში 20 ა დენის ძალისას გარე წრედში სიმძლავრე 140 ვტ-ია, 8 ა დენის ძალისას კი – 80 ვტ.
- წრედი შედგება მიმდევრობით შეერთებული ორი ელემენტისგან და მათთან მიერთებული $R=3,5$ ომი წინაღობის ნათურისაგან (სურ. 115). იპოვეთ ძაბვა ნათურის მომჭერებზე, თუ $\mathcal{E}_1 = 5$ ვ, $r_1 = 0,2$ ომი, $\mathcal{E}_2 = 3$ ვ, $r_2 = 0,3$ ომი.



სურ. 115



სურ. 116

- წრედი შედგება მიმდევრობით შეერთებული ორი ელემენტისგან და მათთან მიერთებული $R=10$ ომი წინაღობის ნათურისაგან (სურ. 116). იპოვეთ ძაბვის ვარდნა თითოეულ ელემენტში, თუ $\mathcal{E}_1 = 24$ ვ, $r_1 = 0,4$ ომი, $\mathcal{E}_2 = 2$ ვ, $r_2 = 0,6$ ომი.

§ 20 ელექტრული წრედი დიდი და მცირე გარე წინააღობისას. დენის წყაროს მქც

ალბათ გეკონიათ შემთხვევა, როდესაც მოულოდნელად დენი მხოლოდ თქვენს ბინაში გამოირთო. ხშირად იტყვიან ხოლმე: „მცველები ამოვარდა“ ან „ავტომატი გაითიშა“. რა ხდება ამ დროს? რისი შედეგია „ავტომატის გათიშვა“?

ამ კითხვებზე პასუხის გასაცემად, ელექტრული წრედის მუშაობის სხვადასხვა რეჟიმი განვიხილოთ.

დავწეროთ ომის კანონი სრული წრედისათვის:

$\mathcal{E} = IR + Ir$. თუ წრედის გარე წინააღობა ბევრად დიდია დენის წყაროს შიგა წინააღობაზე ($r \ll R$), მაშინ შეიძლება დავწეროთ: $\mathcal{E} \approx IR$. ვინაიდან $IR = U$, ამიტომ, $\mathcal{E} \approx U$. ე.ი. დენის წყაროს ემძ დიდი მიახლოებით ძალიან დიდ გარე წინააღობაზე ძაბვის ვარდნის ტოლია. გარე წინააღობა იმდენად დიდი უნდა იყოს, რომ წრედი გამორთულად ჩაითვალოს. სწორედ ამიტომ, დენის წყაროს ემძ-ის გასაზომად, მის პოლუსებს ძალიან დიდი წინააღობის მქონე ვოლტმეტრს უერთებენ (სურ. 117).

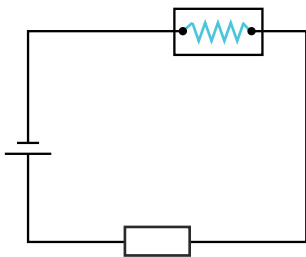


სურ. 117

როცა დენის წყაროს შიგა წინააღობა გარე წინააღობასთან შედარებით გაცილებით მცირეა ($r \ll R$), მაშინ ის თითქმის არ ახდენს გავლენას დენის ძალაზე, მაგრამ თუ გარე წინააღობა ძალიან მცირეა ($R \rightarrow 0$), მაშინ შიგა წინააღობის სიმცირის გამო დენის ძალამ წრედში შეიძლება ძალიან დიდ მნიშვნელობებს მიაღწიოს. ასეთ შემთხვევას **მოკლე ჩართვას** უწოდებენ. მოკლე ჩართვის დენის ძალისთვის გვექნება:

$$I_{\text{მ.ჩ.}} = \frac{\mathcal{E}}{r};$$

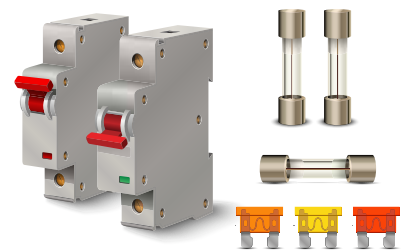
მაგალითად, თუ $\mathcal{E} = 9$ ვ და $r = 0,1 \div 0,001$ ომი, მაშინ $I_{\text{მ.ჩ.}} = 90 \div 9000$ ა. ასეთი დენის ძალის დროს სადენები შეიძლება ძალიან გაცხელდეს, მათი იზოლაცია ააღდეს, დენის წყარო კი მწყობრიდან გამოვიდეს. ასეთი შემთხვევების თავიდან ასაცილებლად ქსელში რთავენ მცველებს (სურ. 118). დნობად მცველებში დენის ძალის დასაშვებზე მეტი მნიშვნელობების დროს წვრილი მავთული დნება და წრედი ითიშება. სქემატურად მცველის აღნიშვნა ნაჩვენებია სურ. 119-ზე. ახლა, როგორც წესი, დნობადი მცველების ნაცვლად ელექტრომაგნიტური ავტომატური ჩამრთველები გამოიყენება. სურ. 120-ზე ნაჩვენებია სხვადასხვა სახის მცველები.



სურ. 118



სურ. 119



სურ. 120

თქვენთვის ცნობილია, რომ წრედის უბანზე დროის t შუალედში დენის გავლისას სრულდება მუშაობა:

$$A = I^2 R t,$$

რომელშიც U ამ უბნის ბოლოებზე ძაბვაა, I კი დენის ძალა.

თუ გარე წრედს წარმოადგენს სახურებელი ელემენტი (რეზისტორი) (სურ. 121), მაშინ ჯოულ-ლენცის კანონის თანახმად, დენის მიერ შესრულებული სასარგებლო მუშაობისა და სასრგებლო სიმძლავრისათვის გვექნება:



სურ. 121

$$A_{\text{სას}} = I^2 R t, P_{\text{სას}} = I^2 R = UI.$$

რადგან გარე ძალების მიერ შესრულებული მუშაობა სრული მუშაობაა, ამიტომ

$$A_g = A_{\text{სრ}} = I \mathcal{E} t.$$

თუ წრედში მხოლოდ სახურებელი ელემენტებია, გარე ძალების მიერ განვითარებული სიმძლავრე ტოლი იქნება:

$$P_g = P_{\text{სრ}} = I \mathcal{E} = I^2 R + I^2 r,$$

$$\text{ანუ } P_{\text{სრ}} = P_{\text{სას}} + I^2 r.$$

დენის წყაროს მარგი ქმედების კოეფიციენტი ტოლია წრედის გარე უბანზე დენის სასარგებლო სიმძლავრის ფარდობისა დენის წყაროს გარე ძალების მიერ განვითარებულ სრულ სიმძლავრესთან:

$$\eta = \frac{P_{\text{სას}}}{P_{\text{სრ}}} \cdot 100\%.$$

თუ წრედი მხოლოდ სახურებელ ელემენტს შეიცავს, მაშინ

$$\eta = \frac{R}{R+r} \cdot 100\%.$$

ახლა უკვე შეგვიძლია პასუხი გავცეთ პარაგრაფის დასაწყისში დასმულ კითხვებს. „მცველების ამოვარდნა“ ან „ავტომატის გათიშვა“ შეიძლება უკავშირდებოდეს თქვენი ბინის ელექტრულ წრედში მოკლე ჩართვას. ამ შემთხვევაში მცველების ხელახლა ჩართვამდე, აუცილებლად უნდა შემოწმდეს წრედი.

დასკვნები:

- დენის წყაროს ემძ დიდი მიახლოებით ძალიან დიდ გარე წინააღობაზე ძაბვის ვარდნის ტოლია: $\mathcal{E} \approx U$;
- მოკლე ჩართვის დენის ძალა გამოითვლება ფორმულით: $I_{\text{მ.ჩ.}} \approx \frac{\mathcal{E}}{r}$;
- დენის წყაროს მარგი ქმედების კოეფიციენტი ტოლია წრედის გარე უბანზე დენის სასარგებლო სიმძლავრის ფარდობისა დენის წყაროს გარე ძალების მიერ განვითარებულ სრულ სიმძლავრესთან: $\eta = \frac{P_{\text{სას}}}{P_{\text{სრ}}} \cdot 100\%$. თუ წრედი მხოლოდ სახურებელ ელემენტს შეიცავს, მაშინ $\eta = \frac{R}{R+r} \cdot 100\%$.

საკონტროლო კითხვები:

1. როგორ გავზომოთ დენის წყაროს ემძ?
2. რას უნოდებენ მოკლე ჩართვას?
3. რა პრინციპზეა დამყარებული დნობადი მცველის მუშაობა?



ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

დენის წყაროს მომჭერებთან ჩართულმა ერთმა ვოლტმეტრმა აჩვენა 12 ვ, იმავე მომჭერებთან ჩართულმა მეორე ვოლტმეტრმა კი - 16 ვ. როდესაც ვოლტმეტრები შეაერთეს მიმდევრობით და დენის წყაროს ისე მიაერთეს, პირველმა აჩვენა 5 ვ, ხოლო მეორემ 15 ვ. იპოვეთ დენის წყაროს ემძ.

ამოხსნა: რადგან ვოლტმეტრების ჩვენება პირველ და მეორე შემთხვევაში ერთმანეთისაგან განსხვავებულია, შეიძლება ვივარაუდოთ, რომ დენის წყაროს შიგა წინალობა ბევრად ნაკლები არაა ვოლტმეტრების წინალობაზე, ანუ მათი ჩვენება ელექტრომამოძრავებელი ძალის ტოლი არ არის. ვინაიდან მიმდევრობითი შეერთებისას პირველი ვოლტმეტრი 5 ვ-ს აჩვენებს, ხოლო მეორე 15 ვ-ს, ეს ნიშნავს, რომ მეორე ვოლტმეტრის წინალობა 3-ჯერ მეტია პირველისაზე. თუ პირველი ვოლტმეტრის წინალობას R -ით აღვნიშნავთ, მაშინ მეორე ვოლტმეტრის წინალობა $3R$ -ის ტოლი იქნება. დავწეროთ წყაროს მომჭერებზე ძაბვის დამოკიდებულება გარე წინალობაზე, ამისათვის ომის კანონი სრული წრედისათვის ასეთი სახით ჩავწეროთ: $\mathcal{E} = U + \frac{U}{R}r$. თუ ამ

ფორმულიდან U -ს განვსაზღვრავთ, მივიღებთ: $U = \mathcal{E} \cdot \frac{R}{R+r}$. ამიტომ პირველ ორ შემთხვევაში ვოლტმეტრების ჩვენება ასე ჩაინერება: $U_1 = \mathcal{E} \cdot \frac{R}{R+r}$, $U_2 = \mathcal{E} \cdot \frac{3R}{3R+r}$. გავყოთ ეს ორი ტოლობა ერთმანეთზე, მივიღებთ: $\frac{u_1}{u_2} = \frac{3R+r}{3(R+r)}$, ანუ $\frac{3}{4} = \frac{3R+r}{3R+3r}$. აქედან $9R+9r=12R+4R$, $5r=3R$ და $r=0,6R$. ჩავსვათ მიღებული შედეგი ვოლტმეტრის ჩვენების ერთ-ერთ გამოსახულებაში, გვექნება: $12 = \frac{\mathcal{E} \cdot R}{R+0,6R}$, საიდანაც $\mathcal{E}=12\text{ვ} \cdot 1,6=19,2$ ვ.

პასუხი: დენის წყაროს ემ ძალა 19,2 ვ-ია



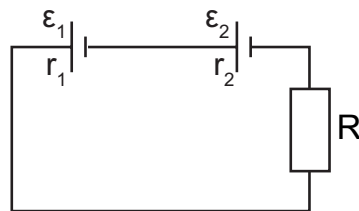
ამოხსენით ამოცანები:

1. 9 ვ ემძ-ისა და 0,1 შიგა წინალობის დენის წყაროსთან იდეალური (ძალიან დიდი წინალობის) ვოლტმეტრი მიაერთეს. განსაზღვრეთ ვოლტმეტრის ჩვენება.
2. 1 ომი შიგა წინალობის დენის წყაროსთან მიაერთეს იდეალური ვოლტმეტრი, რომელმაც 15 ვ აჩვენა. რისი ტოლი იქნება ძაბვა დენის წყაროს მომჭერებზე, თუ მასთან 29 ომი წინალობის რეზისტორს მივაერთებთ?
3. განსაზღვრეთ 0,2 ომი შიგა წინალობის დენის წყაროს ემძ, თუ დენის ძალა მოკლე ჩართვისას 100 ა-ის ტოლია.

4. 50 და 75 ომი წინააღობის ნათურების დენის წყაროსთან რიგრიგობით შეერთებისას აღმოჩნდა, რომ ორივე შემთხვევაში ძაბვის ვარდნა გარე წრედში ერთმანეთის ტოლია. იპოვეთ დენის წყაროს შიგა წინააღობა.

5. 120 ვ ემძ-ის დენის წყაროსთან 10 და 40 ომი წინააღობის ნათურების რიგრიგობით შეერთებისას აღმოჩნდა, რომ ორივე ნათურა ერთნაირ სიმძლავრეს მოიხმარს. იპოვეთ დენის წყაროს მოკლე ჩართვის დენი.

6. სურ. 122-ზე გამოსახულ წრედში $\mathcal{E}_1 = 12$ ვ, $r_1 = 0,7$ ომი, $\mathcal{E}_2 = 18$ ვ, $r_2 = 0,8$ ომი და $R = 3,5$ ომი. იპოვეთ დენის ძალა მოკლე ჩართვისას.



სურ. 122

7. დენის წყაროსთან, რომლის ემძ და შიგა წინააღობა, შესაბამისად 9 ვ და 0,5 ომია, მიერთებულია 2,5 ომი წინააღობის რეზისტორი. რისი ტოლია სასარგებლო სიმძლავრე წრედში და სიმძლავრის დანაკარგი დენის წყაროში?

8. განსაზღვრეთ 24 ვ ემძ-ისა და 1,2 ომი შიგა წინააღობის დენის წყაროს მარგი ქმედების კოეფიციენტი, თუ მასთან 10,8 ომი წინააღობის სახურებელია მიერთებული.

9*. შიგა r წინააღობის დენის წყაროსთან მიერთებულია მიმდევრობით შეერთებული $2r$ წინააღობის ორი რეზისტორი. როგორ და რამდენი პროცენტით შეიცვლება დენის წყაროს მქკ, თუ ამ რეზისტორებს პარალელურად ჩავრთავთ?

10*. 15 ვ ძაბვის წყაროსთან დასამუხტად მიერთებულია 13 ვ ემძ-ის დენის წყარო. განსაზღვრეთ დენის წყაროს შიგა წინააღობა, თუ დამუხტვისას წრედში გამავალი დენის ძალა 5 ა-ის ტოლია.

§ 21 ლაბორატორიული სამუშაო. დენის წყაროს ემძ-ისა და შიგა წინაღობის გამოთვლა

უკვე იცით ომის კანონი სრული წრედისათვის, რომლის თანახმად, დენის წყაროს \mathcal{E} ემძ, მისი შიგა r წინაღობა, I დენის ძალა და გარე წრედის R წინაღობა ერთმანეთთან დაკავშირებულია ფორმულით: $\mathcal{E} = IR + Ir$. თუ გავითვალისწინებთ, რომ $U = IR$, მივიღებთ:

$$\mathcal{E} = U + Ir. \quad (1)$$

ვთქვათ, გარე წრედის ორი სხვადასხვა R_1 და R_2 წინაღობისას წრედში დენის ძალა შესაბამისად, I_1 და I_2 იყო, ხოლო ძაბვა წინაღობების ბოლოებზე – U_1 და U_2 . ჩავწეროთ (1) ფორმულა ამ ორი შემთხვევისათვის:

$$\begin{cases} \mathcal{E} = U_1 + I_1 r \\ \mathcal{E} = U_2 + I_2 r \end{cases}$$

თუ ამ სისტემიდან დენის წყაროს შიგა წინაღობას და მის ემძ-ს გამოვსახავთ, მივიღებთ:

$$r = \frac{U_2 - U_1}{I_1 - I_2},$$

$$\mathcal{E} = \frac{I_1 U_2 - I_2 U_1}{I_1 - I_2}.$$

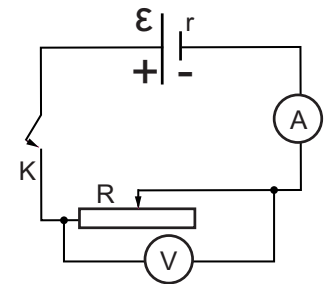
ლაბორატორიული სამუშაო

სამუშაოს მიზანი: დენის წყაროს ემძ-ისა და შიგა წინაღობის გამოთვლა.

სამუშაოსათვის საჭიროა: გალვანური ელემენტი (1,5 ვ ემძ-ის მქონე ერთი ან ორი ელემენტი), შემაერთებული სადენები, ჩამრთველი, რეოსტატი, ამპერმეტრი, ვოლტმეტრი.

სამუშაოს მსვლელობა:

- ააწყეთ წრედი სურ. 123-ზე გამოსახული სქემის მიხედვით. შეამოწმეთ შეერთების სისწორე;
- რეოსტატის ცოცხლს არანაკლებ ოთხი სხვადასხვა მდებარეობისათვის, გაზომეთ წრედის გარე უბანზე დენის ძალისა და ძაბვის მნიშვნელობები;
- მონაცემები შეიტანეთ ცხრილში:



სურ. 123

№	U, ვ	I, ა	r, ომი	⟨r⟩, ომი	ℰ, ვ	⟨ℰ⟩, ვ
1						
2						
3						
4						

- გამოთვალეთ გალვანური ელემენტის r შიგა წინაღობა და \mathcal{E} ემძ გაზომვის შედეგების თითოეული წყვილისათვის. შედეგები შეიტანეთ ცხრილში;
- გამოთვალეთ შიგა წინაღობისა და ემძ-ის საშუალო მნიშვნელობები – $\langle r \rangle$ და $\langle \mathcal{E} \rangle$. შედეგები შეიტანეთ ცხრილში;
- გამორთეთ ჩამრთველი, შეუერთეთ ვოლტმეტრი დენის წყაროს პოლუსებს და გაზომეთ ემძ;
- შეადარეთ ერთმანეთს გამოთვლით და პირდაპირი გაზომვის გზით მიღებული ემძ-ის მნიშვნელობები.

I თავის შემაჯამებელი ამოცანები

1. იპოვეთ დენის ძალა გამტარში, თუ მის განივკვეთში 160 ნმ-ის განმავლობაში $5 \cdot 10^{20}$ რაოდენობის ელექტრონმა გაიარა.

2. $12,5 \text{ მკფ}$ ტევადობის კონდენსატორი მიერთებულია 100 ვ ძაბვის წყაროსთან. იპოვეთ მიმყვან სადენებში გამავალი დენის ძალის საშუალო მნიშვნელობა, თუ ძაბვა კონდენსატორის შემონაფენებზე $0,04 \text{ ნმ-ში}$ 80 ვ-მდე შემცირდა.

3. გამოთვალეთ თავისუფალი ელექტრონების კონცენტრაცია $0,75 \text{ მმ}^2$ განივკვეთის ფართობის მქონე ლითონის გამტარში, თუ მასში $1,5 \text{ ა}$ დენის ძალისას ელექტრონების მიმართული მოძრაობის საშუალო სიჩქარე $0,4 \text{ მმ/წმ-ია}$.

4. პარალელურად შეერთებული ერთნაირი განივკვეთის ფართობის მქონე სპილენძის გამტარებიდან, ერთის სიგრძე მეორისას 2 -ჯერ აღემატება. რომელ მათგანშია თავისუფალი ელექტრონების მონესრიგებული მოძრაობის საშუალო სიჩქარე მეტი და რამდენჯერ?

5. იპოვეთ ძაბვა გამტარის ბოლოებს შორის, თუ ერთი ბოლოდან მეორეში $15 \cdot 10^{18}$ რაოდენობის ელექტრონის გადატანაზე ელექტრულმა ძალებმა 60 ჯ მუშაობა შეასრულა.

6. $0,1 \text{ მ}$ სიგრძის გამტარში $2,8 \text{ კ}$ მუხტის გადატანაზე ელექტრულმა ძალებმა 56 ჯ მუშაობა შეასრულა. მიიჩნიეთ, რომ ელექტრული ველი გამტარში ერთგვაროვანია და იპოვეთ მისი დაძაბულობის მოდული.

7. იპოვეთ იმ სადენის გამტარობა, რომლის ბოლოებს შორის 1 ვ ძაბვის დროს მის განივკვეთში $0,3 \text{ წმ-ში}$ 18 კ მუხტი გადის.

8. სურ. 124-ზე გამოსახულია ორი გამტარის ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი. რომელი მათგანის გამტარობაა მეტი და რამდენჯერ?

9. წრედის უბნის ბოლოებზე ძაბვა 8 -ჯერ გაზარდეს. როგორ უნდა შეცვალოთ ამ უბნის წინაღობა, რომ მასში დენის ძალა 12 -ჯერ გაიზარდოს?

10. რამდენჯერ გაიზარდება გარკვეულ დროში გამტარის განივკვეთში გასული მუხტი და ელექტრული ძალების მიერ შესრულებული მუშაობა, თუ გამტარის ბოლოებზე მოდებულ ძაბვას 2 -ჯერ გავზრდით?

11. გამოთვალეთ ნიქრომისგან დამზადებული 1 მმ^2 განივკვეთის ფართობისა და 77 სმ სიგრძის გამტარის ბოლოებს შორის პოტენციალთა სხვაობა, თუ მასში გამავალი დენის ძალა $4,4 \text{ ა-ია}$.

12. რამდენჯერ მეტია ალუმინისგან დამზადებული გამტარის წინაღობა სპილენძისგან დამზადებული გამტარის წინაღობაზე, თუ სპილენძის გამტარის სიგრძე და განივკვეთის დიამეტრი 4 -ჯერ მეტია ალუმინისაზე?

13. ლითონის გამტარის წინაღობა 15°C-ზე 9 ომი , 535°C-ზე კი - $13,4 \text{ ომი}$. იპოვეთ გამტარის წინაღობის ტემპერატურული კოეფიციენტი.

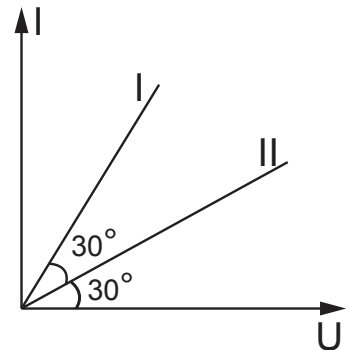
14*. ლითონის გამტარის წინაღობა 10°C-ზე 8 ომი , 630°C-ზე კი - 14 ომი . იპოვეთ ამ გამტარის წინაღობა 0°C-ზე .

15. რისი ტოლი იყო გამტარის წინაღობა, თუ მისი 16 ტოლ ნაწილად დაჭრისა და პარალელურად შეერთების შემდეგ $0,5 \text{ ომი}$ წინაღობა მივიღეთ?

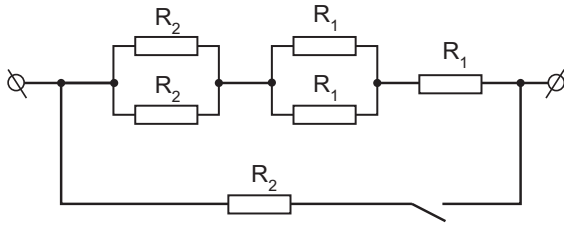
16. როგორ შეიცვლება მოცემული წრედის უბნის წინაღობა (სურ. 125), თუ K ჩამრთველს ჩავრთავთ? $R_1=R$, $R_2=3R$.

17*. იპოვეთ წრედის უბნის (სურ. 126) სრული წინაღობა, თუ $R=15 \text{ ომი}$. დენის წყარო იდეალურია.

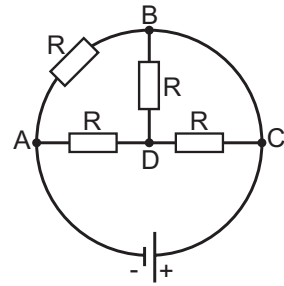
18. მიმდევრობით შეერთებული სამი ნათურა მიერთებულია მუდმივი ძაბვის წყაროსთან. ძაბვები ნათურებზე, შესაბამისად, $U_1=10 \text{ ვ}$, $U_2=20 \text{ ვ}$, $U_3=60 \text{ ვ-ია}$. რისი ტოლი გახდება ძაბვა თითოეულ ნათურაზე, თუ მესამე ნათურას პარალელურად ისეთივე ნათურას მივუერთებთ?



სურ. 124



სურ. 125



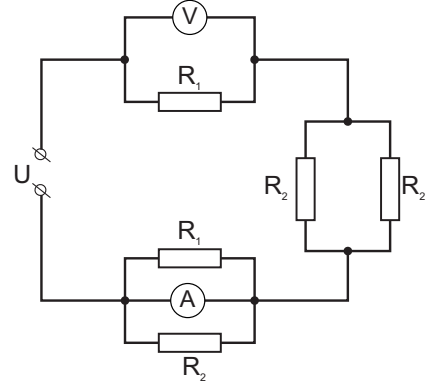
სურ. 126

19*. 24 ომი წინააღობის სადენისაგან წრიული ფორმის რგოლი გააკეთეს. მისი რადუსი A და B წერტილებით წრეაში ჩართვისას რგოლის წინააღობა $4,5$ ომი აღმოჩნდა. იპოვეთ AOB კუთხე. O წრეწირის ცენტრია (იხ. ერთად ამოვხსნათ ამოცანა, გვ. 69).

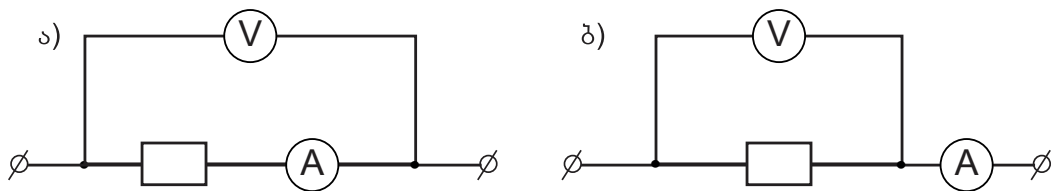
20. იპოვეთ ამპერმეტრისა და ვოლტმეტრის ჩვენება (სურ. 127), თუ $U=105$ ვ, $R_1=7$ ომი, $R_2=28$ ომი. ამპერმეტრი და ვოლტმეტრი იდეალურად მიიჩნეით.

21. რეზისტორის წინააღობის გასაგებად ორ ელექტრულ სქემას იყენებენ (იხ. სურ. 128 ა,ბ). დაბვა მომჭერებზე ორივე შემთხვევაში ერთი და იგივეა. ვოლტმეტრისა და ამპერმეტრის ჩვენებები შემდეგია: $U_1=210$ ვ, $I_1=4,2$ ა; $U_2=200$ ვ, $I_2=2$ ა. ამ მონაცემებით იპოვეთ რეზისტორის წინააღობა.

22*. მიმდევრობით შეერთებული ორი რეზისტორი ჩართულია 48 ვ მუდმივი დაბვის წყაროსთან. 900 ომი წინააღობის ვოლტმეტრმა პირველ წინააღობასთან მიერთებისას 8 ვ აჩვენა, მეორე წინააღობასთან მიერთებისას კი – 36 ვ. იპოვეთ რეზისტორების წინააღობა.



სურ. 127

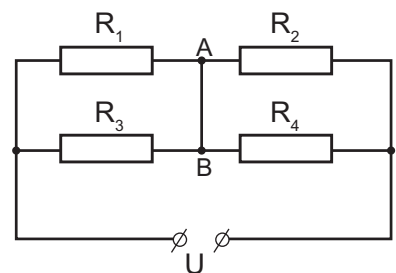


სურ. 128

23*. იპოვეთ AB გამტარში გამავალი დენის ძალა (სურ. 129), თუ $U=48$ ვ, $R_1=R_3=4$ ომი, $R_2=3$ ომი, $R_4=6$ ომი.

24. შკალაზე 10 დანაყოფის მქონე ამპერმეტრის გაზომვის ზღვარი 100 მკა-ია, წინააღობა კი – $1,98$ ომი. რა წინააღობის შუნტი უნდა მივუერთოთ ამპერმეტრს, რომ დანაყოფის ფასი 1 მა გახდეს?

25. ამპერმეტრს, რომლის გაზომვის ზღვარი 500 მკა-ია, მიუერთეს $0,1$ ომი წინააღობის შუნტი. იპოვეთ ამპერმეტრის წინააღობა, თუ შუნტის მიერთების შემდეგ მისი გაზომვის ზღვარი 20 მა გახდა.



სურ. 129

26. დანაყოფის ფასის 30-ჯერ გასაზრდელად ვოლტმეტრს 5,8 კომი დამატებითი წინაღობა მიუერთეს. იპოვეთ ვოლტმეტრის წინაღობა.

27. მოცემული გვაქვს 650 ომი წინაღობის ვოლტმეტრი, რომლის გაზომვის ზღვარი 50 ვ-ია. სულ მცირე რა დამატებითი წინაღობა უნდა მივუერთოთ ვოლტმეტრს, რომ მისი საშუალებით 220 ვ ძაბვის გაზომვა იყოს შესაძლებელი?

28. 200 ვ ძაბვის წყაროსთან მიერთებულია რეოსტატი, რომელსაც ანერია 50 ომი; 10 ა. იპოვეთ რეოსტატის მიერ დღე-ღამეში მოხმარებული ელექტროენერგიის მინიმალური და მაქსიმალური ხარჯი, თუ ერთი კვტ · სთ-ის ღირებულება 35 თეთრია და რეოსტატის მუშაობის რეჟიმი ნომინალურ ფარგლებში რჩება.

29. 0,1 მმ² განივკვეთის ფართობის მქონე 2 მ სიგრძის რკინის გამტარისგან დამზადებულ სახურებელ სპირალში 6 ა დენი გადის. იპოვეთ 15 წთ-ს განმავლობაში ელექტრული ძალების მიერ შესრულებული მუშაობა.

30. 120 ვ ძაბვაზე გაანგარიშებული 60 ვტ სიმძლავრის სამი ნათურა შეერთებულია პარალელურად. რა წინაღობის რეზისტორი უნდა მივუერთოთ ნათურებს მიმდევრობით, რომ 180 ვ ძაბვის დენის წყაროსთან ჩართვისას ნათურებმა ნორმალურ რეჟიმში იმუშაოს?

31. სტადიონის გასანათებლად 220 ვ ძაბვის ქსელში 1200 პარალელურად შეერთებული ნათურაა ჩართული. იპოვეთ ნათურების მოხმარებული სრული სიმძლავრე, თუ თითოეული ნათურის წინაღობა 440 ომია, ხოლო მქკ – 20%.

32*. ერთნაირ ძაბვაზე გაანგარიშებული P_1 და P_2 სიმძლავრის ნათურები შეაერთეს მიმდევრობით და ჩართეს იმავე ძაბვის ქსელში. იპოვეთ თითოეული ნათურის მიერ მოხმარებული სიმძლავრე.

33. რამდენი გრადუსით გათბება 10 მ სიგრძის სპილენძის ერთგვაროვანი გამტარი, თუ მას 15 ვ ძაბვის წყაროსთან 17 წმ-ით ჩავრთავთ? გამტარის ტემპერატურის ცვლილების გამო მისი წინაღობის ცვლილებას ნუ გაითვალისწინებთ და მიიჩნით, რომ გამოყოფილი სითბო მთლიანად გამტარის გათბობას ხმარდება.

34. იპოვეთ ძაბვა 45 ვ ემძ-ის მქონე დენის წყაროს მომჭერებზე, თუ გარე წრედში გამოყოფილი სიმძლავრე დენის წყაროში გამოყოფილ სიმძლავრეს 4-ჯერ აღემატება.

35. დენის წყაროს შიგა წინაღობა გარე წინაღობაზე 18-ჯერ ნაკლებია. რამდენჯერ გაიზრდება დენის ძალა თავდაპირველთან შედარებით დენის წყაროს მოკლე ჩართვისას?

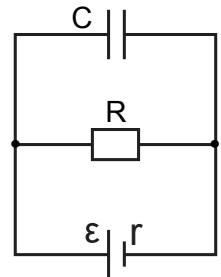
36*. დენის წყაროს მომჭერებზე ძაბვის დამოკიდებულება გარე წინაღობაზე განისაზღვრება ფორმულით: $u = \frac{12R}{3R+2,1}$. იპოვეთ დენის წყაროს ემ ძალა და შიგა წინაღობა.

37. განსაზღვრეთ 8 მკვ ტევადობის კონდენსატორის მუხტი (სურ. 130), თუ დენის წყაროს ემ ძალა 36 ვ-ია, რეზისტორის წინაღობა 10 ომი, დენის წყაროს შიგა წინაღობა კი – 2 ომი.

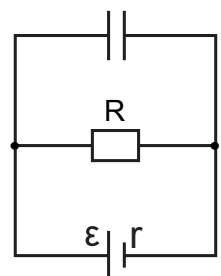
38. 15 და 60 ომი წინაღობის ნათურები რიგრიგობით მიუერთეს დენის წყაროს. იპოვეთ დენის წყაროს შიგა წინაღობა და მქკ თითოეულ შემთხვევაში, თუ ნათურები ორივე შემთხვევაში ერთნაირ სიმძლავრეს მოიხმარს.

39*. 12 მკვ ტევადობის ბრტყელი კონდენსატორი მიერთებულია დენის წყაროსთან (სურ. 131), რომლის ემძ 40 ვ-ია, რეზისტორის წინაღობა 7 ომი, დენის წყაროს შიგა წინაღობა კი – 1 ომი. რა მუხტი გაივლის დენის წყაროში, თუ კონდენსატორის შემონაფენებს შორის მანძილს 3-ჯერ შევამცირებთ?

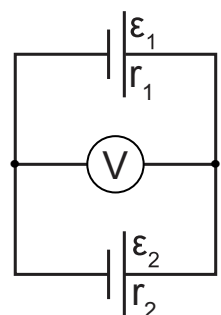
40*. იპოვეთ სურ. 132-ზე გამოსახული იდეალური ვოლტმეტრის ჩვენება, თუ $\mathcal{E}_1=34$ ვ, $r_1=1,4$ ომი; $\mathcal{E}_2=16$ ვ, $r_2=2,2$ ომი.



სურ. 130



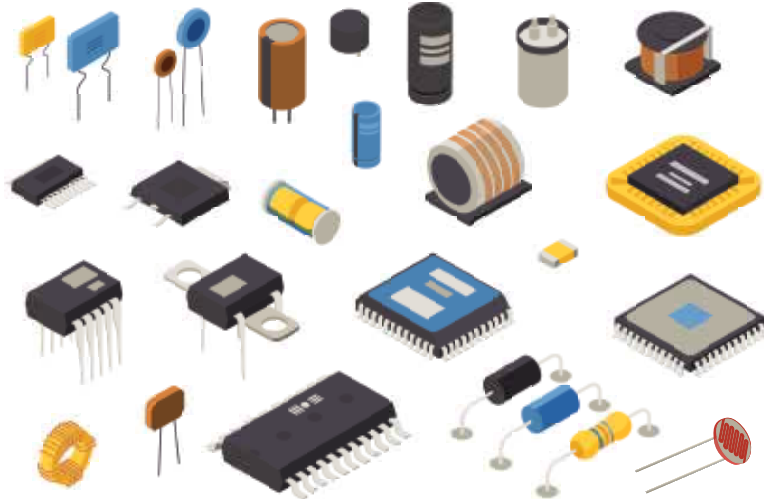
სურ. 131



სურ. 132

თავი II

ელექტრული დენი სხვადასხვა გარემოში



ამ თავში თქვენ გაეცნობით:

- ელექტროლიზს და ფარადეის კანონებს;
- აიროვან განმუხტვას და მის სახეებს;
- პლაზმას დედამიწის გარშემო და კოსმოსში;
- თერმოელექტრონულ ემისიას და ვაკუუმურ მილაკს;
- ელექტრულ დენს ნახევარგამტარებში;
- ნახევარგამტარულ ხელსაწყოებს და მათ გამოყენებას.

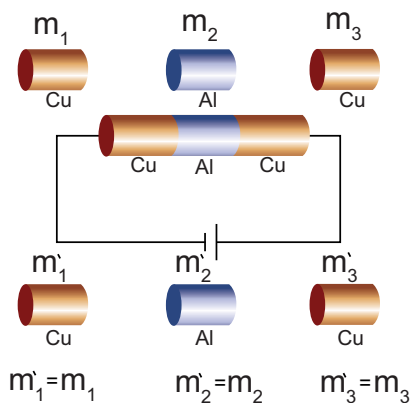
§ 22 ელექტრული დენი ლითონებში



კარლ ვიქტორ ედუარდ რიკკე 1845-1915

წინა პარაგრაფებში არაერთხელ აღვნიშნეთ, რომ ლითონებში ელექტრული მუხტის გადამტანები თავისუფალი ელექტრონებია. ლითონის ატომებში სავალენტო ელექტრონი ბირთვთან სუსტად არის დაკავშირებული, ადვილად ტოვებს ატომს და გადადის თავისუფალ მდგომარეობაში. თავისუფალი ელექტრონების კონცენტრაცია ლითონებში ძალიან დიდია, დაახლოებით 10^{28} მ^{-3} რიგისაა. სწორედ ამაზე დაყრდნობით შეიძლება ვიფიქროთ, რომ ელექტრული ველის გავლენით მიმართულ მოძრაობას ასრულებს ელექტრონები. გარდა თავისუფალი ელექტრონებისა, ლითონებში ასევე დადებითი იონების დიდი კონცენტრაციაა, რომელთა მოწესრიგებულმა მოძრაობამ შეიძლება ელექტრული დენი შექმნას.

პირველი ექსპერიმენტი, რომელმაც ლითონების ელექტრონული გამტარებლობა დაამტკიცა გერმანელმა ფიზიკოსმა კარლ ვიქტორ ედუარდ რიკკემ 1901 წელს ჩაატარა. რიკკეს ცდა შემდეგში მდგომარეობდა: გამტარში, რომელიც შედგებოდა სამი კარგად გაპრიალებული და ერთმანეთზე მჭიდროდ მიდებულ სპილენძის, ალუმინის და სპილენძის ცილინდრებისაგან (სურ. 133), ერთი წლის განმავლობაში ატარებდნენ ერთი მიმართულების დენს. დროის ამ შუალედში ცილინდრებში ძალიან დიდმა – დაახლოებით $3,5 \cdot 10^6$ კ მუხტმა გაიარა. ცდის დასრულების შემდეგ დაფიქსირდა ლითონების ურთიერთშეღწევის უმნიშვნელო კვალი, რომელიც მყარ სხეულებში ჩვეულებრივი დიფუზიის შედეგებს არ აღემატებოდა. ძალიან დიდი სიზუსტით ჩატარებულმა გაზომვებმა აჩვენა, რომ თითოეული ცილინდრის მასა უცვლელი დარჩა, მაშასადამე **ლითონში დენის გავლისას ნივთიერების გადატანა არ ხდება**. მუხტი რომ იონებს გადაეტანა, ცილინდრების მასები საგრძნობლად შეიცვლებოდა, რადგანაც ალუმინისა და სპილენძის ატომების მასები ერთმანეთისაგან მნიშვნელოვნად განსხვავდება.



სურ. 133

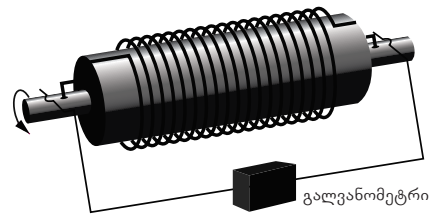


რიჩარდ ჩეის ტოლმენი 1881-1945

აქედან გამომდინარე, რიკკემ დაასკვნა – ლითონებში მუხტი იონებს არ გადააქვს და ივარაუდა, რომ მუხტის გადამტანი ნაწილაკები ალუმინში და სპილენძში ერთნაირია. ცნობილია, რომ ასეთ ნაწილაკებს ყველა ნივთიერების ატომი შეიცავს და ისინი ელექტრონებია. ამ ვარაუდის მართებულობა პირდაპირ და დამაჯერებლად დამტკიცდა 1916 წელს ამერიკელი მეცნიერების – თომას დეილ სტიუარტისა და რიჩარდ ჩეის ტოლმენის მიერ ჩატარებული ცდებით. ამ ცდებს საფუძვლად ედო შემდეგი ვარაუდი: ლითონებში არის თავისუფალი ელექტრონები, რომლებიც კრისტალური მესრის იონებს შორის სივრცეში მოძრაობს.

ცდის იდეა შემდეგში მდგომარეობდა: თუ ლითონის გამტარს ავამოძრავეთ და შემდეგ უცებ დავამუხრუჭებთ, თავისუფალმა ელექტრონებმა ინერციით უნდა გააგრძელოს მოძრაობა და შესაბამისად, გამტარში ხანმოკლე ელექტრული დენი უნდა დაფიქსირდეს.

სტიუარტისა და ტოლმენის დანადგარი შედგებოდა კოჭაზე დახვეული მავთულისგან, რომლის ბოლოები ერთმანეთისგან იზოლირებულ ლითონის დისკოებზე იყო მირჩილული. მოსრიალე კონტაქტების საშუალებით დისკოები მიერთებული იყო მგრძნობიარე გალვანომეტრთან (სურ. 134). კოჭას დიდი სიჩქარით ატრიალებდნენ და შემდეგ მკვეთრად ამუხრუჭებდნენ. ამ დროს გალვანომეტრის ისარი გადაიხრებოდა, რაც ხანმოკლე დენის წარმოქმნას მიანიშნებდა. ისრის გადახრის მიმართულებით დადგინდა, რომ დენი უარყოფითად დამუხტული ნაწილაკების მოძრაობით იყო გამოწვეული.



სურ. 134

გალვანომეტრში გასული მუხტის გაზომვით, კოჭაზე დახვეული გამტარის მონაცემებითა და დამუხრუჭებამდე კოჭას ბრუნვის სიჩქარით, გამოთვალეს დენის შემქმნელი ნაწილაკების მუხტის მასასთან შეფარდება – q/m . მიღებული შედეგი ელექტრონის მუხტის მის მასასთან შეფარდების მნიშვნელობას დაემთხვა:

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

ამრიგად, ექსპერიმენტულად დადასტურდა, რომ ელექტრული დენი ლითონებში თავისუფალი ელექტრონების მიმართული მოძრაობაა, ანუ ლითონებს ელექტრონული გამტარებლობა ახასიათებს.

დასკვნები:

- ლითონში დენის გავლისას ნივთიერების გადატანა არ ხდება;
- ელექტრული დენი ლითონებში თავისუფალი ელექტრონების მიმართული მოძრაობაა.

საკონტროლო კითხვები:

1. რის საფუძველზე დაასკვნა რიკკემ, რომ ლითონებში მუხტი იონებს არ გადააქვს?
2. რა მექანიკურ მოვლენას ეფუძნება სტიუარტისა და ტოლმენის ცდის იდეა?
3. როგორი გამტარებლობა ახასიათებს ლითონებს?

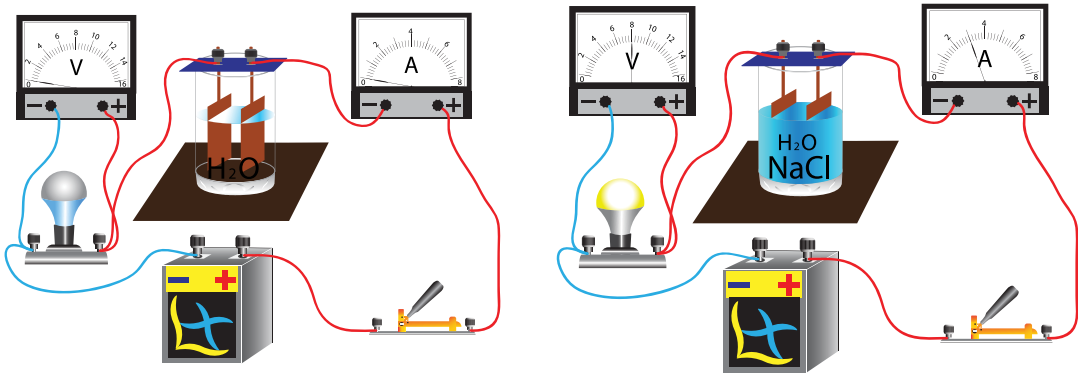
§ 23 ელექტროლიტური დისოციაცია. ელექტროლიზი

თანამედროვეობის ერთ-ერთი მთავარი პრობლემა ყოფა-ცხოვრებასა და მრეწველობაში ფართოდ გამოყენებული ლითონების ზედაპირების კოროზიისაგან დაცვაა. ხშირად ამ მიზნით, მათ სხვა ისეთი ლითონის თხელი ფენით ფარავენ, რომელიც გარემოს ზემოქმედების მიმართ მდგრადია. როგორ ხდება ეს პროცესი? ადამიანების მიერ გამოყენებული ნივთიერებათა უმრავლესობა ბუნებაში სუფთა სახით არ მოიპოვება. როგორ გამოყოფენ მოპოვებული მადნიდან სუფთა ნივთიერებებს? როგორ ასუფთავებენ ჩამდინარე წყლებს? შევისწავლოთ მოვლენა, რომელიც ამ და კიდევ სხვა მრავალ კითხვაზე პასუხს გასცემს.

წინა პარაგრაფიდან უკვე იცით, რომ ლითონებში დენის გავლისას ნივთიერება არ გადაიტანება, მუხტის გადამტანები კი თავისუფალი ელექტრონებია. მყარი ლითონებისაგან განსხვავებით ზოგიერთ გამტარში დენის გავლა ქიმიურ ცვლილებებს იწვევს და ნივთიერებაც გადაიტანება. ასეთებია მარილების, მჟავების, ტუტეების ხსნარები და მათი ნაღობები. ამ ნივთიერებებს **ელექტროლიტებს** უწოდებენ. შევისწავლოთ, როგორია ელექტრული დენის ბუნება ელექტროლიტებში?



ჩავატაროთ ცდა. ავანწყოთ ელექტრული წრედი, რომელიც შედგება დენის წყაროს, ნათურის, ჩამრთველის და აბაზანისაგან, რომელშიც გამოხდილი წყალია ჩასხმული. აბაზანაში ჩაშვებულია ნახშირის ან ლითონის ორი ელექტროდი (სურ. 135). წრედში მიმდევრობით ჩავრთოთ ამპერმეტრი, ხოლო ნათურას მივუერთოთ ვოლტმეტრი. ჩამრთველით წრედის შეკვრისას ნათურა არ გაანათებს – ამპერმეტრის ჩვენება ნულის ტოლი იქნება. ამის მიზეზი ისაა, რომ გამოხდილი წყალი დიელექტრიკია, მასში მუხტის გადამტანი თავისუფალი დამუხტული ნაწილაკები არ არის.



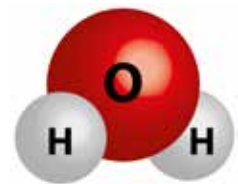
სურ. 135

სურ. 136

წყალს რაიმე მარილი, მაგალითად, სუფრის მარილი (NaCl) დავამატოთ. წრედში დენი გაივლის, რაზეც ანთებული ნათურა, ვოლტმეტრისა და ამპერმეტრის ჩვენებები მიგვანიშნებს (სურ. 136). მაშასადამე, მარილის წყალხსნარი ელექტრული დენის გამტარია, ანუ გამოხდილ წყალში ნატრიუმის ქლორიდის გახსნით მასში თავისუფალი დამუხტული ნაწილაკები გაჩნდა. როგორია მათი წარმოქმნის მექანიზმი?

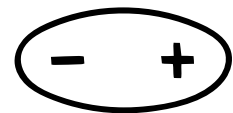


– გავიხსენოთ წყლის მოლეკულის აგებულება. ის შედგება წყალბადის ორი და ჟანგბადის ერთი ატომისაგან (სურ. 137). ისინი მოლეკულაში გაერთიანებულია კოვალენტური ბმით – აქვთ საზიარო ელექტრონები. ჟანგბადისა და წყალბადის განსხვავებული ელექტროუარყოფითობის გამო, წყლის მოლეკულას ელექტრული ასიმეტრია ახასიათებს – უარყოფითი მუხტი წანაცვლებულია ჟანგბადის ატომისაკენ, დადებითი კი – წყალბადის ატომებისაკენ. ამიტომ



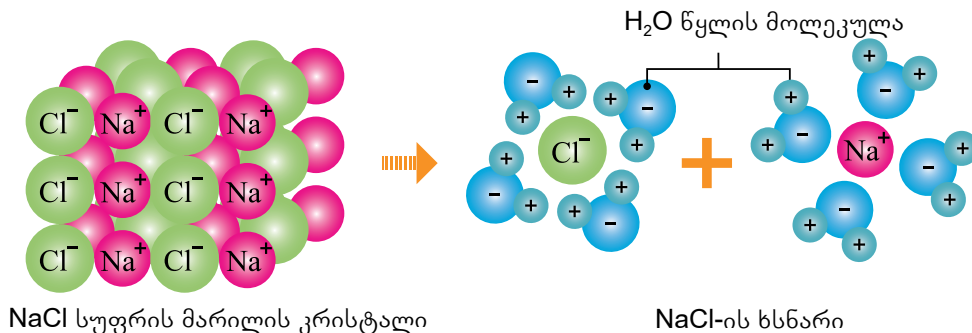
სურ.137

წყლის მოლეკულა პოლარული მოლეკულაა. ასეთ მოლეკულებს **დიპოლებს** (ორპოლუსა) უწოდებენ (სურ. 138).



სურ. 138

ახლა განვიხილოთ NaCl -ის მოლეკულის აგებულება. სუფრის მარილის მოლეკულაში ნატრიუმისა და ქლორის ატომების ურთიერთკავშირი გამარტივებულად შეიძლება წარმოვიდგინოთ, როგორც დადებითად დამუხტული Na^+ -ის იონის და უარყოფითად დამუხტული Cl^- -ის იონის ურთიერთქმედება. ეს იმით აიხსნება, რომ ნატრიუმის ერთი სავალენტო ელექტრონი სუსტადაა დაკავშირებული ბირთვთან და NaCl -ის მოლეკულის წარმოქმნისას მას ქლორის ატომი იერთებს. ამიტომ, სუფრის მარილის მოლეკულაც შეგვიძლია წარმოვიდგინოთ როგორც დიპოლი. ნატრიუმის ქლორიდის წყალში გახსნისას მისი მოლეკულები წყლის მოლეკულების „აღყაში“ აღმოჩნდება: NaCl -ის დიპოლის ელექტრული ველის ზეგავლენით Na^+ იონისაკენ წყლის დიპოლები უარყოფითი პოლუსით მოტრიალდება, Cl^- იონისაკენ კი – დადებითი პოლუსით. წყლის მოლეკულების ასეთი განლაგება NaCl -ის მოლეკულის იმდენად განელავს, რომ სითბური მოძრაობისას მცირე დაჯახებაც კი მის რღვევას გამოიწვევს. შედეგად, სუფრის მარილის მოლეკულების ნაწილი Na^+ და Cl^- იონებად დაიშლება (სურ 139).



სურ. 139

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

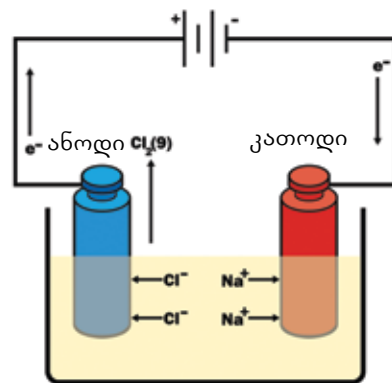
იონებად დაშლილი ელექტროლიტის მოლეკულების რიცხვის ფარდობას მოლეკულების სრულ რაოდენობასთან, **დისოციაციის ხარისხი** ეწოდება. ის დამოკიდებულია ტემპერატურაზე, ხსნარის კონცენტრაციაზე და გამხსნელის ელექტრულ თვისებებზე. ტემპერატურის ზრდისას დისოციაციის ხარისხიც იზრდება და შესაბამისად, იზრდება დადებითად და უარყოფითად დამუხტული იონების კონცენტრაცია.

შეხვედრისას, სხვადასხვა ნიშნის იონები შეიძლება კვლავ ნეიტრალურ მოლეკულად გაერთიანდეს. ამ პროცესს **რეკომბინაციას** უწოდებენ. უცვლელი პირობების დროს ხსნარში დამყარდება დინამიკური წონასწორობა – ერთ წამში იონებად დაშლილი და რეკომბინირებული მოლეკულების რაოდენობა ერთმანეთს გაუტოლდება.

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

მიაღწევს რა ანოდს, უარყოფითი იონები თავის ზედმეტ ელექტრონებს მას გადასცემს, ანოდი კი – სადენის საშუალებით დენის წყაროს დადებით პოლუსს. ასევე, დადებითი იონები კათოდიდან და შესაბამისად, დენის წყაროს უარყოფითი პოლუსიდან

ელექტრონების დანაკლისს შეივსებს. ასე მიიღწევა ელექტრონების მოძრაობა გარე წრედში დენის წყაროს უარყოფითი პოლუსიდან დადებით პოლუსისაკენ (სურ. 140). ამ დროს ელექტროლიტის ხსნარში მუხტი გადაიტანება ნივთიერების შემადგენელ ნაწილაკებთან, იონებთან ერთად. ელექტროლიტურ ნაღობებშიც მუხტის გადაიტანები იონებია, რადგან მყარი ელექტროლიტების დნობისას მათი მოლეკულები დადებით და უარყოფით იონებად იშლება.



სურ. 140

გამტარებლობას ელექტროლიტების ხსნარებში ან ნაღობებში, რომელიც იონებით ხორციელდება, იონური გამტარებლობა ეწოდება.

სითხეებში შეიძლება ელექტრონული გამტარებლობაც გვექონდეს. მაგალითად, ასეთი გამტარებლობა აქვს თხევად ლითონებს.

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

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

ზოგ შემთხვევაში, ელექტროდებზე განეიტრალებული იონები ქიმიურ რეაქციაში შედის გამხსნელთან, გახსნილ ნივთიერებებთან ან ელექტროლის ნივთიერებასთან. ასეთ რეაქციებს, **მეორადს** უწოდებენ.



გაეცანით სიმულაციას „ელექტროლიზი“: <https://bit.ly/3xTWezc>

ნახეთ ვიდეორგოლი „ელექტროლიზი მარტივად“: <https://bit.ly/3fn4QrB>



დასკვნები:

- მარილების, მჟავების, ტუტეების ხსნარებსა და ნაღობებს, ელექტროლიტებს უწოდებენ;
- წყლის (გამხსნელის) პოლარული მოლეკულების ელექტრული ველის გავლენით ელექტროლიტის მოლეკულების იონებად დაშლას, ელექტროლიტური დისოციაცია ეწოდება;
- გამტარებლობას ელექტროლიტების ხსნარებში ან ნაღობებში, რომელიც იონებით ხორციელდება, იონური გამტარებლობა ეწოდება;
- ელექტროდებზე ნივთიერების გამოყოფის პროცესს, რომელიც ჟანგვა-აღდგენით რეაქციებთანაა დაკავშირებული, ელექტროლიზი ეწოდება.

საკონტროლო კითხვები:

1. რას უწოდებენ დიპოლს?
2. როგორ შლის მარილის მოლეკულას წყლის მოლეკულების გარემოცვა?
3. რას ეწოდება დისოციაციის ხარისხი?
4. რას უწოდებენ რეკომბინაციას?
5. რომელ იონებს უწოდებენ ანიონებს? კათიონებს?

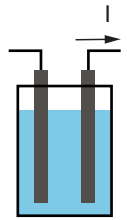
§ 24 ელექტროლიზის კანონები

წინა პარაგრაფიდან უკვე იცით, რომ ელექტროლიზის პროცესში ელექტროდებზე ელექტროლიტში შემავალი ნივთიერებები გამოიყოფა. რაზეა დამოკიდებული გარკვეულ დროში გამოყოფილი ნივთიერების მასა?

ექსპერიმენტულად ელექტროდზე გამოყოფილი ნივთიერების მასა შეიძლება გავზომოთ, თუ ისეთ ხსნარს შევარჩევთ, რომლისგანაც გამოყოფილი ნივთიერება ელექტროდს მყარი ნალექის სახით ეფინება. მაგალითად, შაბიამნის (CuSO_4) ხსნარში დენის გატარებისას, კათოდზე სპილენძი დაილექება. ცდის დაწყებამდე და ელექტროლიზის შემდეგ კათოდის აწონვით დალექილი ლითონის მასას ადვილად დავადგენთ.

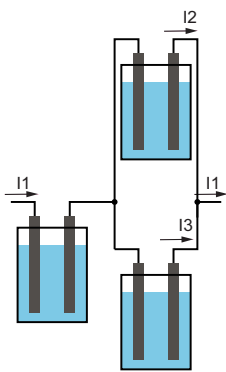


ჩავატაროთ ცდა. დავამზადოთ შაბიამნის ხსნარი და ჩავასხათ ელექტროლიტურ აბაზანაში (სურ. 141). თუ აბაზანას წრედში დროის სხვადასხვა შუალედით ჩავრთავთ და ამ შუალედებში კათოდზე დალექილი ლითონის მასას გავზომავთ, დავრწმუნდებით, რომ გამოყოფილი ნივთიერების მასა დენის გავლის დროის შუალედის პროპორციულია: $m \sim t$.



სურ. 141

გამოყოფილი ნივთიერების მასის დენის ძალაზე დამოკიდებულების დასადგენად, დავამზადოთ რამდენიმე ერთნაირი ელექტროლიტური აბაზანა და ავანწყოთ ელექტრული წრედი სურ. 142 ა-ს მიხედვით. რადგან აბაზანები ერთნაირია, მეორე და მესამე აბაზანებში გამავალი დენის ძალები ტოლია და პირველ აბაზანაში გამავალი დენის ძალის ნახევარს უდრის: $I_2 = I_3 = I_1/2$. კათოდებზე გამოყოფილი ლითონის მასების გაზომვით დავრწმუნდებით, რომ $m_2 = m_3 = m_1/2$.



სურ. 142 ა

გავზარდოთ პარალელურად ჩართული აბაზანების რაოდენობა სამამდე და ცდა გავიმეოროთ (სურ. 142 ბ). ამ შემთხვევაში $I_2 = I_3 = I_4 = I_1/3$. მასების გაზომვით კი მივიღებთ:

$m_2 = m_3 = m_4 = m_1/3$. ე.ი. რამდენჯერაც ელექტროლიტში გამავალი დენის ძალა შემცირდა, იმდენჯერ შემცირდა ელექტროდზე გამოყოფილი ნივთიერების მასა, ანუ $m \sim I$.

ამ ორი შედეგის გაერთიანებით შეიძლება დავასკვნათ, რომ მასა დენის ძალისა და დროის შუალედის ნამრავლის პროპორციულია: $m \sim It$.

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

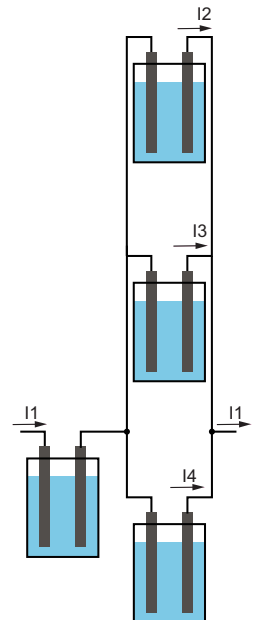
პირველად ეს კანონი მაიკლ ფარადეიმ დაადგინა 1836 წელს და მას ფარადეის პირველ კანონს უწოდებენ.

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

$$m = kIt. \quad (1)$$

გავითვალისწინოთ, რომ It ნამრავლი t დროში ელექტროლიტში გადატანილი მუხტის სიდიდეა: $q = It$, ამიტომ (1) ტოლობა შემდეგნაირად ჩაიწერება:

$$m = kq, \quad (2)$$



სურ. 142 ბ

ანუ ელექტროდზე გამოყოფილი ნივთიერების მასა ელექტროლიტში გასული მუხტის მოდულის პროპორციულია.

დროის t შუალედში ელექტროდზე გამოყოფილი ნივთიერების m მასა, ერთი იონის m_{oi} მასისა და ამ დროში ელექტროდზე მისული იონთა N_i რაოდენობის ნამრავლის ტოლია:

$$m = m_{oi} N_i \quad (3)$$

ქიმიის კურსიდან რამდენიმე ცნება გავიხსენოთ:

1 მოლი არის ნივთიერების რაოდენობა, რომელიც შეიცავს იმდენივე სტრუქტურულ ელემენტს (ატომს, მოლეკულას), რამდენი ატომიცაა 0,012 კგ ნახშირბადში;

ყველა ნივთიერების 1 მოლი $6,02 \cdot 10^{23}$ მოლეკულას (ან ატომს) შეიცავს. ამ რიცხვს ავოგადროს რიცხვი ეწოდება: $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ მოლი⁻¹ (ცნობილი იტალიელი მეცნიერის ამადეო ავოგადროს პატივსაცემად);

1 მოლი ნივთიერების მასას მოლური მასა ეწოდება. მოლური მასა აღინიშნება M ასოთი. მისი განზომილებაა კგ/მოლი.

მოლური მასის განმარტებიდან გამომდინარეობს, რომ ერთი იონის მასა ტოლია:

$$m_{oi} = \frac{M}{N_A} \quad (4)$$

თუ t დროის შუალედში ელექტროდზე N_i რაოდენობის იონი მივიდა და q მუხტი გადაიტანა, მაშინ

$$N_i = \frac{q}{q_{oi}} \quad (5)$$

რომელშიც q_{oi} იონის მუხტია. ის ატომის n ვალენტობის და ელემენტარული e მუხტის ნამრავლის ტოლია:

$$q_{oi} = ne. \quad (6)$$

ერთვალენტიანი ატომებისაგან ($n = 1$) შემდგარი სუფრის მარილის მოლეკულის დისოციაციის დროს Na^+ და Cl^- იონები წარმოიქმნება. შაბიამნის მოლეკულის დისოციაციის დროს კი $-Cu^{2+}$ და SO_4^{2-} იონები, რადგან მოცემულ ნაერთში სპილენძი ორვალენტიანია ($n=2$).

თუ (2) ტოლობიდან k პროპორციულობის კოეფიციენტს გამოვსახავთ, (3), (4), (5) და (6) ტოლობების გათვალისწინებით მივიღებთ:

$$k = \frac{1}{eN_A n} \frac{M}{m} \quad (7)$$

ამ ტოლობიდან ჩანს, რომ k მხოლოდ ნივთიერების გვარობაზეა დამოკიდებული. მას ნივთიერების ელექტროქიმიურ ეკვივალენტს უწოდებენ. (2) ტოლობიდან ჩანს, რომ k კოეფიციენტი რიცხობრივად ნივთიერების იმ მასის ტოლია, რომელიც 1 კ მუხტის გადატანისას ელექტროდზე გამოიყოფა. SI-ში ელექტროქიმიური ეკვივალენტი კ/კგ-ში გამოისახება.

ელექტროქიმიურ ეკვივალენტს სხვა მარტივი ფიზიკური აზრიც აქვს. (7)-დან (4) და (6) ტოლობების გათვალისწინებით მიიღება:

$$k = \frac{m_{oi}}{q_{oi}},$$

ანუ მოცემული ნივთიერების ელექტროქიმიური ეკვივალენტი ამ ნივთიერების იონის მასის მის მუხტთან ფარდობის ტოლია.

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

$$F = e N_A. \quad (8)$$

თუ (8) ტოლობას (7)-ში გავითვალისწინებთ, მივიღებთ:

$$k = \frac{1}{F} \cdot \frac{M}{n}. \quad (9)$$

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

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

საყურადღებოა, რომ ზოგიერთ ქიმიურ ელემენტს სხვადასხვა ნაერთში განსხვავებული ვალენტობა აქვს. მაგალითად, Cu_2O -ში სპილენძი ერთვალენტიანია, ხოლო $CuSO_4$ -ში – ორვალენტიანი.

თუ k -ს მნიშვნელობას (9) ტოლობიდან (1)-ში ჩავსვავთ, გვექნება:

$$m = \frac{1}{F} \cdot \frac{M}{n} It. \quad (10)$$

ეს ტოლობა ფარადეის პირველი და მეორე კანონების გაერთიანებას წარმოადგენს.

ამ ფორმულის თანახმად ფარადეის მუდმივა რიცხობრივად იმ მუხტის ტოლია, რომელმაც უნდა გაიაროს ელექტროლიტში, რათა ელექტროდზე ერთვალენტიანი ნივთიერების ერთი მოლი გამოიყოს. n ვალენტიანი ნივთიერების შემთხვევაში, ერთი მოლი ნივთიერების ელექტროდზე გამოყოფისთვის რიცხობრივად nF -ის ტოლი მუხტის გავლა იქნება საჭირო. ცდით დადგენილია ფარადეის მუდმივას მნიშვნელობა:

$$F = 9,65 \cdot 10^4 \text{ კ/მოლი.}$$

ცხრილში მოყვანილია ზოგიერთი ნივთიერების ელექტროქიმიური ეკვივალენტის მნიშვნელობა:

ნივთიერება	ვალენტობა	K, მგ/კ
ალუმინი	3	0,0932
ბრომი	1	0,8282
წყალბადი	1	0,01045
რკინა	3	0,1929
ოქრო	3	0,6812
ჟანგბადი	2	0,0829
სპილენძი	1	0,6588
სპილენძი	2	0,3294
ნატრიუმი	1	0,2383

ნიკელი	2	0,3041
ნიკელი	3	0,2027
კალა	2	0,6150
OH-ჯგუფი	1	0,1763
პლატინა	4	0,5058
ვერცხლისწყალი	1	2,0789
ტყვია	2	1,0736
გოგირდი	2	0,1661
ვერცხლი	1	1,1179
ქლორი	1	0,3674
თუთია	2	0,3388



„ელექტროლიზის ექსპერიმენტი“: <https://bit.ly/3RgBPLh>

დასკვნები:

- ელექტროლიტში დენის გავლისას ელექტროდზე გამოყოფილი ნივთიერების მასა პროპორციულია დენის ძალისა და დროის იმ შუალედის ნამრავლის, რომლის განმავლობაშიც ელექტროლიტში დენი გადიოდა: $m = kIt$;
- პროპორციულობის k კოეფიციენტს ელექტროქიმიური ეკვივალენტი ეწოდება. SI-ში ელექტროქიმიური ეკვივალენტი კ/კგ-ში გამოისახება;
- სხვადასხვა ნივთიერების ელექტროქიმიური ეკვივალენტები მათი მოლური მასების პროპორციულია და უკუპროპორციულია მათი ვალენტობის: $k = \frac{1}{F} \cdot \frac{M}{n}$.

საკონტროლო კითხვები:

1. როგორ შეიძლება განვსაზღვროთ ელექტროდზე გამოყოფილი ნივთიერების მასა?
2. რისი ტოლია რიცხობრივად ნივთიერების ელექტროქიმიური ეკვივალენტი?
3. რისი ტოლია რიცხობრივად ფარადეის მუდმივა?



ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

რა ძალის დენმა უნდა გაიაროს ელექტროლიტში, რომ 1,5 სთ-ში 2 გ წყალი დაიშალოს?

ამოხსნა: წყლის მოლეკულის (H_2O) ფარდობითი მოლეკულური მასა 18-ის ტოლია, ამიტომ მასში წყალბადის მასური წილი $\frac{2}{18}$ -ია, ჟანგბადისა კი $-\frac{16}{18}$. შესაბამისად, 2 გ წყლის დაშლის შედეგად მივიღებთ $\frac{2}{9}$ გ წყალბადს და $\frac{16}{9}$ გ ჟანგბადს. დავწეროთ ფარადეის პირველი კანონი ერთ-ერთი ნივთიერებისთვის, მაგალითად, ჟანგბადისათვის

$$m_{\text{O}} = k_{\text{O}} I t, \text{ აქედან } I = \frac{m_{\text{O}}}{k_{\text{O}} t} = \frac{\frac{16}{9} \cdot 10^{-3}}{0,083 \cdot 10^{-6} \cdot 5400} \approx 4 \text{ (ა)}.$$

პასუხი: ელექტროლიტში გამავალი დენის ძალა მიახლოებით 4 ა უნდა იყოს.



ამოხსენით ამოცანები:

1. მიმდევრობით შეერთებულ ორ ერთნაირ ელექტროლიტურ აბაზანაში, რომლებშიც შაბიამნის ერთნაირი რაოდენობის ხსნარი ასხია, გადის დენი. პირველ აბაზანაში ხსნარი ნაჯერია, მეორეში – არა. შეადარეთ ერთმანეთს ერთსა და იმავე დროში კათოდებზე გამოყოფილი სპილენძის მასები. პასუხი დაასაბუთეთ.

2. ელექტროლიტურ აბაზანასათან მიმდევრობით შეერთებულია ნათურა. აბაზანაში მარილის ნაჯერი ხსნარია და გადის დენი. შეიცვლება თუ არა დროთა განმავლობაში ნათურის ნათება? პასუხი დაასაბუთეთ.

3. იპოვეთ ოთხვალენტური ლითონის ელექტროქიმიური ეკვივალენტი, თუ მისი მოლური მასა 195 გ/მოლი-ს ტოლია.

4. რამდენ ხანს გრძელდებოდა ელექტროლიზი, თუ ელექტროლიტურ აბაზანაში 4 ა დენის გატარებისას კათოდზე 2,4 გ ნატრიუმი გამოიყო?

5. განსაზღვრეთ ნიკელის ელექტროქიმიური ეკვივალენტი, თუ ელექტროლიტურ აბაზანაში 4 ა დენის გატარებისას 1 სთ-ში ელექტროდზე 4,32 გ ნიკელი გამოიყო.

6. ელექტროლიტურ აბაზანაში 2 ა დენის გატარებისას 30 წთ-ში ელექტროდზე 880 მგ სამვალენტური ლითონი გამოიყო. იპოვეთ მისი მოლური მასა.

7. იპოვეთ 264 გ მასის ერთვალენტური სპილენძის რაფინირებისას ელექტრული ძალების მიერ შესრულებული მუშაობა, თუ დაბვა ელექტროლიტურ აბაზანის ელექტროდებს შორის 6 ვ-ია.

8. მიმდევრობით შეერთებული ორი აბაზანიდან, ერთში გამოიყოფა ორვალენტური სპილენძი, მეორეში – ვერცხლი. რა მასის ვერცხლი გამოიყოფა მეორე აბაზანაში, თუ პირველში 20 გ სპილენძი გამოიყო?

9. რამდენ ხანს გრძელდებოდა 24 სმ² ფართობის მქონე ფირფიტის მოოქროვება, თუ ელექტროლიზი 3 ა დენის ძალით მიმდინარეობდა და ფირფიტა ორივე მხრიდან ოქროს 0,02 მმ სისქის ფენით დაიფარა?

10. ელექტროლიტურ აბაზანაში ასხია $AgNO_3$ -ის ხსნარი. 2 ნმ-ის განმავლობაში ვერცხლის რამდენი ატომი გამოიყოფა კათოდზე, თუ ხსნარში 0,02 ა დენი გადის?

§ 25 ელექტროლიზის გამოყენება

ამ პარაგრაფში შევეცადოთ პასუხები გავცეთ ელექტროლიზის შესწავლის დაწყებისას დასმულ კითხვებს.

ხშირად ლითონის ნაკეთობას, კოროზიისგან დასაცავად ან მიმზიდველი გარეგნობის მისაცემად, სხვა ლითონის თხელი ფენით ფარავენ (მოოქროვება, მოვერცხვლა, მოქრომვა, მონიკელება და სხვა) (სურ. 143). სხეულს წინასწარ ამზადებენ ლითონის დაფენისთვის: საფუძვლიანად ასუფთავებენ და აცლიან ცხიმს. შემდეგ ათავსებენ ელექტროლიტურ აბაზანაში, როგორც კათოდს. აბაზანას იმ ლითონის მარილის ხსნარით ავსებენ, რომლითაც სხეულის დაფარვა სურთ, ანოდად კი იმავე ლითონის ფირფიტას იყენებენ (სურ. 144). იმისათვის, რომ სხეული ლითონით თანაბრად დაიფაროს, ორ ანოდს იყენებენ, ხოლო სხეულს მათ შორის ათავსებენ. ამ ტექნოლოგიას **გალვანოსტეგია** ეწოდება.

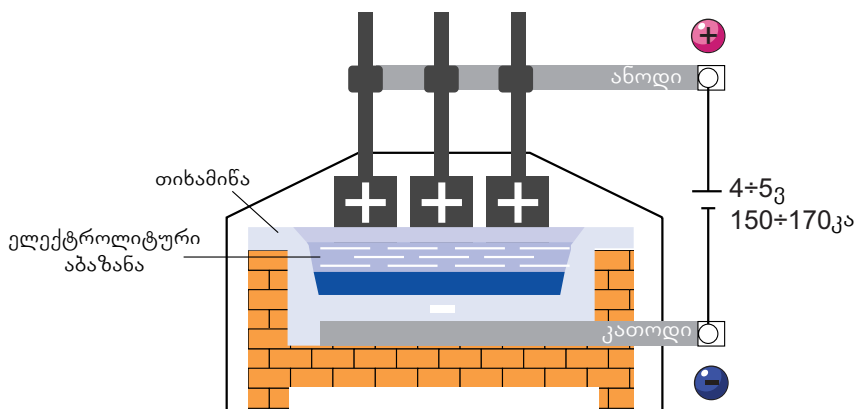


სურ. 143



სურ. 144

რთულია წარმოიდგინო თანამედროვე ადამიანის ცხოვრება ისეთი ლითონის გარეშე, როგორიც ალუმინია. ის ყველგან გამოიყენება – სამზარეულოდან დაწყებული, ავიაციით დამთავრებული. XIX საუკუნის დასაწყისში მისი ფასი ოქროს ფასს აღემატებოდა, რადგან ალუმინი სუფთა სახით ბუნებაში არ მოიპოვება, ხოლო სხვადასხვა ნაერთისგან მისი გამოყოფა საკმაოდ რთული იყო. დღეს კი ალუმინი ერთ-ერთი იაფი ლითონია. ის ელექტროლიზის საშუალებით მიიღება, მაგრამ არა ამ ლითონის მარილების ხსნარებით, არამედ მისი ოქსიდების ნადნობებით. ალუმინის შემცველი ბოქსიტების მადნის გადამუშავებით იღებენ თიხამინას (Al_2O_3) და ყრიან ნახშირის აბაზანაში, რომელიც ამავე დროს კათოდია. ანოდებს წარმოადგენს ნახშირის ლეროები, რომლებიც ჩადგმულია აბაზანაში და შეუძლია მოძრაობა (სურ. 145). თავიდან ლეროებს ჩაუშვებენ აბაზანასთან შეხებამდე და ატარებენ დიდ დენს, რის შედეგადაც თიხამინა ცხელდება და დნება. შემდეგ ლეროებს ამოწევენ, დენი ნადნობში გადის და მიმდინარეობს ელექტროლიზი. ამ დროს გამოყოფილი გამდნარი ალუმინი აბაზანის ფსკერზე (კათოდი) ჩადის და სპეციალური ნახვრეტიდან ფორმებში ჩამოისხმება.



სურ. 145

მარილების **ნადნობების ელექტროლიზით** აგრეთვე ნატრიუმს, კალიუმს, მაგნიუმს და სხვა ლითონებს იღებენ.

თანამედროვე ელექტროტექნიკაში სუფთა ლითონებისგან დამზადებულ გამტარებს იყენებენ. სუფთა სპილენძი გამტარების დასამზადებლად საუკეთესო ნივთიერებაა, მაგრამ ამისთვის საჭიროა მინარევებისაგან მისი გასუფთავება. ნივთიერების მინარევებისაგან გასუფთავებას **რაფინირებას** უწოდებენ. მინარევიანი სპილენძის მასიურ ფირფიტებს ანოდად ათავსებენ დიდ ელექტროლიტურ აბაზანაში, რომელშიც შაბიამნის ხსნარია ჩასხმული (სურ. 146). ხსნარის გამტარობის ასამაღლებლად მას გოგირდმჟავას უმატებენ. კათოდად აბაზანაში ჩაშვებულია სუფთა სპილენძის თხელი ფირფიტები. ელექტროლიზისას ანოდის სპილენძი იხსნება. მინარევი, რომლებიც შეიძლება ძვირფას და იშვიათ ლითონებს შეიცავდეს, ფსკერზე ილექება, ხოლო კათოდზე სუფთა სპილენძი ეფინება.



სურ. 146

ელექტრული რაფინირებით აგრეთვე იღებენ სუფთა ნიკელს, კალას, ვერცხლს, ოქროს და სხვა.

მოცულობითი სხეულების ზედაპირის ლითონის ასლის დასამზადებლად **გალვანოპლასტიკას** იყენებენ. ზედაპირის ასლები საჭიროა სხვადასხვა მონყობილობის დეტალების ჩამოსასხმელად, ქანდაკებების დასამზადებლად, საბეჭდი ფორმებისათვის და სხვა (სურ. 147). სხეულის ზედაპირზე ლითონის დაფენა შესაძლებელია მხოლოდ მაშინ, როცა ზედაპირი გამტარია. იმისათვის, რომ არაგამტარი სხეულის ასლი გადაიღონ, ჯერ სხეულისგან ცვილის ან სხვა ანაბეჭდს იღებენ, შემდეგ კი ანაბეჭდის ზედაპირს გამტარობისათვის გრაფიტით, ბრინჯაოთი ან ვერცხლით ფარავენ. მიღებულ ანაბეჭდს ჩაუშვებენ კათოდად იმ ლითონის ხსნარში, რომლის დაფენაც უნდათ. ანოდად დასაფენი ლითონის ელექტროდს იყენებენ. როცა ანაბეჭდზე ელექტროლიზით ლითონის საკმაოდ სქელი ფენა დაეფინება, ცვილს ფრთხილად აშორებენ და ორგინალის ზუსტი ლითონის ასლი რჩება.



სურ. 147

ელექტროლიზი გამდინარე წყლების გასუფთავებისთვისაც გამოიყენება (ელექტროკოაგულაცია, ელექტროექსტრაქცია და ელექტროფლოტაცია). წყლის ელექტროქიმიური განმენდა ერთ-ერთი ყველაზე ხშირად გამოყენებადი მეთოდია (სურ. 148). ელექტროლიზისათვის იყენებენ როგორც არახსნად (ტიტანზე დატანილი ტყვიის ოქსიდი, მანგანუმი, გრაფიტი, მაგნეტიტი), ასევე ხსნად ანოდებს (ალუმინი, რკინა). წყლის ელექტროქიმიური განმენდისას, მისგან ტოქსიკური ორგანული და არაორგანული ნივთიერებები გამოიყოფა. მაგალითად, სპილენ-



სურ. 148

ძის მიღებიდან ნადებს გოგირდმჟავას ხსნარით აშორებენ, შემდეგ კი მჟავისგან გამდინარე წყლის გასუფთავება ელექტროლიზის საშუალებით ხდება, ოღონდ უხსნადი ანოდით.

ტუტე გამდინარე წყლებს ციანიდების ნაერთებისგან ელექტროლიზით ასუფთავებენ. ციანიდების დაჟანგვის დასაჩქარებლად და ხსნარის გამტარობის ასამაღლებლად მას სუფრის მარილს ამატებენ. ელექტროლიზს გრაფიტის ანოდით და ფოლადის კათოდით ახორციელებენ. ელექტროქიმიური დაჟანგვისას და ქლორის ზემოქმედებით ციანიდები იშლება.

ცხიმებისაგან, ნავთობპროდუქტებისაგან, ზეთებისაგან, საღებავებისაგან, რადიოაქტიური ნივთიერებებისაგან წყლის გასუფთავებისათვის **ელექტროკოაგულაციას** იყენებენ. ელექტროლიზს ატარებენ მარილების გარეშე, ხსნადი ალუმინის ან რკინის ანოდების გამოყენებით. ამ დროს დამაბინძურებელი ნივთიერებაც და ანოდიც იშლება, წარმოიქმნება აქტიური ნივთიერებები, რომლებიც ასეელებს (კოაგულირებს) მავნე ნივთიერებებს.

ელექტროლიზს ფართო გამოყენება აქვს მედიცინაშიც, მაგალითად, ხელოვნური თირკმლის მუშაობისას (დიალიზი). შეიძლება ითქვას, რომ ელექტროლიზის გამოყენების არეალი ძალიან დიდია.



გაეცანით ვიდეორგოლებს: „მეტალის ნივთების დაფენვა“, <https://bit.ly/3fg066V>

„პლასტმასის ნივთების დაფენვა“, <https://bit.ly/3RI3BGo>



დასკვნები:

- ლითონის ნაკეთობის სხვა ლითონის თხელი ფენით დაფარვას, გალვანოსტიკა ეწოდება;
- სუფთა ალუმინის (ნატრიუმის, კალიუმის, მაგნიუმის) გამოყოფისთვის, მარილების ნადნობების ელექტროლიზი გამოიყენება;
- სუფთა სპილენძის (ნიკელის, კალის, ვერცხლის, ოქროს) მიღებისათვის. რაფინირების მეთოდი გამოიყენება;
- მოცულობითი სხეულების ზედაპირის ლითონის ასლის დასამზადებლად გალვანოპლასტიკას იყენებენ;
- გამდინარე წყლების გასუფთავებისათვის ელექტროქიმიური განმენდა გამოიყენება.

საკონტროლო კითხვები:

1. რომელ ელექტროდად უნდა მოვათავსოთ ელექტროლიტურ აბაზანაში დასაფარი ნაკეთობა?
2. რომელ მარილს იყენებენ ელექტროლიტად?
3. როგორ შეიძლება დამზადდეს გამტარი ნაკეთობის ზედაპირის ლითონის ასლი?

§ 26 ელექტრული დენი აირებში

ყველას გინახავთ ბუნების მშვენიერი და იმავე დროს საშიში მოვლენა – ელვა (სურ. 149). ზაფხულში ის თითქმის ყოველთვის თან ახლავს წვიმას. ელვა ასევე ვულკანის ამოფრქვევის დროსაც შეიძლება წარმოიქმნას (სურ. 150). რა ფიზიკური მოვლენაა ელვა? რა პირობებში წარმოიქმნება ის?

მშენებლობაზე, რკინის კონსტრუქციების ელექტროშედულებისას, შეგიმჩნევიათ მკვეთრი ნათება (სურ. 151). რა არის ამ ნათების მიზეზი?



სურ. 149



სურ. 150



სურ. 151

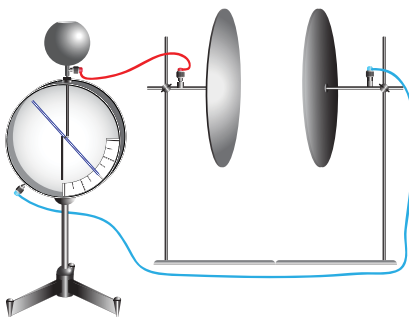
ამ კითხვებზე პასუხის გასაცემად უნდა შევისწავლოთ ელექტრული დენი აირებში. ნორმალურ პირობებში აირები ელექტრულ დენს არ ატარებს, ანუ იზოლატორებია. სწორედ ამიტომაა შესაძლებელი საჰაერო ელექტროგადამცემი ხაზების არსებობა. ჰაერის იზოლატორულ თვისებაზეა დაფუძნებული ელექტრული დენის ჩამრთველის მუშაობა. ოთახის განათების ჩამრთველზე ხელის დაჭერით თქვენ წრედის ორ წერტილს შორის ჰაერის შუალედს ქმნით, რაც წრედის განწყვეტას იწვევს.



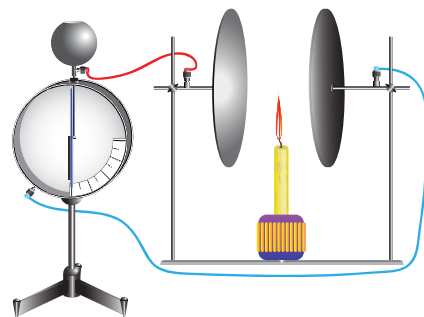
ჩავატაროთ ცდა. დავმუხტოთ ბრტყელი კონდესატორი და მას ელექტრომეტრი მივუერთოთ. ელექტრომეტრის ისარი გარკვეული კუთხით გადაიხრება და ამ მდგომარეობაში დარჩება, ანუ ელექტრომეტრი არ განიმუხტება. ეს ნიშნავს, რომ კონდესატორის შემონაფენებს შორის ჰაერი დენს არ ატარებს (სურ. 152 ა). იმისათვის რომ ელექტრომეტრის ისრის გადახრის კუთხის შემცირება შესაძლებელი გახდეს, საკმაოდ დიდი დროის გასვლაა საჭირო.

აირის იზოლატორული თვისებები მასში თავისუფალი დამუხტული ნაწილაკების არასაკმარისი რაოდენობით აიხსნება.

შემონაფენებს შორის ჰაერი სანთლის ან სპირტქურის ალით გავაცხელოთ. შევამჩნევთ, რომ ელექტრომეტრის ისრის გადახრის კუთხე სწრაფად შემცირდება, ანუ შემცირდება პოტენციალთა სხვაობა კონდესატორის დისკოებს შორის (სურ. 152 ბ). აქედან შეგვიძლია დავასკვნათ: გაცხელებული ჰაერი გამტარად გადაიქცა — მასში გაიარა დენმა.



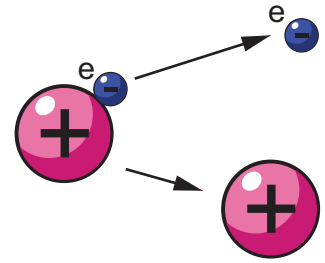
სურ. 152 ა



სურ. 152 ბ

აირებში დენის გავლის პროცესს აიროვან განმუხტვას უწოდებენ.

რატომ გადაიქცა გაცხელებული აირი გამტარად? აირის ტემპერატურის გაზრდისას მისი მოლეკულების მოძრაობის საშუალო სიჩქარე იმდენად მატულობს, რომ ურთიერთ-შეჯახებისას მოლეკულების ნაწილი დადებით იონებად და ელექტრონებად იშლება (სურ. 153). რაც უფრო მაღალია აირის ტემპერატურა, მით მეტი იონი წარმოიქმნება. აირის მოლეკულების ან ატომების ელექტრონებად და დადებით იონებად დაშლას, **აირის იონიზაცია** ეწოდება.



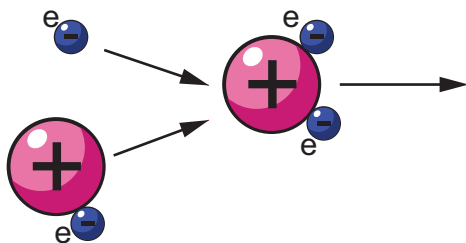
სურ. 153

აირის გაცხელება მისი იონიზაციის ერთადერთი გზა არ არის. აირის ნეიტრალური ნაწილაკების იონიზაცია შეიძლება ულტრაიისფერი სხივების, რენტგენის სხივებისა და რადიოაქტიური გამოსხივების ზემოქმედებითაც მოხდეს. აირის იონიზაციის გამომწვევ ნებისმიერ საშუალებას **იონიზატორს** უწოდებენ.

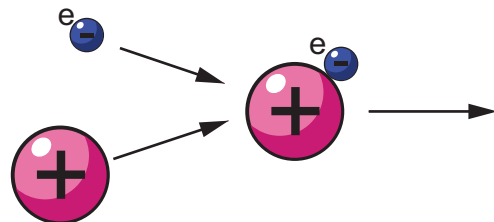
აირში შეიძლება უარყოფითი იონებიც წარმოიქმნას. ეს მაშინ ხდება, როცა აირის ნეიტრალური ატომი ან მოლეკულა ელექტრონს მიიერთებს (სურ. 154).

ამრიგად, იონიზირებულ აირში მუხტის გადამტანებს წარმოადგენს დადებითი იონები, უარყოფითი იონები და ელექტრონები.

აირის იონიზაციას ყოველთვის თან ახლავს მისი საპირისპირო პროცესი – ელექტრონისა და დადებითი იონის მიახლოებისას ნეიტრალური მოლეკულის ან ატომის აღდგენა. ამ პროცესს დამუხტულ ნაწილაკთა **რეკომბინაციას** უწოდებენ (სურ. 155). თუ იონიზატორის მოქმედებას არ შევცვლით, აირში დამყარდება დინამიკური წონასწორობა, რომლის დროსაც დროის ერთეულში იონიზირებული და რეკომბინირებული ნაწილაკების რაოდენობა ერთმანეთს გაუტოლდება. თუ იონიზატორის მოქმედებას შევწყვეტთ, მაშინ რეკომბინაციის გამო იონების რაოდენობა დროის მცირე შუალედში თითქმის ნულს გაუტოლდება და აირი კვლავ იზოლატორად გადაიქცევა. მაშასადამე აირში დამუხტული ნაწილაკები იარსებებს მანამ, სანამ იმოქმედებს იონიზატორი.



სურ. 154



სურ. 155

ელექტრული ველის არარსებობისას აირის დამუხტული ნაწილაკები მხოლოდ ქაოსურ, სითბურ მოძრაობას ასრულებს, მაგრამ თუ ისინი გარე ელექტრულ ველში აღმოჩნდება, მიმართულ მოძრაობას დაიწყებს და აირში ელექტრულ დენს შექმნის.

ამრიგად, **ელექტრული დენი აირში წარმოიქმნება დამუხტულ ნაწილაკთა ორი ნაკადით: კათოდისაკენ მოძრავი დადებითი იონებისა და ანოდისაკენ მოძრავი ელექტრონებისა და უარყოფი იონების ნაკადით.**

მაშასადამე, **აირების გამტარებლობა ელექტრონულ-იონური სახისაა.**

აირებში დენის გავლისას უარყოფითი მუხტი ძირითადად ელექტრონებს გადააქვს, თუმცა უარყოფითი იონების სხედრითი წილიც ანგარიშგასანევია.

მივა რა ელექტროდებზე, აირის იონები მათ ელექტრულ მუხტს გადასცემს და ისევ აირში ბრუნდება, ანუ ელექტროდებზე იონების ნეიტრალიზაციისას, მათზე ნივთიერება არ გამოიყოფა.

დასკვნები:

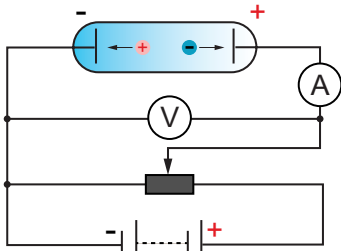
- აირებში დენის გავლის პროცესს აიროვან განმუხტვას უწოდებენ;
- აირის მოლეკულების ან ატომების ელექტრონებად და დადებით იონებად დაშლას, აირის იონიზაცია ეწოდება;
- აირის იონიზაციის გამომწვევ ნებისმიერ საშუალებას იონიზატორს უწოდებენ;
- ელექტრული დენი აირში წარმოიქმნება კათოდისაკენ მოძრავი დადებითი იონებისა და ანოდისაკენ მოძრავი ელექტრონებისა და უარყოფითი იონების ნაკადით;
- აირების გამტარებლობა ელექტრონულ-იონური სახისაა.

საკონტროლო კითხვები:

1. რატომ არ ატარებს აირი დენს ნორმალურ პირობებში?
2. რატომ ატარებს გაცხელებული აირი დენს?
3. რითი განსხვავდება ერთმანეთისაგან ელექტრული დენი აირებში და ელექტროლიტებში?

§ 27 არათავისთავადი და თავისთავადი განმუხტვა

წინა პარაგრაფიდან იცით, რომ იონიზატორის მოქმედების შეწყვეტის შემდეგ აირი იზოლატორად გადაიქცევა და აიროვანი განმუხტვა წყდება. მიუხედავად ამისა, გარკვეულ პირობებში განმუხტვა შეიძლება გაგრძელდეს, ანუ იონიზატორის მოქმედების გარეშე აირში დენის გავლა არ შეწყდეს. რა პირობები უნდა შესრულდეს ამისათვის?



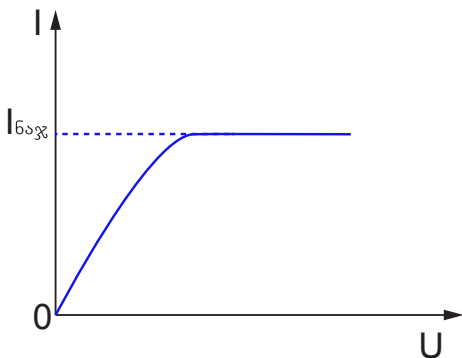
სურ. 156

ელექტროდისაკენ. შედეგად, მილში აიროვანი განმუხტვა წარმართება. ყველა იონი ელექტროდებს ვერ მიაღწევს, რადგან მათი ნაწილი რეკომბინაციას განიცდის და ნეიტრალურ ნაწილაკებს წარმოქმნის.

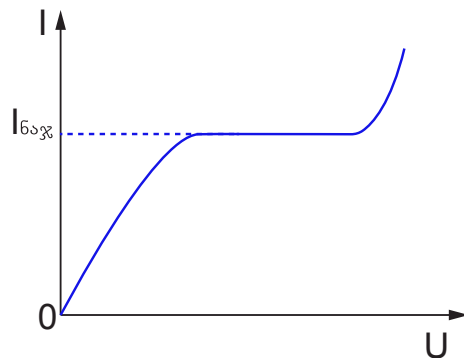
ელექტროდებს შორის ძაბვის ზრდისას მოიმატებს იმ დამუხტულ ნაწილაკთა წილი, რომლებმაც ელექტროდებს მიაღწიეს. შესაბამისად, გაიზრდება დენის ძალაც წრედში. საბოლოოდ, დადგება მომენტი, როცა აირში ერთ ნაწილში წარმოქმნილი დამუხტული ნაწილაკების რაოდენობა გაუტოლდება იმავე დროში ელექტროდებს მიღწეულ ნაწილაკთა რაოდენობას. ამ მომენტიდან დენის ძალა აღარ გაიზრდება – ის **ნაჯერობას** მიაღწევს (სურ. 157). თუ იონიზატორის მოქმედება შეწყდება, შეწყდება აიროვანი განმუხტვაც, რადგან დამუხტული ნაწილაკების სხვა წყარო არ არსებობს.

აიროვან განმუხტვას, რომელიც მხოლოდ გარე იონიზატორის მოქმედების დროს მიმდინარეობს, არათავისთავადი განმუხტვა ეწოდება.

რა მოხდება, თუ ელექტროდებს შორის ძაბვის ზრდას კვლავ გავაგრძელებთ? ცდა გვიჩვენებს, რომ პოტენციალთა სხვაობის გარკვეული მნიშვნელობის შემდეგ, დენის ძალა მკვეთრ მატებას იწყებს (სურ. 158). ეს ნიშნავს, რომ გარდა იონიზატორის მოქმედებით გაჩენილი დამუხტული ნაწილაკებისა, აირში დამატებით წარმოიქმნა დამუხტული ნაწილაკები. იონებისა და ელექტრონების რაოდენობამ შეიძლება იმდენად მოიმატოს, რომ განმუხტვის შენარჩუნებისათვის გარე იონიზატორის მოქმედება საჭირო აღარ გახდეს.



სურ. 157



სურ. 158

განმუხტვას, რომელიც გარე იონიზატორის მოქმედების გარეშე მიმდინარეობს, თავისთავადი განმუხტვა ეწოდება.

რამ გამოიწვია დენის ძალის მკვეთრი ზრდა მაღალი ძაბვის დროს? განვიხილოთ გარე იონიზატორის მოქმედებით გაჩენილი დამუხტული ნაწილაკების ერთი წყვილი –

დადებითი იონი და ელექტრონი. ელექტრონი იწყებს მოძრაობას ანოდისაკენ, ხოლო დადებითი იონი – კათოდისაკენ. ორივე დამუხტული ნაწილაკი მოძრაობისას ეჯახება აირის სხვა ნაწილაკებს. განვიხილოთ ელექტრონის მოძრაობა. დაჯახებიდან დაჯახებამდე ელექტრონის კინეტიკური ენერგია ელექტრული ველის მიერ შესრულებული მუშაობის ხარჯზე იზრდება. ორ მომდევნო დაჯახებას შორის ელექტრონის მიერ გავლილ მანძილს **თავისუფალი განარბენი** ეწოდება და მას λ ასოთი აღნიშნავენ. თუ ელექტროდებს შორის ელექტრული ველის დაძაბულობის მოდული E -ს ტოლია, მაშინ დაჯახებებს შორის ელექტრონის აჩქარებაზე ელექტრული ველის მიერ შესრულებული მუშაობა ტოლი იქნება: $A = eE\lambda$. სწორედ ამ მუშაობის ხარჯზე ხდება ელექტრონის კინეტიკური ენერგიის ზრდა. თუ მივიჩნევთ, რომ ელექტრონი თავისუფალ განარბენს საწყისი სიჩქარის გარეშე იწყებს, მაშინ მომდევნო დაჯახებამდე მის მიერ შექმნილი კინეტიკური ენერგია ტოლი იქნება:

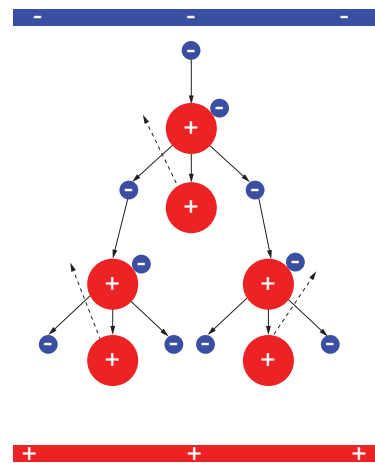
$$\frac{mv^2}{2} = eE\lambda \quad (1)$$

რაც უფრო დიდი იქნება ელექტროდებს შორის პოტენციალთა სხვაობა, მით მეტი იქნება ელექტრული ველის დაძაბულობა და შესაბამისად, ელექტრონის შექმნილი კინეტიკური ენერგიაც.

ნებისმიერი ატომის იონიზაციისათვის გარკვეული მუშაობის შესრულებაა საჭირო. სხვადასხვა ნივთიერების ატომისათვის ის განსხვავებულია. ატომის იონიზაციისთვის საჭიროა, რომ ელექტრულ ველში აჩქარებული ელექტრონის კინეტიკურმა ენერგიამ იონიზაციის მუშაობას გადააჭარბოს:

$$\frac{mv^2}{2} \geq A_0. \quad (2)$$

ამ შემთხვევაში ატომის მაგივრად მივიღებთ დადებით იონს და ერთ დამატებით ელექტრონს. ამრიგად, ერთი დამუხტული ნაწილაკის (ელექტრონის) მაგივრად გვექნება სამი დამუხტული ნაწილაკი: დადებითი იონი და ორი ელექტრონი. ელექტრული ველის მოქმედებით ამ ელექტრონების კინეტიკური ენერგიაც მოიმატებს და ისინი სხვა ატომების იონიზაციას მოახდენს და ა.შ. შედეგად, დამუხტული ნაწილაკების რაოდენობა მკვეთრად, ზვავისებურად გაიზრდება – მოხდება აირის გარღვევა (სურ. 159). აღწერილ პროცესს **დარტყმითი იონიზაცია** ეწოდება.



სურ. 159

აღსანიშნავია, რომ აირის ზვავისებრი განმუხტვის განხორციელებაში ელექტრონების და იონების წვლილი ერთნაირი არ არის – დარტყმით იონიზაციაში ელექტრონების წვლილი ძირითადია.

(1) ტოლობის გათვალისწინებით, (2) უტოლობა შემდეგ სახეს მიიღებს:

$$eE\lambda \geq A_0,$$

საიდანაც ჩანს, რომ თავისთავადი განმუხტვისათვის საჭიროა ელექტროდებს შორის ძაბვის ან თავისუფალი განარბენის გაზრდა. თავისუფალი განარბენი შეგვიძლია აირის გაუხშობით, ანუ აირის წნევის შემცირებით გავზარდოთ. ეს შესაძლებელია მინის მილიდან ჰაერის ამოტუმბვით.

დარტყმით იონიზაციას თავისთავადი განმუხტვის ხანგრძლივი შენარჩუნება არ შეუძლია. მართლაც, ყველა ელექტრონი მოძრაობს ანოდისაკენ და მასთან მისვლის შემდეგ განმუხტვაში აღარ მონაწილეობს. განმუხტვის არსებობისათვის საჭიროა ელექტრონების რაოდენობის შენარჩუნება, რაც ხორციელდება კათოდიდან მათი **ემი-**

სიით (ამოტყორცნით): დადებითი იონები, რომლებიც დარტყმითი იონიზაციის დროს წარმოიქმნა, კათოდისკენ მოძრაობისას ელექტროული ველის მოქმედებით დიდ კინეტიკურ ენერგიას იძენს. იონების კათოდთან დაჯახების შედეგად, მისი ზედაპირიდან ელექტრონები ამოიტყორცნება. კათოდიდან ელექტრონების ემისია შეიძლება გამოწვეულ იყოს იონების დაჯახების გამო კათოდის გაცხელებითაც. ამოგდებული ელექტრონები ელექტრულ ველში აჩქარდება და დამუხტული ნაწილაკების ახალ „ზვავებს“ იწვევს. ეს პროცესი შეიძლება უწყვეტად გაგრძელდეს.

იმის მიხედვით რა თვისებები აქვს აირს, რა მდგომარეობაში იმყოფება ის, როგორ არის განლაგებული ელექტროდები და რა ძაბვაა მათ შორის, აირებში წარმოიქმნება სხვადასხვა სახის თავისთავადი განმუხტვა: მღვივარი, რკალური, გვირგვინისებრი და ნაპერწკლური.

სწორედ **რკალური განმუხტვა** გამოიყენება ელექტროშედულებისას. ე.წ. „რკალის კრატერში“ ტემპერატურა 4000°C -ს აღწევს. რკალური განმუხტვის დროს საჭიროა კათოდის მუდმივი გახურება. როცა მისი ტემპერატურა გარკვეულ მნიშვნელობას მიაღწევს, კათოდიდან ელექტრონების ამოტყორცნა (თერმოელექტრონული ემისია) დაიწყება და წარმოიქმნება რკალი. თუ ნახშირის ორ ღეროს დენის წყაროს პოლუსებს მიუერთებთ და ერთმანეთს მივადებთ, ისინი საკმაოდ გაცხელდება. გაცხელებული ნახშირების ოდნავ დაშორებით მათ შორის იწყება თავისთავადი განმუხტვა და წარმოიქმნება ელექტროული რკალი, რომელიც



სურ. 160

კაშკაშა სინათლეს ასხივებს (სურ. 160). ამიტომ რკალური განმუხტვა შვიძლია აგრეთვე როგორც სინათლის მძლავრი წყარო გამოვიყენოთ. მეტალურგიაში ხშირად იყენებენ ელექტროლუმინებს, რომლებშიც ელექტროული რკალის სითბური ეფექტის დახმარებით ლითონებს ადნობენ.

ნაპერწკლური განმუხტვა მაშინ წარმოიქმნება, როცა ელექტროდებს შორის მაღალი ძაბვის გამო აირი დიელექტრიკული მდგომარეობიდან ნახტომისებურად ხდება გამტარი (სურ. 161ა). ნაპერწკლურ განმუხტვას იყენებენ ასაფეთქებელი სამუშაოების წარმოებისას, მაღალი ძაბვების გაზომვისას, სპექტროსკოპულ ანალიზში, მანქანის ძრავების ანთების სისტემაში და სხვა.



სურ. 161ა

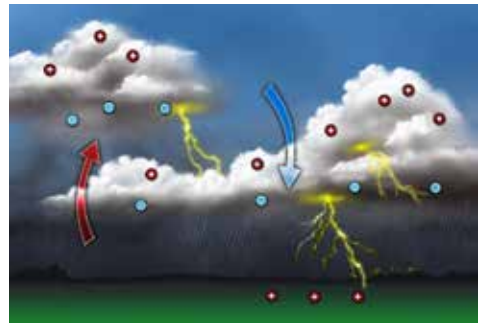
ყველაზე დიდ ნაპერწკლურ განმუხტვას წარმოადგენს **ელვა**, რომლის წარმოქმნის მიზეზი ღრუბლების დამუხტვაა: დედამიწის ზედაპირიდან ზემოთ მოძრავი წყლის ორთქლი ცივდება და წყლის წვეთები წარმოიქმნება. გარკვეულ სიმაღლეზე ეს წვეთები ერთდება, რაც დედამიწიდან ღრუბლის სახით ჩანს. ღრუბელს შესაძლოა წვეთები მიემატოს ან მო-

შორდეს. თუ ღრუბელს ემატება მეტი წვეთი, ვიდრე შორდება, მისი ზომა იზრდება. ვერტიკალური მიმართულებით ღრუბლის ზომა შეიძლება რამდენიმე კილომეტრს აღწევდეს, მისი ტემპერატურა კი 0°C -ზე ნაკლებიც იყოს. ამიტომ, წვეთები იყინება და ყინულის პატარა ნაწილაკები წარმოიქმნება. ისინი განუწყვეტლივ მოძრაობს, ერთმანეთს ეჯახება და იმუხტება – ზოგი დადებითად, ზოგი კი – უარყოფითად. დადებითად დამუხტულები ნაწილაკები უფრო მსუბუქია და ზემოთ ადის, უარყოფითად დამუხტულები კი უფრო მძიმეა და ღრუბლის ქვედა ნაწილში გროვდება (სურ. 161 ბ). ჭექა-ქუხილის გამომწვევი ღრუბლის ფორმირებას საკმაოდ დიდი დრო და ხელსაყრელი პირობები სჭირდება – ღრუბელი არ უნდა დაიშალოს მანამ, სანამ დაიმუხტება და დიდ მასას შეიძენს.

თუ ორი ასეთი ღრუბელი ისე მიუახლოვდება ერთმანეთს, რომ ერთის უარყოფითად დამუხტული ნაწილი, მეორეს დადებითად დამუხტული ნაწილის სიახლოვეს აღმოჩნდება, მათ შორის შექმნილ ელექტრულ ველში აჩქარებული ელექტრონები და იონები ჰაერის ფენის გარღვევას გამოიწვევს. ღრუბლების მუხტი იმდენად დიდია (10^8-10^9 კ),

რომ ჰაერის ფენა მათ ვერ აჩერებს. პირველადი ნაწილაკები ღრუბლებს შორის ქმნის არხს, რომელშიც დამუხტული ნაწილაკების ძალიან დიდი რაოდენობა იწყებს მოძრაობას – წარმოიქმნება ელვა. დენის ძალა ელვაში $10 \div 100$ კა-ს აღწევს.

ხშირად ელვა წარმოიქმნება ღრუბელსა და დედამიწას შორის, რასაც მეხის დაცემას ეძახიან. ამ დროს ღრუბლის უარყოფითი მუხტის გავლენით დედამიწის ზედაპირზე დადებითი მუხტი გროვდება. პოტენციალთა სხვაობამ ღრუბელსა და დედამიწის ზედაპირს შორის შეიძლება $10 \div 100$ მილიონ ვოლტს მიაღწიოს. ტემპერატურა ელვის შიგნით $20000 \div 30000^\circ\text{C}$ -ს აღწევს, რაც მნიშვნელოვნად აღემატება ტემპერატურას მზის ზედაპირზე.



სურ. 161ბ

მღვივარი განმუხტვის დამზერა შესაძლებელია პარაგრაფის დასაწყისში განხილული მინის მილის საშუალებით. როდესაც მილში აირის წნევა ატმოსფერული ტოლია, მასში დენი არ გადის, რადგანაც რამდენიმე ათასი ვოლტი დაბვაც კი აირის გარღვევისთვის საკმარისი არ არის. თუ მილიდან აირის ამოტუმბვას დავიწყებთ, წნევის გარკვეული მნიშვნელობისათვის მასში ელექტროდების შემაერთებელი წვრილი, მნათი ზონარი გაჩნდება. წნევის შემდგომი შემცირებისას, მნათი ზონარი ფართოვდება და მთელ მილს შეავსებს. ეს მღვივარი განმუხტვაა. მისი დაწყებისათვის თავიდან მაღალი დაბვაა საჭირო, შემდეგ კი ის აირის გარღვევის დაბვაზე ნაკლებ მნიშვნელობამდე შეიძლება შემცირდეს. მღვივარი განმუხტვისას სხვადასხვა აირს განსხვავებული ფერის ნათება აქვს (სურ. 162). განმუხტვის ეს სახე ფართოდ გამოიყენება განათებისათვის, რეკლამებში, ასევე, მცირე და საშუალო სიმძლავრის აირად ლაზერებში.



სურ. 162

როგორც იცით, დამუხტული გამტარის მუხტის ზედაპირული სიმკვრივე მით უფრო მეტია, რაც უფრო დიდია ზედაპირის სიმრუდე. წვეტზე მუხტის სიმკვრივე მაქსიმალურია, ამიტომ მის გარშემო ძლიერი ელექტრული ველი წარმოიქმნება. თუ მისი დაბაბულობა $3 \cdot 10^6$ ვ/მ მნიშვნელობას გადააჭარბებს, წვეტის გარშემო აირის თავისთავადი განმუხტვა ატმოსფერული წნევის დროსაც კი დაიწყება. ასეთი ნათება დაიმზირება მაღალი დაბვის ხაზების წანვეტებულ ნაწილებთან, ჭექა-ქუხილის დროს ხეებისა და გემების ანძის წვეროებთან (სურ. 163). იმის გამო, რომ ნათებას გვირგვინის ფორმა აქვს, მას **გვირგვინისებრ განმუხტვას** ეძახიან. მაღალი დაბვის ხაზებზე ასეთი განმუხტვის წარმოქმნა სერიოზულ ენერგეტიკულ დანაკარგებს იწვევს.

ლი დაბვის ხაზების წანვეტებულ ნაწილებთან, ჭექა-ქუხილის დროს ხეებისა და გემების ანძის წვეროებთან (სურ. 163). იმის გამო, რომ ნათებას გვირგვინის ფორმა აქვს, მას **გვირგვინისებრ განმუხტვას** ეძახიან. მაღალი დაბვის ხაზებზე ასეთი განმუხტვის წარმოქმნა სერიოზულ ენერგეტიკულ დანაკარგებს იწვევს.



სურ. 163

გვირგვინისებრი განმუხტვა გამოიყენება მტვრისაგან აირის გასუფთავებისათვის (ელექტროსტატიკური ფილტრი), ლითონის კონსტრუქციების დიაგნოსტიკისათვის (ბზარების აღმოჩენა), ასლგადამღებ მანქანებში, ლაზერულ პრინტერებში შუქმგრძნობიარე დოლურას დამუხტვა-განმუხტვისათვის და სხვა.

დასკვნები:

- აიროვან განმუხტვას, რომელიც მხოლოდ გარე იონიზატორის მოქმედების დროს მიმდინარეობს, არათავისთავადი განმუხტვა ეწოდება;
- განმუხტვას, რომელიც გარე იონიზატორის მოქმედების გარეშე მიმდინარეობს, თავისთავადი განმუხტვა ეწოდება;
- ატომის იონიზაციისთვის საჭიროა, რომ ელექტრონის კინეტიკურმა ენერგიამ იონიზაციის მუშაობას გადააჭარბოს: $\frac{mv^2}{2} \geq A_0$;
- თავისთავადი განმუხტვის სახეებია: მღვივარი, რკალური, გვირგვინისებური და ნაპერწკლური.

საკონტროლო კითხვები:

1. რას ეწოდება ელექტრონის თავისუფალი განარბენი?
2. აიროვანი განმუხტვისას როდის მიაღწევს ელექტრული დენი ნაჯერობას?
3. რაში მდგომარეობს დარტყმითი იონიზაციის პროცესი?
4. რას ეწოდება ელექტრონების ემისია?



ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

გამოთვალეთ არათავისთავადი განმუხტვის ნაჯერობის დენის ძალა ელექტრონულ მილში, თუ იონიზატორი ყოველ წამში ელექტროდებს შორის მოცულობის ყოველ 1 სმ³-ში ელექტრონისა და იონის $8 \cdot 10^7$ წყვილს ქმნის. თითოეული ელექტროდის ფართობი 50 სმ²-ია, მათ შორის მანძილი კი – 2 სმ.

ამოხსნა: რადგან მილში დენი ნაჯერია. ამიტომ ერთ წამში წარმოქმნილი ელექტრონების რაოდენობა იმავე დროში ელექტროდზე მისულ ელექტრონთა რაოდენობის ტოლია. $I = \frac{q}{t}$ ფორმულის თანახმად, ნაჯერობის დენის განსაზღვრისათვის საჭიროა ვიცოდეთ 1 წმ-ში ელექტროდზე მისული მუხტის სიდიდე. ფირფიტებს შორის არსებული სივრცის მოცულობა $V=2\text{სმ} \cdot 50\text{სმ}^2=100 \text{ სმ}^3$. ვინაიდან 1 სმ³ მოცულობაში 1 წმ-ში $8 \cdot 10^7$ ელექტრონი წარმოიქმნება, იმავე დროში 100 სმ³-ში წარმოქმნილ ელექტრონთა რიცხვი იქნება $N=100 \cdot 8 \cdot 10^7=8 \cdot 10^9$. ამ რაოდენობის ელექტრონები კი გადაიტანს მუხტს, რომლის მოდული ტოლია: $q=eN=1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 8 \cdot 10^9=1,28 \text{ (ნკ)}$. რადგან $t=1 \text{ წმ-ს}$, ამიტომ $I=1,28 \text{ ნა}$.

პასუსი: ნაჯერობის დენის ძალა ელექტრონულ მილში 1,28 ნა-ის ტოლია.



ამოხსენით ამოცანები:

1. დამუხტული ელექტრომეტრი დროთა განმავლობაში განიმუხტება. მართებულია თუ არა მტკიცება, რომ ჰაერი ნორმალურ პირობებში გამტარია? პასუხი დაასაბუთეთ.
2. ჰელიუმის ატომის იონიზაციის ენერგია $24,6$ ევ-ია. რა მინიმალური სიჩქარე უნდა ჰქონდეს ელექტრონს, რომ მან ჰელიუმის ატომის იონიზაცია შეძლოს?
3. აზოტის ატომის იონიზაციის ენერგია $14,5$ ევ-ია. რა მინიმალური სიჩქარე უნდა ჰქონდეს ელექტრონს, რომ მან აზოტის ატომის იონიზაცია შეძლოს?
4. ნორმალურ ატმოსფერულ პირობებში, ჰაერში აიროვანი განმუხტვა იწყება 125 კვ/მ დაძაბულობისას. რა ძაბვა უნდა იყოს მოდებული 5 სმ-ით დაშორებულ ორ პარალელურ ფირფიტას შორის, რომ აიროვანი განმუხტვა დაიწყოს?
5. ბრტყელი, ჰაერიანი კონდენსატორი მიერთებულია 5 კვ ძაბვის წყაროსთან. შემონაფენებს შორის რა მანძილისას გაირღვევა ჰაერი, თუ დარტყმითი იონიზაცია ჰაერში ველის $25 \cdot 10^4$ ვ/მ დაძაბულობისას იწყება?
6. ველის რა დაძაბულობისას დაიწყება თავისთავადი განმუხტვა ჟანგბადში, თუ მისი ატომების იონიზაციის ენერგია $13,6$ ევ-ია, თავისუფალი განარბენის სიგრძე კი – $3,2$ მკმ?
7. იმისათვის, რომ ელექტრონმა შეძლოს აირის მოლეკულის იონიზაცია, მისი კინეტიკური ენერგია არანაკლებ $24 \cdot 10^{-19}$ ჯ-სა უნდა იყოს. იპოვეთ მინიმალური პოტენციალთა სხვაობა, რომლის გავლის შემდეგ ელექტრონი ამ ენერგიას შეიძენს.
8. ელექტრონულ მილში გაიშვიათებული აზოტია. იპოვეთ ელექტრონის თავისუფალი განარბენი, რომლის დროსაც ის შეძლებს აზოტის ატომის იონიზაციას, თუ მილში ელექტრული ველის დაძაბულობა 30 კვ/მ-ია. აზოტის ატომის იონიზაციის ენერგია $14,1$ ევ-ის ტოლია.
9. რა მაქსიმალური მუხტი შეიძლება დავაგროვოთ 10 მკვ ტევადობის ბრტყელი, ჰაერიანი კონდენსატორის შემონაფენებზე, რომელთა შორის მანძილი $0,2$ სმ-ია, თუ ჰაერის დარტყმითი იონიზაცია $3 \cdot 10^6$ ვ/მ დაძაბულობისას იწყება?
- 10*. რა უდიდესი მუხტის მინიჭებაა შესაძლებელი აირში მოთავსებული 2 სმ რადიუსის იზოლირებული ლითონის ბურთულასათვის, თუ აირის დარტყმითი იონიზაცია $3 \cdot 10^6$ დაძაბულობისას იწყება?

§ 28 პლაზმა

მე-7 კლასის ფიზიკის კურსიდან უკვე იცით, რომ ნივთიერება შეიძლება იყოს ოთხ აგრეგატულ მდგომარეობაში: მყარ, თხევად, აირად და პლაზმურში. ბუნებრივად იბადება კითხვა, რომელი აგრეგატული მდგომარეობაა სამყაროში ყველაზე მეტად გავრცელებული?

საკმაოდ დაბალ ტემპერატურაზე ყველა ნივთიერება მყარ მდგომარეობაშია. ტემპერატურის მატებასთან ერთად, ნივთიერება მყარი მდგომარეობიდან გადადის თხევადში, შემდეგ კი აირად მდგომარეობაში. ტემპერატურის შემდგომი ზრდისას, აირის მოლეკულების ან ატომების კინეტიკური ენერჯია იმდენად მატულობს, რომ მათი დაჯახებების შედეგად აირის იონიზაცია იწყება – ნივთიერება ახალ, პლაზმურ მდგომარეობაში გადადის.

პლაზმა ნაწილობრივ ან მთლიანად იონიზებული აირია, რომელშიც დადებითი და უარყოფითი მუხტების სიმკვრივეები პრაქტიკულად ერთნაირია. პლაზმა მთლიანობაში ელექტრულად ნეიტრალური სისტემაა.

იონიზაციის ხარისხის (იონიზებული ატომების ან მოლეკულების კონცენტრაციის შეფარდება მათ საერთო კონცენტრაციასთან) მიხედვით პლაზმა იყოფა სუსტად იონიზებულ (პროცენტის ნაწილები), ნაწილობრივ იონიზებულ (რამდენიმე პროცენტი) და მთლიანად იონიზებულ (თითქმის 100%) პლაზმად. ბუნებრივ პირობებში სუსტად იონიზებული პლაზმაა ატმოსფეროს ზედა ფენები – იონოსფერო, მთლიანად იონიზებული პლაზმაა ცხელი ვარსკვლავები, მათ შორის მზეც, ზოგიერთი ვარსკვლავთშორისი ღრუბელი (სურ. 164).



სურ. 164

პლაზმის წარმოქმნა შეიძლება გამოიწვიოს არა მარტო აირის გაცხელებამ, არამედ სხვადასხვა გამოსხივებამ ან აირის ატომებზე სწრაფი დამუხტული ნაწილაკების დაჯახებამ. ამ შემთხვევაში მიიღება ე.წ. დაბალტემპერატურული პლაზმა. „ცივ პლაზმად“ ითვლება იონიზებული აირი, რომლის ტემპერატურა 10^5K -ს არ აღემატება, „ცხელ პლაზმად“ კი – $10^6\div 10^8\text{K}$ და მეტი ტემპერატურის.

პლაზმის დამუხტული ნაწილაკები ელექტრული ან მაგნიტური ველის ზეგავლენით ადვილად გადაადგილდება. ამიტომ, თუ პლაზმის რაიმე ნაწილში დამუხტული ნაწილაკების განაწილება შეიცვლება, ის სწრაფად განეიტრალდება. წარმოქმნილი ელექტრული ველი დამუხტულ ნაწილაკებს გადაადგილებს მანამ, სანამ ელექტრული ველი ნულს არ გაუტოლდება.

სხვა აგრეგატული მდგომარეობებისაგან განსხვავებით, პლაზმის ყოველი ნაწილაკი კულონური ძალებით ურთიერთქმედებს მის გარშემო მყოფ მრავალ ნაწილაკთან. ამის გამო, პლაზმის ნაწილაკები სითბურის გარდა, სხვადასხვა მონესრიგებულ მოძრაობაშიც მონაწილეობს. პლაზმის გამტარობა იზრდება მისი იონიზაციის ხარისხის მატებასთან ერთად. მაღალტემპერატურული პლაზმა გამტარებლობით ზეგამტარებს უახლოვდება.

სამყაროს დაახლოებით 99% პლაზმურ მდგომარეობაშია.

დედამიწასთან ახლოს პლაზმა არსებობს მზის ქარის სახით, რომელიც მის მაგნიტოსფეროს ავსებს, რითაც ქმნის დედამიწის რადიაციულ სარტყელებს და იონოსფეროს. სწორედ იქ მიმდინარე მოვლენებითაა გამოწვეული პოლარული ნათება (სურ. 165) და



სურ. 165

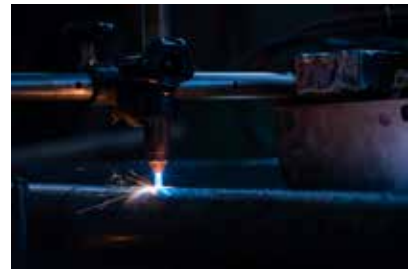
მაგნიტური ქარიშხლები. მაგნიტოსფერო და იონოსფერო დედამიწას კოსმოსური გამოსხივებისაგან იცავს.

პლაზმურ მდგომარეობაშია ვარსკვლავები, მათი ატმოსფერო, გალაქტიკური ნისლეულობები, ვარსკვლავთშორისი სივრცე. ამ უკანასკნელის სიმკვრივე და ტემპერატურა ვარსკვლავებისაგან განსხვავებით, ძალიან დაბალია.

ნებისმიერი აიროვანი განმუხტვის დროს წარმოიქმნება პლაზმა, ამიტომ ამ სახით პლაზმის გამოყენებაზე უკვე წინა პარაგრაფში ვისაუბრეთ.

მაგნიტოჰიდროდინამიკურ გენერატორებში, როგორც დენის წყაროში დაბალტემპერატურული პლაზმა გამოიყენება: პლაზმის ნაკადის მაგნიტურ ველში გატარებით, მასში შემავალი დამუხტული ნაწილაკები იონებად და ელექტრონებად განცალკევდება, რაც ელექტროდებზე პოტენციალთა სხვაობას ქმნის.

დაბალტემპერატურული პლაზმის მძლავრი ნაკადი გამოიყენება ხელსაწყოში, რომელსაც პლაზმატრონს უწოდებენ (სურ. 166). მისი საშუალებით აწარმოებენ ბურღვას, ლითონის ჭრას, შედუღებას და სხვა.



სურ. 166

მაღალტემპერატურული პლაზმის გამოყენებით მართვადი თერმობირთვული სინთეზის განხორციელება ენერჯის პრაქტიკულად უმრეტ წყაროს მოგვცემს, რაც კაცობრიობისათვის ძალიან დიდ ენერგეტიკულ პერსპექტივას წარმოადგენს.

დასკვნები:

- პლაზმა ნაწილობრივ ან მთლიანად იონიზებული აირია, რომელშიც დადებითი და უარყოფითი მუხტების სიმკვრივეები პრაქტიკულად ერთნაირია;
- პლაზმა მთლიანობაში ელექტრულად ნეიტრალური სისტემაა;
- იონიზაციის ხარისხის მიხედვით პლაზმა იყოფა სუსტად იონიზებულ, ნაწილობრივ იონიზებულ და მთლიანად იონიზებულ პლაზმად.

საკონტროლო კითხვები:

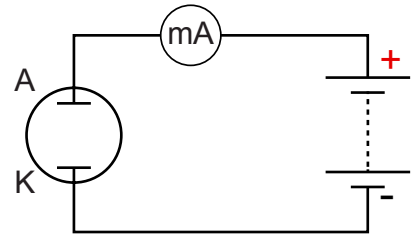
1. რას ეწოდება პლაზმის იონიზაციის ხარისხი?
2. როგორ მიიღება დაბალტემპერატურული პლაზმა?
3. რა ტემპერატურის პლაზმას უწოდებენ „ცივს“? „ცხელს“?

§ 29 ელექტრული დენი ვაკუუმში

ახლო წარსულში რადიოტექნიკაში და ტელევიზიაში ფართოდ გამოიყენებოდა ელექტრონული და ელექტრონულ-სხივური მილაკები. ამ მოწყობილობებში ელექტრონები ვაკუუმში მოძრაობს. როგორ მიიღება ელექტრონების ნაკადი ვაკუუმში?

ვაკუუმში ვგულისხმობთ აირის გაუხშობის ისეთ ხარისხს, როდესაც ნაწილაკები ჭურჭლის ერთი კედლიდან მეორე კედლამდე მოძრაობისას სხვა ნაწილაკებთან არ ურთიერთქმედებს, ანუ ნაწილაკის თავისუფალი განარბენი ჭურჭლის ზომებზე მეტია.

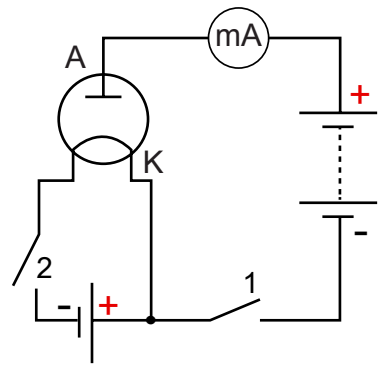
ვინაიდან ვაკუუმში ნაწილაკები ერთმანეთს არ ეჯახება, მასში თავისუფალი დამუხტული ნაწილაკები თითქმის არ არის და ამიტომ ვაკუუმში კარგი იზოლატორია. სურ. 167-ზე გამოსახულ სქემაში ჩართულია ვაკუუმური მილაკი, რომელშიც ჩამაგრებულია ორი ელექტროდი. მიუხედავად იმისა, რომ დენის წყარო ელექტროდებს შორის საკმაოდ მაღალ ძაბვას ქმნის, წრედში ჩართული მგრძნობიარე ამპერმეტრი (გალვანომეტრი) დენს არ აფიქსირებს.



სურ. 167

იმისათვის, რომ მილაკში ელექტრულმა დენმა გაიაროს, საჭიროა მასში თავისუფალი დამუხტული ნაწილაკები წარმოიქმნას. თქვენ უკვე იცით, რომ ელექტრონების წარმოქმნა სხვადასხვა სახის ემისიითაა შესაძლებელი – წინა პარაგრაფებში გაცანით იონურ-ელექტრონულ და თერმოელექტრონულ ემისიებს. ზოგიერთი ლითონის ზედაპირიდან ელექტრონების ამოტყორცნა შესაძლებელია აგრეთვე სინათლის დასხივებითაც. ამ მოვლენას ფოტოელექტრონული ემისია ეწოდება.

ვაკუუმში ელექტრული დენის მისაღებად ყველა სახის ელექტრონულ ემისიას გამოიყენებენ, მაგრამ უმრავლეს შემთხვევაში, თავისუფალ ელექტრონებს თერმოელექტრონული ემისიის საშუალებით იღებენ. მის გამოსაყენებლად, სურ. 167-ზე გამოსახულ სქემაში შევიტანოთ ცვლილება: კათოდს მაღალი დნობის ტემპერატურის მქონე ლითონი, მაგალითად, ვოლფრამი გამოვიყენოთ. კათოდის ორი ბოლო მილაკის გარეთ გამოვიყვანოთ და ჩამრთველი 2-ის საშუალებით დამატებით დენის წყარო 2-ს მივუერთოთ (სურ. 168). ჩამრთველი 2-ის ჩართვით ვოლფრამის კათოდი გახურდება. თუ შემდეგ ჩამრთველი 1-საც ჩავრთავთ, ამპერმეტრი წრედში დენის არსებობას დააფიქსირებს. ეს ნიშნავს, რომ მილაკში გაჩნდა მუხტის გადამტანები, ანუ კათოდიდან თერმოელექტრონული ემისია განხორციელდა.



სურ. 168

ამრიგად, ვაკუუმში ელექტრული დენი ელექტრონების მიმართულ მოძრაობას წარმოადგენს.

ვაკუუმურ მილაკში ელექტრონები მოძრაობისას წინააღმდეგობას არ აწყდება, ამიტომ ელექტრული ველის ზეგავლენით მათი სიჩქარე განუწყვეტლივ მატულობს. ელექტრონების სიჩქარე ანოდთან, პატარა სიმძლავრის მილაკებშიც კი, რამდენიმე ათასი კილომეტრია წამში.

სად შეიძლება გამოვიყენოთ ვაკუუმური მილაკები?

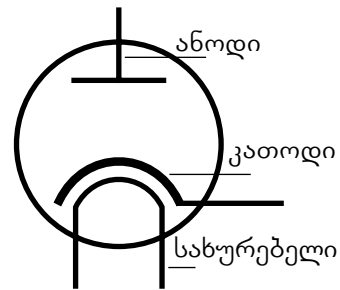
ვიდრე ამ კითხვას ვუპასუხებთ, ჯერ უმარტივესი ვაკუუმური მილაკის – დიოდის მუშაობის პრინციპი განვიხილოთ.

ცხადია, მილაკში კათოდს უმჯობესია გამოვიყენოთ ისეთი ნივთიერება, რომლისგანაც ელექტრონის ამოგდებაზე ნაკლები მუშაობის შესრულება იქნება საჭირო. ნორმალური ელექტრონული ემისიისთვის, მაგალითად ვოლფრამი ძალიან მაღალ 2000÷2500K ტემპერატურამდე უნდა გაცხელდეს, ამიტომ კათოდს ტუტე-მინა ლითონ-

ნების – ბარიუმის, სტრონციუმის, კალციუმის ოქსიდებით ფარავენ. ასეთი კათოდებიდან თერმოელექტრონული ემისია შედარებით დაბალ, 1000K ტემპერატურაზე ხორციელდება. ამასთან, არახელსაყრელია კათოდის გაცხელება მასში დენის გატარებით, ამიტომ კათოდს ცალკე სახურებლით – პატარა სპირალით აცხელებენ. ვაკუუმური დიოდები ნაჩვენებია სურ. 169-ზე, ხოლო მათი სქემატური აღნიშვნა სურ. 170-ზე.

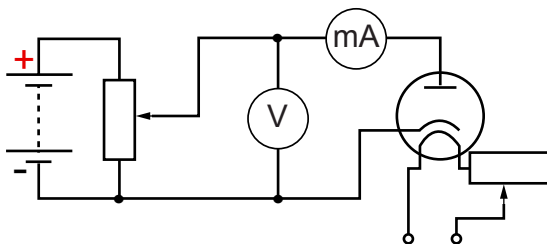


სურ. 169

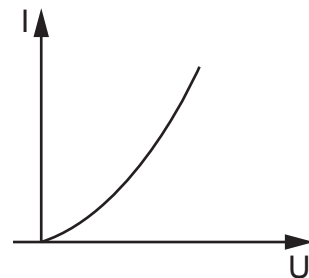


სურ. 170

შევისწავლოთ ვაკუუმური დიოდის ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი, რაც საშუალებას მოგვცემს დავადგინოთ მისი ძირითადი თვისებები. ვოლტ-ამპერული მახასიათებლის ასაგებად შეიძლება გამოყენებულ იქნას სურ. 171-ზე გამოსახული სქემა. ეს დამოკიდებულება არ არის წრფივი (სურ. 172), ანუ ლითონის გამტარებისგან განსხვავებით ვაკუუმური მილაკებისთვის არ სრულდება ომის კანონი. დავადგინოთ ამის მიზეზი.



სურ. 171



სურ. 172

ელექტრონების ამოფრქვევის შედეგად გახურებული კათოდი დადებითად იმუხტება, ამიტომ კათოდიდან ამოსული ელექტრონები მის მახლობლად რჩება და ე.წ. ელექტრონულ ღრუბელს ქმნის. კათოდსა და ელექტრონულ ღრუბელს შორის წარმოქმნილი ელექტრული ველი, აიძულებს ელექტრონების ნაწილს კათოდში დაბრუნდეს. მოცემულ ტემპერატურაზე კათოდისგან ერთ ნაწილში ამოსული ელექტრონების რიცხვი იმავე დროში კათოდში დაბრუნებულ ელექტრონების რიცხვს უტოლდება. რაც უფრო მაღალია კათოდის ტემპერატურა, მით მეტია ელექტრონული ღრუბლის სიმკვრივე.

თუ დიოდის ელექტროდებს ე.წ. **ანოდურ ძაბვას** მოვდებთ, ანუ ანოდს დადებითი პოტენციალის წერტილს მივუერთებთ, კათოდს კი – უარყოფითი პოტენციალის წერტილს, მაშინ ელექტროდებს შორის წარმოქმნილი ელექტრული ველის ზეგავლენით, ღრუბლის ელექტრონები კათოდისგან ანოდისაკენ დაიწყებენ მოძრაობას და **ანოდურ დენს** შექმნიან. ელექტრონული ღრუბლის არსებობის გამო ანოდური დენის ძალა ანოდური ძაბვის პროპორციული არ არის. ამის მიზეზია ის, რომ კათოდსა და ანოდს შორის ველის ყველა წერტილის პოტენციალი უფრო მცირეა, ვიდრე იქნებოდა ელექტრონული ღრუბლის გარეშე. ანოდური ძაბვის გადიდებით ელექტრონების კონცენ-

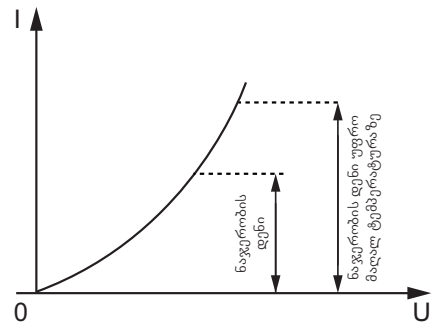
ტრაცია ღრუბელში მცირდება, ამიტომ მცირდება ღრუბლის ზეგავლენაც, იზრდება ველის ნერტილთა პოტენციალი და შესაბამისად, მათულობს ანოდური დენის ძალა.

თუ კათოდი ოქსიდის ფენით დაფარული არ იქნება, მაშინ ანოდური ძაბვის გარკვეული მაღალი მნიშვნელობისას კათოდიდან ამოფრქვეული ყველა ელექტრონი ანოდს მიაღწევს. ძაბვის შემდგომი მომატება დენის ძალის ზრდას აღარ გამოიწვევს, ანუ გვექნება ნაჯერობის დენი (სურ. 173-ზე ნყვეტილი ხაზი). კათოდის ტემპერატურის მომატებით ნაჯერი დენის სიდიდეც მოიმატებს.

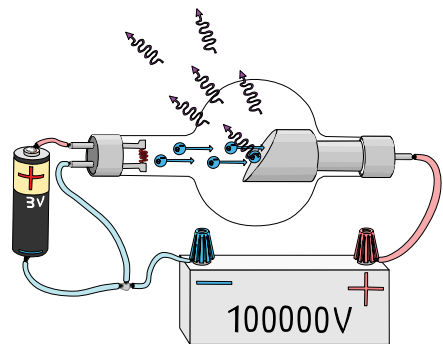
ოქსიდურ კათოდიან მილაკებში, ნაჯერობის დენი არ მიიღწევა, რადგან ეს იმდენად დიდ ძაბვას საჭიროებს, რომლის დროსაც კათოდი იშლება.

ვაკუუმური დიოდის მნიშვნელოვანი თვისებაა, რომ ის დენს ერთი მიმართულებით ატარებს: ელექტრონები გახურებული კათოდიდან ანოდისაკენ მოძრაობს, მათი სანინაალმდეგო მიმართულებებით მოძრაობა შეუძლებელია. ასეთი მონყობილობით შეიძლება ცვლადი დენის გამართვა, რასაც მომავალში ისწავლით.

ვაკუუმური მილაკები მედიცინაშიც გამოიყენება. მათი საშუალებით იღებენ რენტგენის გამოსხივებას (X სხივები). რენტგენის მილაკში (სურ. 174) ძალიან მაღალი ანოდური ძაბვით აჩქარებული ელექტრონები ანოდისაკენ მოძრაობისას დიდ კინეტიკურ ენერგიას იძენს. ანოდთან შეჯახებისას ისინი მკვეთრად მუხრუჭდება, რის შედეგადაც ელექტრონების კინეტიკური ენერგიის დიდი ნაწილი სითბურ ენერგიად გარდაიქმნება, ხოლო დანარჩენი – რენტგენის გამოსხივებად.



სურ. 173



სურ. 174

დასკვნები:

- ვაკუუმში ელექტრონული დენი ელექტრონების მიმართულ მოძრაობას წარმოადგენს;
- ელექტრონული ღრუბლის არსებობის გამო დიოდში ანოდური დენის ძალა ანოდური ძაბვის პროპორციული არ არის;
- ვაკუუმური დიოდი დენს ერთი მიმართულებით ატარებს.

საკონტროლო კითხვები:

1. რას უნოდებენ ვაკუუმს მილაკში?
2. რომელ ელექტრონულ ემისიას იყენებენ ვაკუუმურ მილაკში?
3. რატომ ფარავენ კათოდს ოქსიდური შრით?
4. რას უნოდებენ ელექტრონულ ღრუბელს?
5. რა შემთხვევაში მიიღება დიოდში ნაჯერობის დენი?
6. როგორ იღებენ რენტგენის სხივებს ელექტრონული მილაკით?



ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

განსაზღვრეთ ელექტრონის მოძრაობის საშუალო სიჩქარე ვაკუუმურ დიოდში კათოდიდან ანოდამდე მოძრაობისას, თუ მათ შორის მანძილია d , ხოლო ელექტრული ველის დაძაბულობის მოდული E -ს ტოლია. ელექტრონის სიჩქარე კათოდთან ნულის ტოლად მიიჩნით.

ამოხსნა: ელექტრონზე მოქმედებს ელექტრული ძალა $F_{ელ} = eE$, რომელიც კათოდიდან ანოდამდე ელექტრონის გადაადგილებისას ასრულებს $A_{ელ} = eEd$ მუშაობას. კინეტიკური ენერგიის შესახებ თეორემის თანახმად, ეს მუშაობა ელექტრონის კინეტიკური ენერგიის ცვლილების ტოლია: $eEd = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2}$. ვინაიდან $v_0=0$, გვექნება:

$$eEd = \frac{mv^2}{2}, \text{ საიდანაც } v^2 = \frac{2eEd}{m} \text{ და } v = \sqrt{\frac{2eEd}{m}}. \text{ როგორც იცით, თანაბარაჩქარებული}$$

$$\text{მოძრაობის საშუალო სიჩქარე } v_{საშ} = \frac{v+v_0}{2}. \text{ ჩვენს შემთხვევაში } v_{საშ} = \frac{v}{2} = \frac{1}{2}\sqrt{\frac{2eEd}{m}} = \sqrt{\frac{eEd}{2m}}.$$

პასუხი: ვაკუუმურ დიოდში ელექტრონის მოძრაობის საშუალო სიჩქარე $v_{საშ} = \sqrt{\frac{eEd}{2m}}$



ამოხსენით ამოცანები:

1. ვაკუუმურ დიოდში ანოდსა და კათოდს შორის დაბვა 450 ვ-ია, მათ შორის მანძილი კი 1 სმ. მიიჩნით, რომ დიოდში ელექტრული ველი ერთგვაროვანია და იპოვეთ ველის დაძაბულობის მოდული.

2. რა ძალით მოქმედებს ელექტრული ველი ელექტრონზე ვაკუუმურ დიოდში, თუ კათოდსა და ანოდს შორის მანძილი 5 მმ-ია, დაბვა მათ შორის კი – 250 ვ? მიიჩნით, რომ დიოდში ელექტრული ველი ერთგვაროვანია.

3. ვაკუუმურ დიოდში ელექტრონზე მოქმედი ელექტრული ძალა $16 \cdot 10^{-15}$ ნ-ია. იპოვეთ ანოდური დაბვა, თუ ანოდსა და კათოდს შორის მანძილი 1 სმ-ია. მიიჩნით, რომ დიოდში ელექტრული ველი ერთგვაროვანია.

4. იპოვეთ ვაკუუმურ დიოდში ელექტრონის გადაადგილებაზე ელექტრული ძალების მიერ შესრულებული მუშაობა, თუ ანოდური დაბვა 100 ვ-ია.

5. ვაკუუმურ დიოდში ელექტრული ძალების მიერ ელექტრონის გადაადგილებაზე შესრულებული მუშაობა 160 ევ-ია. იპოვეთ ანოდსა და კათოდს შორის ელექტრული ველის დაძაბულობა, თუ მათ შორის მანძილი 4 მმ-ია. მიიჩნით, რომ დიოდში ელექტრული ველი ერთგვაროვანია.

6. ვაკუუმურ დიოდში ანოდური დაბვა 600 ვ-ია. იპოვეთ ელექტრონის კინეტიკური ენერგია ანოდთან დაჯახებისას, თუ მისი სიჩქარე კათოდთან ნულის ტოლია.

7. რა სიჩქარით დაეჯახება ელექტრონი ვაკუუმურ დიოდში ანოდს, თუ კათოდსა და ანოდს შორის მანძილი და პოტენციალთა სხვაობა შესაბამისად 1,2 სმ და 2912 ვ-ია? კათოდთან ელექტრონის სიჩქარე ნულის ტოლად მიიჩნით.

8. რა იმპულსს შეიძენს ელექტრონი ვაკუუმურ დიოდში, თუ ანოდური დაბვა 2912 ვ-ის ტოლია? კათოდთან ელექტრონის სიჩქარე ნულის ტოლად მიიჩნით.

9. ვაკუუმურ დიოდში კათოდსა და ანოდს შორის დაბვა 200 ვ-ია. იპოვეთ 20 ნთ-ში კათოდიდან ანოდამდე ელექტრონების გადაადგილებაზე ელექტრული ძალების მიერ შესრულებული მუშაობა, თუ ყოველ ნამში კათოდიდან 1010 ელექტრონი ამოიტყორცნება. მიიჩნით, რომ დიოდში ანოდური დენი ნაჯერია.

10*. ვაკუუმურ დიოდში ანოდური დაბვა 2912 ვ-ია, კათოდსა და ანოდს შორის მანძილი კი – 8 მმ. რა დროში მიაღწევს ელექტრონი ანოდთან კათოდამდე, თუ მისი მოძრაობა თანაბარაჩქარებულია? კათოდთან ელექტრონის სიჩქარე ნულის ტოლად მიიჩნით.

§ 30 ნახევარგამტარები. საკუთარი გამტარებლობა

ბევრ თქვენგანს ალბათ ელიმება, როცა გასული საუკუნის საყოფაცხოვრებო ტექნიკას – ტელევიზორს, ფირსაკრავს, რადიოს, კომპიუტერს, მობილურ ტელეფონს ხედავს (სურ. 175).



სურ. 175

პირველი პროგრამირებადი კომპიუტერი „მარკ-1“ 1941 წელს ჰარვარდში შეიქმნა, მაგრამ მისი წარმოება 1944 წელს დაიწყო. უფანგავი ფოლადისაგან აწყობილი 2,5 მ სიმაღლისა და 17 მ სიგრძის კომპიუტერი, 4,5 ტონას იწონიდა. „მარკ-1“ მუშაობდა ელექტრომექანიკურ რელეებზე და დაახლოებით 765000 ნაწილისაგან შედგებოდა (სურ. 176).

როგორ მოხდა ისტორიულად ასეთ მოკლე პერიოდში ტექნიკის ნახტომისებრი გაუმჯობესება?

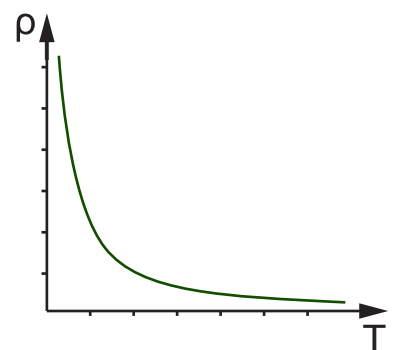
თქვენ უკვე იცით, რომ ელექტრული გამტარებლობის მიხედვით ნივთიერებები გამტარებად, ნახევარგამტარებად და იზოლატორებად იყოფა. გასული საუკუნის შუა პერიოდამდე, ნახევარგამტარულ ნივთიერებებს ყურადღებას არ აქცევდნენ, რადგან ისინი არ იყო ისეთი კარგი დიელექტრიკები, როგორებიც ფაიფური, ებონიტი, კვარცი ან ქარვია და არც ისეთი კარგი გამტარები, როგორებიც ლითონებია.



სურ. 176

ოთახის ტემპერატურაზე ნახევარგამტარების კუთრ წინააღობას შუალედური მნიშვნელობა აქვს ლითონების კუთრ წინააღობასა ($10^{-8} - 10^{-6}$ ომი · მ) და დიელექტრიკების კუთრ წინააღობას ($10^8 - 10^{13}$ ომი · მ) შორის.

ნახევარგამტარების გამტარობის ტემპერატურაზე დამოკიდებულების ანალიზისას ლითონებისგან მათი განსხვავება საკმაოდ თვალსაჩინოა. კვლევებმა აჩვენა, რომ რიგი ელემენტების (სილიციუმი, გერმანიუმი, სელენი, ინდიუმი, დარიშხანი და სხვა) და შენაერთების (PbS, CdS, GaAs და სხვა) კუთრი წინააღობა ლითონებისგან განსხვავებით ტემპერატურის ზრდისას კი არ იზრდება, არამედ საკმაოდ მკვეთრად მცირდება (სურ. 177). აბსოლუტურ ნულთან ახლოს, ნახევარგამტარების კუთრი წინააღობა საკმაოდ დიდია. ეს ნიშნავს, რომ დაბალ ტემპერატურებზე ის იქცევა, როგორც დიელექტრიკი, ხოლო მაღალ ტემპერატურებზე – როგორც გამტარი.

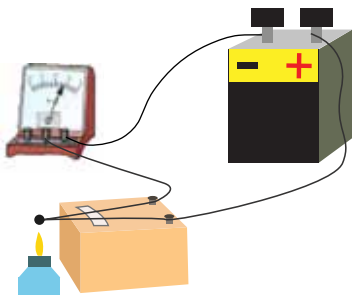


სურ. 177

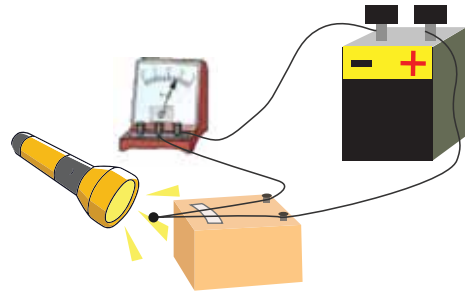


ჩავატაროთ ცდა. ავანყოთ წრედი, რომელიც შედგება დენის წყაროს, რაიმე ნახევარგამტარის და მილიამპერმეტრისაგან (სურ. 178). თუ ნახევარგამტარს თანდათან გავატობთ, დავინახავთ, რომ წრედში დენის ძალა მოიმატებს, ხოლო გაცივებისას (ყინულიან წყალში ჩაშვებისას) – შემცირდება. წრედში დენის ძალის მატება (შემცირება) გამოწვეულია იმით, რომ ტემპერატურის გაზრდისას (შემცირებისას) ნახევარგამტარის წინააღობა მცირდება (იზრდება).

ჩავატაროთ მსგავსი ცდა, რომელშიც ნახევარგამტარის ზედაპირის განათებულობა ვცვალოთ და მილიამპერმეტრის ჩვენების ცვლილებას დავაკვირდეთ (სურ. 179). დაკვირვებიდან დავასკვნით, რომ ნახევარგამტარის ზედაპირის განათებით მისი წინააღობა მცირდება. ამ მოვლენას **ფოტოგამტარობას** უწოდებენ.



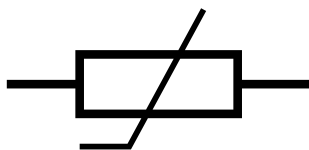
სურ. 178



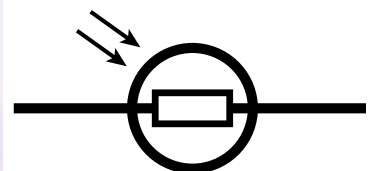
სურ. 179

იმ ნახევარგამტარული მასალისგან, რომლის კუთრი წინააღობა ტემპერატურის ცვლილებისას განსაკუთრებით მკვეთრად იცვლება, **თერმორეზისტორებს** ამზადებენ. მათ იყენებენ ტემპერატურის გასაზომად, აგრეთვე იმ ავტომატური მოწყობილობების მგრძნობიარე ელემენტებად, რომლებიც ტემპერატურის ცვლილებაზე რეაგირებს. თერმორეზისტორის სქემატური აღნიშვნა ნაჩვენებია სურ. 180-ზე.

იმ ნახევარგამტარული მასალისგან, რომლის კუთრი წინააღობა განათებულობის ცვლილებისას განსაკუთრებით მკვეთრად იცვლება, ამზადებენ **ფოტორეზისტორებს**. მათ განათებულობით წრედში დენის მართვისათვის იყენებენ. ფოტორეზისტორი და მისი სქემატური აღნიშვნა სურ. 181-ზეა ნაჩვენები.



სურ. 180

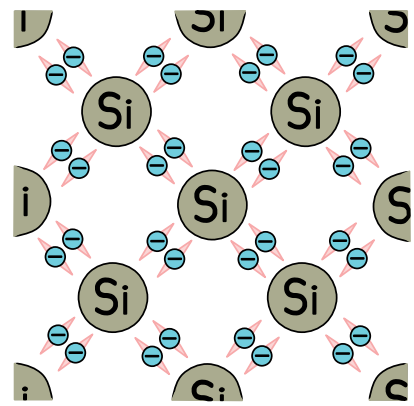


სურ. 181

ნახევარგამტარების თვისებების ასახსნელად, ჯერ მათში ელექტრული დენის ბუნება შევისწავლოთ. ექსპერიმენტულად დადგენილია, რომ ლითონების მსგავსად, ნახევარგამტარებში დენის გავლისას, ქიმიური ცვლილებები არ მიმდინარეობს, ანუ მუხტის გადატანას ნივთიერების გადატანა არ ახლავს.

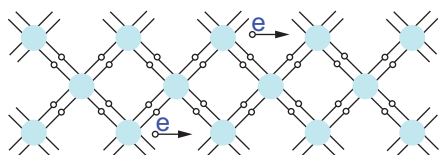
ნახევარგამტარს, რომელიც მინარევებს არ შეიცავს, სუფთა ნახევარგამტარი ეწოდება. სუფთა ნახევარგამტარების გამტარებლობის მექანიზმი სილიციუმის მაგალითზე განვიხილოთ. სილიციუმი ოთხვალენტიანი ელემენტია. ეს იმას ნიშნავს, რომ მისი ატომის გარე შრეზე ბირთვთან შედარებით სუსტად დაკავშირებული ოთხი ელექტრონია. ასევე ოთხია ყოველი ატომის უახლოესი მეზობელი ატომების რაოდენობაც. სილიციუმის კრისტალის სტრუქტურული სქემა გამოსახულია სურ. 182-ზე.

უახლოეს ატომებს შორის ურთიერთქმედება წყვილელექტრონული კავშირით, ანუ კოვალენტური ბმით ხორციელდება. ამ ბმის შექმნაში თითოეული ატომიდან თითო სავალენტო ელექტრონი მონაწილეობს. ელექტრონი დაცილდება ატომს, რომელსაც ის ეკუთვნის და მეზობელ ატომთან საზიარო ხდება. სწორედ ელექტრონების უარყოფითი მუხტი აკავებს ერთმანეთთან სილიციუმის დადებით იონებს. არ უნდა ვიფიქროთ, რომ ეს საზიარო წყვილი მხოლოდ ორ ატომს ეკუთვნის. ყოველი ატომი მეზობლებთან ოთხ კავშირს ადგენს და ნებისმიერ სავალენტო ელექტრონს შეუძლია რომელიმე მათგანის საზიარო გახედვს. მივა რა მეზობელ ატომთან, მას შეუძლია გადავიდეს შემდეგ ატომთან და ასე შემდეგ, მთელი კრისტალის გასწვრივ.



სურ. 182

დაბალ ტემპერატურაზე სილიციუმის კრისტალში წყვილელექტრონული კავშირი საკმაოდ ძლიერია და არ წყდება, ამიტომაც დაბალ ტემპერატურაზე სილიციუმი დენს არ ატარებს. გათბობისას ნაწილაკების კინეტიკური ენერჯია იზრდება და კავშირების ნაწილი წყდება. ზოგიერთი ელექტრონი ტოვებს თავის ადგილს და თავისუფალი ხდება. ასეთი ელექტრონები ელექტრულ ველში მესრის კვანძებს შორის მიმართულ მოძრაობას იწყებს, ანუ ქმნის ელექტრულ დენს (სურ. 183).



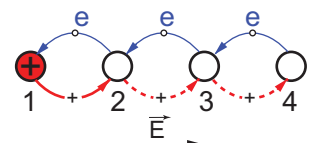
სურ. 183

ნახევარგამტარის გამტარებლობას, რომელიც განპირობებულია მასში თავისუფალი ელექტრონების არსებობით, ელექტრონული გამტარებლობა ეწოდება.

ტემპერატურის მომატებით განწყვეტილი კავშირების და შესაბამისად, თავისუფალი ელექტრონების რაოდენობაც იზრდება. 300K-დან 700K-მდე გაცხელებისას მუხტის გადამტანების კონცენტრაცია 10^{17}მ^{-3} -დან 10^{24}მ^{-3} -მდე იზრდება, რაც წინააღობის მნიშვნელოვან კლებას იწვევს.

ატომებს შორის კავშირის განწყვეტისას და თავისუფალი ელექტრონის წარმოქმნისას, ნახევარგამტარში, სადაც აკლია ელექტრონი, იქმნება ვაკანტური ადგილი, რომელსაც **ხვრელი** ეწოდება.

სუფთა ნახევარგამტარში ერთ თავისუფალ ელექტრონზე ერთი ხვრელი მოდის. კრისტალში ხვრელის მდებარეობაც არ არის უცვლელი: კოვალენტურ ბმაში მონაწილე რომელიმე ელექტრონი „გადახტება“ წარმოქმნილ ხვრელში და წყვილელექტრონულ კავშირს აღადგენს, ხოლო იქ, საიდანაც ელექტრონი „გადახტა“, გაჩნდება ახალი ხვრელი. ამგვარად გადაადგილდება ხვრელი მთელ კრისტალში.



სურ. 184

როდესაც კრისტალში ელექტრული ველის დაძაბულობა ნულის ტოლია, ხვრელის გადაადგილება ქაოსურია და ელექტრულ დენს არ წარმოქმნის. ელექტრული ველის არსებობისას კი როგორც თავისუფალი, ასევე ბმაში მონაწილე ელექტრონი ველის დაძაბულობის საწინააღმდეგო მიმართულებით ამოძრავდება. ბმაში მონაწილე ელექტრონის მოძრაობა ისე გამოიყურება, თითქოს ხვრელი ველის მიმართულებით მოძრაობს (სურ. 184). მაშასადამე, ნახევარგამტარში ელექტრული ველის არსებობის შემთხვევაში ხვრელი ისე გადაადგილდება, როგორც დადებითი მუხტის მქონე ნაწილაკი, ამიტომ მას დადებით მუხტს მიაწერენ.

ამრიგად, ნახევარგამტარებში არსებობს მუხტის გადამტანების ორი ტიპი: ელექტრონები და ხვრელები.

ნახევარგამტარის გამტარებლობას, რომელიც განპირობებულია ხვრელების მოძრაობით, ხვრელური გამტარებლობა ეწოდება.

სუფთა ნახევარგამტარების გამტარებლობას საკუთარ გამტარებლობას უწოდებენ.



გაეცანით სიმულაციას „სილიციუმის კრისტალური მესერი“:
<https://bit.ly/3CceS7N>

ვიდეორგოლი „ფოტორეზისტორის მუშაობის პრინციპი“:
<https://bit.ly/3SDkbTh>



დასკვნები:

- ოთახის ტემპერატურაზე ნახევარგამტარების კუთრ წინააღმდეგობას შუალედური მნიშვნელობა აქვს ლითონების კუთრ წინააღმდეგობასა ($10^{-8} - 10^{-6}$ ომი · მ) და დიელექტრიკების კუთრ წინააღმდეგობას ($10^8 - 10^{13}$ ომი · მ) შორის;
- ნახევარგამტარს დაბალ ტემპერატურებზე დიელექტრიკის ელექტრული თვისებები აქვს, მაღალ ტემპერატურებზე კი – გამტარის;
- ნახევარგამტარს, რომელიც მინარევებს არ შეიცავს, სუფთა ნახევარგამტარი ეწოდება;
- ნახევარგამტარის გამტარებლობას, რომელიც განპირობებულია მასში თავისუფალი ელექტრონების არსებობით, ელექტრონული გამტარებლობა ეწოდება;
- ნახევარგამტარის გამტარებლობას, რომელიც განპირობებულია ხვრელების მოძრაობით, ხვრელური გამტარებლობა ეწოდება;
- სუფთა ნახევარგამტარების გამტარებლობას საკუთარ გამტარებლობას უწოდებენ.

საკონტროლო კითხვები:

1. როგორი ნახევარგამტარული მასალისგან ამზადებენ თერმორეზისტორს?
2. რას უწოდებენ ფოტორეზისტორს?
3. რა არის კოვალენტური ბმა?
4. რას უწოდებენ ნახევარგამტარში ხვრელს?
5. როგორი თანაფარდობაა თავისუფალი ელექტრონებისა და ხვრელების რაოდენობას შორის სუფთა ნახევარგამტარებში?

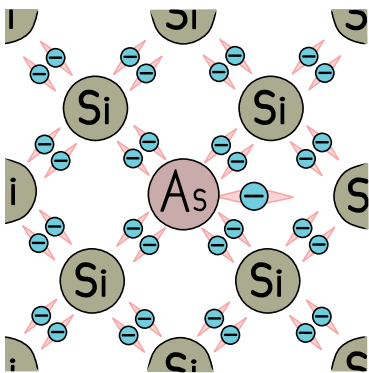
§ 31 მინარევული გამტარებლობა. p-n გადასასვლელი

წინა პარაგრაფიდან თქვენ იცით, რომ ნახევარგამტარის წინააღობის ცვლილება მისი ტემპერატურისა ან განათებულობის ცვლილებით შეიძლება. არსებობს ნახევარგამტარების გამტარებლობის შეცვლის კიდევ ერთი გზა. განვიხილოთ ის.

სუფთა ნახევარგამტარში ელექტრონული და ხვრელური გამტარებლობა ერთნაირია და დიდი არ არის. ნახევარგამტარების გამტარებლობა შეიძლება შევცვალოთ და საგრძნობლად გავზარდოთ, მასში მინარევების ჩანერგვით. ამ შემთხვევაში საკუთარ გამტარებლობასთან ერთად წარმოიქმნება დამატებითი – მინარევული გამტარებლობა.

ნახევარგამტარების გამტარებლობას, რომელიც განპირობებულია მათ კრისტალურ მესერში მინარევების (სხვა ქიმიური ელემენტების) ატომების ჩანერგვით, მინარევული გამტარებლობა ეწოდება.

დავუშვათ სილიციუმის კრისტალში არის დარიშხანის (As) მინარევი, რომლის ატომებს კრისტალურ მესერში სილიციუმის ზოგიერთი ატომის ადგილი უკავია. დარიშხანის ხუთვალენტიანი ატომი სილიციუმის ოთხ ატომთან კოვალენტურ კავშირს ამყარებს, ამიტომ მისი მეხუთე ელექტრონი კავშირის გარეშე რჩება (სურ. 185).



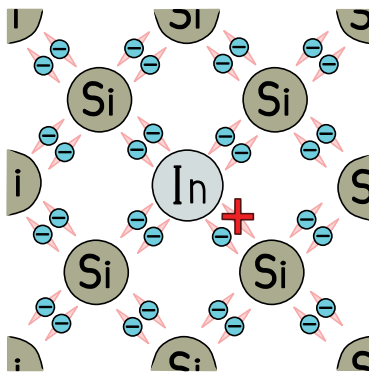
სურ. 185

ასეთ კრისტალში, ელექტრონი უფრო ძლიერადაა დაკავშირებული სილიციუმის ატომთან, ვიდრე მეხუთე სავალენტო ელექტრონი – დარიშხანის ატომთან. ამიტომ, ოთახის ტემპერატურაზე დარიშხანის ატომების უმეტესობა კარგავს ერთ ელექტრონს და დარიშხანის დადებით იონებად გადაიქცევა. დარიშხანის დადებით იონთან ჩნდება ელექტრონის „ვაკანტური“ ადგილი, მაგრამ ის სილიციუმის მეზობელი ატომებისაგან ამ დანაკლისს ვერ იგებს. დამატებითი ხვრელები არ გაჩნდება.

ნახევარგამტარის მინარევებს, რომლებიც გაცემს ელექტრონებს, იგივე რაოდენობის ხვრელების წარმოქმნის გარეშე, დონორული (ლათ. donare – გამცემი) მინარევები ეწოდება.

სილიციუმის კრისტალში, მთელი ნაწილაკების რაოდენობის ერთი ათმემილიონედი ნაწილის ტოლი დარიშხანის ატომების ჩანერგვით, თავისუფალი ელექტრონების კონცენტრაცია 10^{16} სმ⁻³-ის ტოლი გახდება. ეს სუფთა ნახევარგამტარში თავისუფალი ელექტრონების რაოდენობაზე ათასჯერ მეტია.

ნახევარგამტარულ კრისტალში, რომელიც დონორულ მინარევს შეიცავს, ელექტრონები წარმოადგენს ძირითად, მაგრამ არა ერთადერთ მუხტის გადამტანებს – კრისტალის საკუთარი ატომების მცირე ნაწილი იონიზებულია და შესაბამისად ხვრელების მცირე რაოდენობაც არის.



სურ. 186

ნახევარგამტარებს, რომლებშიც დონორული მინარევებია და ამიტომ მათში თავისუფალი ელექტრონების დიდი რაოდენობაა (ხვრელების რაოდენობასთან შედარებით), n-ტიპის ნახევარგამტარები ეწოდება (ლათ. negativus-უარყოფითისგან).

ახლა დავუშვათ, რომ სილიციუმის კრისტალში ჩანერგეთ ნაკლები ვალენტობის მქონე ელემენტი, მაგალითად, სამვალენტიანი ინდიუმი (In). ინდიუმის ატომს მხოლოდ სამ მეზობელ სილიციუმის ატომთან შეუძლია კავშირის დამყარება. მეოთხე ატომთან კავშირი დაუსრულებელი იქნება (სურ. 186). მისი დასრულებისათვის ინდიუმი წაართმევს ელექტრონს სილიციუმის მეზობელ

ატომს და გადაიქცევა უმოძრაო უარყოფით იონად. შედეგად კი, სილიციუმის ატომთან ელექტრონის ვაკანსია – ხვრელი გაჩნდება.

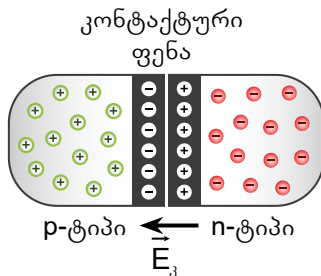
ნახევარგამტარის მინარევებს, რომლებიც ელექტრონების მიტაცებით ზრდის ხვრელების კონცენტრაციას, გამტარობის ელექტრონების რაოდენობის ზრდის გარეშე, აქცეპტორული (ლათ. acceptor – მიმღები) მინარევები ეწოდება.

ნახევარგამტარულ კრისტალში, რომელიც აქცეპტორულ მინარევებს შეიცავს, მუხტის ძირითადი გადამტანები ხვრელებია, ხოლო არაძირითადი – ელექტრონები.

ნახევარგამტარებს, რომლებშიც ხვრელების კონცენტრაცია თავისუფალი ელექტრონების კონცენტრაციას აღემატება, p-ტიპის ნახევარგამტარები ეწოდება (ლათ. positivus – დადებითი).

მინარევების კონცენტრაციის ცვლილებით შესაძლებელია მნიშვნელოვნად შეიცვალოს ამა თუ იმ ნიშნის მუხტის გადამტანების რაოდენობა.

როგორ შეიძლება სხვადასხვა ტიპის ნახევარგამტარების გამოყენება?



სურ. 187

n და p-ტიპის ნახევარგამტარების კონტაქტის დროს საინტერესო მოვლენებს აქვს ადგილი. განვიხილოთ რა მოხდება სხვადასხვა ტიპის მინარევის მქონე, მაგრამ ერთი და იგივე ნახევარგამტარების კონტაქტისას (სურ. 187). ვთქვათ მარცხენა ნახევარგამტარი p- ტიპისაა, ხოლო მარჯვენა – n- ტიპის.

p და n- ტიპის ნახევარგამტარების კონტაქტს, p-n ან n-p გადასასვლელს უწოდებენ.

n-ტიპის ნახევარგამტარში ბევრი თავისუფალი ელექტრონია, ხოლო p-ტიპის ნახევარგამტარში მათი რაოდენობა

ძალიან მცირეა, სამაგიეროდ მასში ბევრი ხვრელია, ანუ ბევრი ვაკანტური ადგილია ელექტრონებისათვის. როგორც კი ნახევარგამტარების კონტაქტი მოხდება, დაიწყება ელექტრონების დიფუზია n-ტიპის გამტარებლობის უბნიდან p-ტიპის გამტარებლობის უბანში და შესაბამისად, ხვრელების გადასვლა საწინააღმდეგო მიმართულებით. p-ტიპის ნახევარგამტარში გადასული ელექტრონები ვაკანტურ ადგილებს იკავებს, ანუ ელექტრონები და ხვრელები რეკომბინირებს. n-ტიპის ნახევარგამტარში მოხვედრილი ხვრელები კი სწრაფად ქრება, ვინაიდან ელექტრონები ვაკანტურ ადგილებს იკავებს. ამრიგად, სხვადასხვა ტიპის ნახევარგამტარების კონტაქტის მახლობლად წარმოიქმნება ფენა, რომელშიც მუხტის გადამტანების სიმცირეა. მას კონტაქტურ ფენას უწოდებენ. კონტაქტამდე, ორივე ნახევარგამტარი ელექტრულად ნეიტრალური იყო, ამიტომ აღწერილი პროცესის შედეგად, n-ტიპის ნახევარგამტარი იმუხტება დადებითად, ხოლო p-ტიპისა – უარყოფითად. კონტაქტის ზონაში წარმოიქმნება ელექტრული ველი E_j დაძაბულობით, რომელიც ელექტრონებისა და ხვრელების შემდგომ დიფუზიას ხელს შეუშლის, ანუ გაჩნდება ჩამკეტი ძაბვა, რომელიც მაგალითად სილიციუმის p-n გადასასვლელისთვის 0,6 ვ-ის ტოლია.

კონტაქტში მყოფი ნახევარგამტარების მთლიანი წინალობა შედგება n-ტიპის ნახევარგამტარის, p-n გადასასვლელისა და p-ტიპის ნახევარგამტარის წინალობათა ჯამისაგან: $R = R_n + R_{pn} + R_p$. რადგან n და p-ტიპის უბნებში მუხტის გადამტანების (ელექტრონების და ხვრელების) რაოდენობა დიდია, მათი წინალობები მცირეა და ამიტომ ჯამური წინალობა ძირითადად p-n გადასასვლელის წინალობით განისაზღვრება: $R \approx R_{pn}$.

ჩავრთოთ ნახევარგამტარი p-n გადასასვლელით ელექტრულ წრედში ისე, რომ p-ტიპის ნახევარგამტარის პოტენციალი იყოს დადებითი, ხოლო n-ტიპისა – უარყოფითი. ამ შემთხვევაში გარე ველი მიმართული იქნება კონტაქტური ველის საწინააღმდეგოდ. ჯამური ველის დაძაბულობის მოდული ტოლი იქნება $E = |E_j - E_{გარე}|$ რადგანაც ველი, რომელიც აკავებდა დენის გადამტანებს, მცირდება, ელექტრონები მის გადალახვას შეძლებს.

ამრიგად, $p-n$ გადასასვლელში გაივლის დენი, რომელიც იქმნება მუხტის ძირითადი გადამტანებით: n -ტიპის უბნიდან p -ტიპის უბანში ელექტრონებით, ხოლო p -ტიპის უბნიდან n -ტიპის უბანში – ხვრელებით. ამ შემთხვევაში $p-n$ გადასასვლელს **პირდაპირს** უწოდებენ.

პირდაპირი გადასასვლელის კონტაქტური ფენა თხელია, მისი წინაღობა მცირეა, გადასასვლელზე მოდებული ძაბვის გაზრდით ის უფრო მცირდება და შესაბამისად, იზრდება დენის ძალა.

შევცვალოთ დენის წყაროს პოლარობა. ამ შემთხვევაში გარე და კონტაქტური ელექტრული ველის დაძაბულობის მიმართულებები ერთმანეთს ემთხვევა. ჯამური დაძაბულობის მოდული ტოლი იქნება $E = E_p + E_{გარე}$. გარე ველი ელექტრონებსა და ხვრელებს კონტაქტური ფენიდან აშორებს, რის შედეგადაც ის ფართოვდება და ელექტრონებს ამ ფენის გადასალახად ენერგია აღარ ყოფნით.

მაშასადამე, $p-n$ გადასასვლელში გაივლის ძალიან მცირე დენი, რომელიც იქმნება მუხტის არაძირითადი გადამტანებით: n -ტიპის უბნიდან p -ტიპის უბანში ხვრელებით, ხოლო p -ტიპის უბნიდან n -ტიპის უბანში – ელექტრონებით. ამ შემთხვევაში $p-n$ გადასასვლელს **არაპირდაპირს** უწოდებენ.

არაპირდაპირი გადასასვლელის კონტაქტური ფენის წინაღობა ძალიან დიდია, წარმოიქმნება ფართო ჩამკეტი ფენა, რომელშიც დენი არ გადის.

ამრიგად, **$p-n$ გადასასვლელი დენს მხოლოდ ერთი მიმართულებით ატარებს.** სწორედ ამ თვისებაზეა დაფუძნებული ძირითადი ნახევარგამტარული ხელსაწყოების მუშაობის პრინციპი. ორ მათგანს შემდეგ პარაგრაფში გავეცნობით.

დასკვნები:

- ნახევარგამტარების გამტარებლობას, რომელიც განპირობებულია მათ კრისტალურ მესერში მინარევების (სხვა ქიმიური ელემენტების) ატომების ჩანერგვით, მინარევული გამტარებლობა ეწოდება;
- ნახევარგამტარის მინარევებს, რომლებიც გასცემს ელექტრონებს, იგივე რაოდენობის ხვრელების წარმოქმნის გარეშე, დონორული მინარევები ეწოდება;
- ნახევარგამტარებს, რომლებშიც ხვრელების რაოდენობასთან შედარებით, თავისუფალი ელექტრონების დიდი რაოდენობაა n -ტიპის ნახევარგამტარები ეწოდება;
- ნახევარგამტარის მინარევებს, რომლებიც ელექტრონების მიტაცებით ზრდის ხვრელების კონცენტრაციას, გამტარობის ელექტრონების რაოდენობის ზრდის გარეშე, აქცეპტორული მინარევები ეწოდება;
- ნახევარგამტარებს, რომლებშიც ხვრელების კონცენტრაცია თავისუფალი ელექტრონების კონცენტრაციას აღემატება, p -ტიპის ნახევარგამტარები ეწოდება;
- $p-n$ გადასასვლელი დენს მხოლოდ ერთი მიმართულებით ატარებს.

საკონტროლო კითხვები:

1. რა არის მუხტის ძირითადი გადამტანები n -ტიპის ნახევარგამტარში? p -ტიპის ნახევარგამტარში?
2. რას უწოდებენ $p-n$ გადასასვლელს?
3. რომელ შემთხვევაში უწოდებენ $p-n$ გადასასვლელს პირდაპირს?
4. რომელ შემთხვევაში უწოდებენ $p-n$ გადასასვლელს არაპირდაპირს?

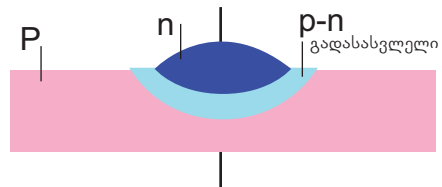
§ 32 ნახევარგამტარული დიოდი. ტრანზისტორი

ვაკუუმური დიოდის შესწავლისას, ნახეთ რომ ეს მოწყობილობა დენს მხოლოდ ერთი მიმართულებით ატარებს. როგორც წინა პარაგრაფიდან იცით, იგივე თვისება **p-n** გადასასვლელსაც ახასიათებს, ამიტომ მას ნახევარგამტარული დიოდის დასამზადებლად იყენებენ (სურ. 188). ამ მოწყობილობას სელენის, გერმანიუმის, სილიციუმის და სხვა ნახევარგამტარული ნივთიერებებისაგან ამზადებენ.

განვიხილოთ, როგორ იქმნება **p-n** გადასასვლელი. მისი სისქე ატომთაშორისი მანძილის თანრიგის უნდა იყოს, ამიტომ ის **p** და **n**-ტიპის ნახევარგამტარების მექანიკური კონტაქტით არ მიიღება. ამ მიზნით, რომელიმე სუფთა ნახევარგამტარის, მაგალითად გერმანიუმის (4 ვალენტიანია) ნიმუშში ჩაადნობენ ინდიუმს. მიღებულ **p**-ტიპის ნახევარგამტარს მაღალ ტემპერატურამდე აცხელებენ და შემდეგ მასზე **n**-ტიპის მინარევის, მაგალითად დარიშხანის ორთქლს დალექავენ. დიფუზიის შედეგად **n**-ტიპის მინარევი ჩაინერგება კრისტალში და მის ზედაპირზე ელექტრონული გამტარებლობის არე გაჩნდება (სურ. 189).



სურ. 188



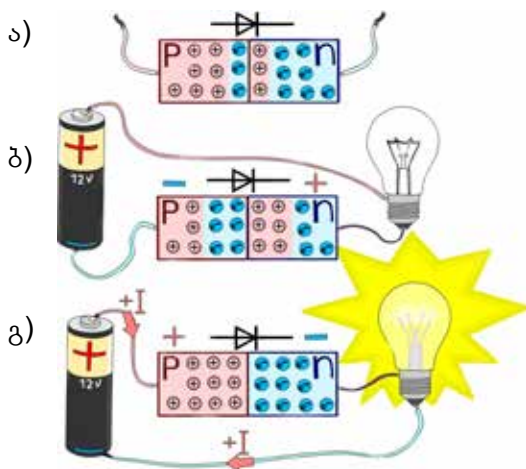
სურ. 189

გარემოს ზემოქმედებისაგან დასაცავად მიღებულ კრისტალს ლითონის ჰერმეტიკულ კორპუსში ათავსებენ.

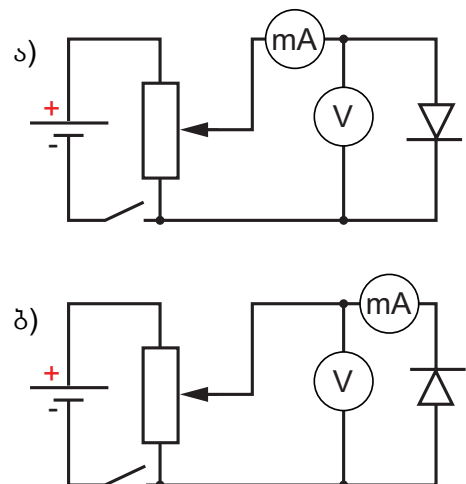
სურ. 190 ა-ზე მოცემულია **p-n** გადასასვლელი და მისი შესაბამისი დიოდის სქემატური აღნიშვნა. სურ. 190 ბ-ზე და 190 გ-ზე კი, შესაბამისად მისი არაპირდაპირი და პირდაპირი ჩართვის შემთხვევები.

დიოდის გამოყენებისას ყურადღება უნდა მიექცეს ძაბვისა და ტემპერატურის რა დიაპაზონზე და დენის ძალის რა მაქსიმალურ მნიშვნელობაზე არის ის გათვალისწინებული.

განვიხილოთ ნახევარგამტარული დიოდის ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი. მისი აგებისთვის პირდაპირი ჩართვის შემთხვევაში გამოყენებულ უნდა იქნას სურ. 191 ა-ზე, არაპირდაპირი ჩართვისას კი – სურ. 191 ბ-ზე ნაჩვენები სქემა.

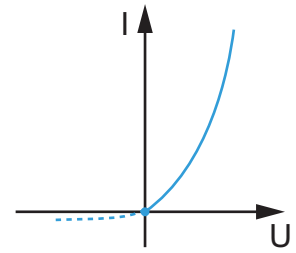


სურ. 190



სურ. 191

სურ. 192-ზე გამოსახული ვოლტ-ამპერული მახასიათებელიდან ჩანს, რომ პირდაპირი ჩართვის დროს ძაბვის ზრდისას დენის ძალა ძალიან სწრაფად იზრდება (უწყვეტი ხაზი). არაპირდაპირი ჩართვისას დენის ძალა ძალიან მცირეა და ძაბვის ზრდისას პრაქტიკულად არ იცვლება (პუნქტირი ხაზი). როგორც გრაფიკიდან ჩანს, დენის ძალასა და ძაბვას შორის დამოკიდებულება წრფივი არ არის, ანუ დიოდისათვის ომის კანონი არ სრულდება – ძაბვის ცვლილებით მისი წინააღობაც იცვლება.

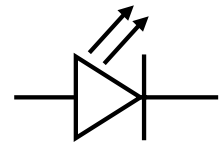


სურ. 192

ნახევარგამტარული დიოდი კომპაქტურია, საიმედოა და ექსპლუატაციის დიდი ვადით გამოირჩევა, ამიტომ მან თითქმის მთლიანად ჩაანაცვლა ვაკუუმური დიოდი. ნახევარგამტარული დიოდების გამოყენების სპექტრი ძალიან ფართოა: დაწყებული საყოფაცხოვრებო ტექნიკით (სუსტი დენები), დამთავრებული ელექტროტრანსპორტის კვების ქვესადგურებით (ძლიერი დენები), სადაც ცვლადი დენის გამართვისათვის გამოიყენება.

თუ სელენის, სილიციუმის ან რაიმე სხვა ნახევარგამტარულ დიოდში გარე ელექტროდს იმდენად თხელს დავამზადებთ, რომ სინათლეს ატარებდეს, მაშინ დიოდის განათებით მასში ემძ აღიძვრება. ე.ი. დიოდი გადაიქცევა ელექტრული დენის წყაროდ, რომელშიც სინათლის ენერგია ელექტრულ ენერგიად გარდაიქმნება. ასეთი დიოდებით აწყობენ მზის ბატარეებს, რომლებსაც საკმაო დიდი სიმძლავრის გამოიმუშავება შეუძლია.

სხვადასხვა ნახევარგამტარული მასალა, p-n გადასასვლელზე ელექტრონებისა და ხვრელების რეკომბინაციის დროს, განსხვავებულ ფერებში ნათებას იძლევა. ასეთ დიოდებს **შუქდიოდებს** უწოდებენ. მათი სქემატური აღნიშვნა ნაჩვენებია სურ. 193-ზე.



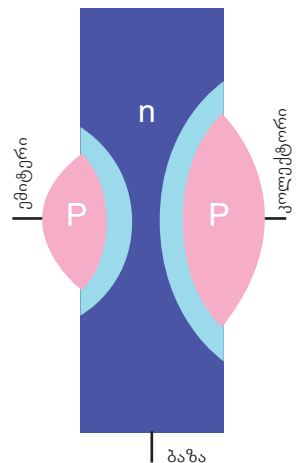
სურ. 193



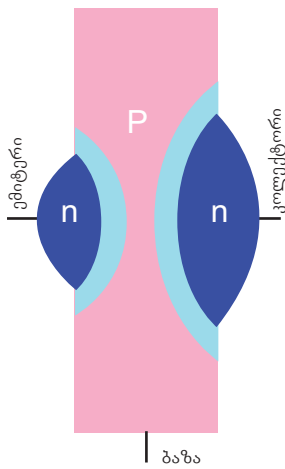
სურ. 194

დღესდღეობით შუქდიოდები (სურ. 194) გამოიყენება ყველგან, სადაც რაიმეს განათებაა საჭირო. ეკონომიურობის, დაბალი ძაბვის, ექსპლუატაციის დიდი ვადის და სხვა მიზეზების გამო, შუქდიოდები თანდათანობით სინათლის ტრადიციულ წყაროებს ჩაანაცვლებს.

განვიხილოთ კიდევ ერთი ნახევარგამტარული მონოკობილობა – **ტრანზისტორი**. ტრანზისტორისა და ნახევარგამტარული დიოდის დამზადების ტექნოლოგიები ერთმანეთს ძალიან ჰგავს. მის დასამზადებლად იყენებენ ნახევარგამტარული ნივთიერების, მაგალითად, გერმანიუმის ან სილიციუმის ძალიან თხელ (დაახლოებით 100 მკმ სისქის), $2 \div 4$ მმ² ფართობის ფირფიტას, რომელშიც დონორული მინარეგია შეყვანილი. ფირფიტის ორივე მხარეს დაიტანენ აქცეპტორული ნივთიერების (მაგ. ინდიუმის) ძალიან თხელ ფენას. გახურების შემდეგ, ფირფიტის თითოეულ გვერდზე გაჩნდება არე, რომელიც დნობის შედეგად გერმანიუმში ან სილიციუმში შეღწეულ ინდიუმს შეიცავს. ორივე არე გადაიქცევა p-ტიპის ნახევარგამტარად და ძირითად კრისტალთან ურთიერთშეხების საზღვარზე შეიქმნება ორი p-n გადასასვლელი, რომელთა პირდაპირ გადასვლებს ურთიერთსაპირისპირო მიმართულება აქვს. კრისტალის შუა ნაწილს ტრანზისტორის **ბაზას** უწოდებენ, ხოლო ორ განაპირა არეს – **ემიტერსა** და **კოლექტორს**. მიღებულ მონოკობილობას p-n-p ტრანზისტორი ეწოდება (სურ. 195).



სურ. 195



სურ. 196

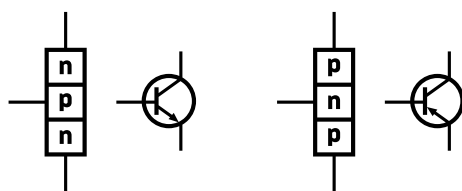
შეიძლება შეიქმნას $n-p-n$ ტრანზისტორი, ოღონდ ამ შემთხვევაში ბაზა აქცეპტორული მინარევით უნდა იყოს გამდიდრებული, ხოლო კოლექტორი და ემიტერი – დონორული მინარევით (სურ. 196).

კოლექტორი და ემიტერი ერთმანეთისაგან მხოლოდ ზომით განსხვავდება – კოლექტორის დიამეტრი დაახლოებით ორჯერ მეტია ემიტერის დიამეტრზე.

$n-p-n$ და $p-n-p$ ტრანზისტორების სქემატური აღნიშვნები სურ. 197-ზეა მოცემული. ისრიანი ელექტროდი ემიტერია.

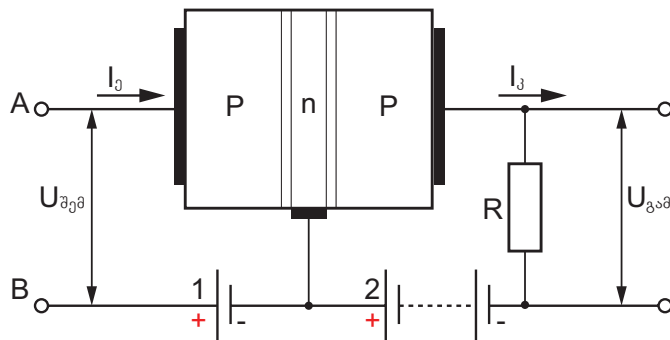
ტრანზისტორები გამოიყენება ელექტრული რხევების გენერირებისა და გაძლიერებისათვის (ამ საკითხებს შემდგომში შეისწავლით). ამ მიზნით საჭიროა ტრანზისტორში ელექტრული სიგნალი შევიდეს და იქიდან გაძლიერებული გამოვიდეს. შემავალ და გამომავალ სიგნალებს ორ-ორი ელექტროდი სჭირდება. რადგან ტრანზისტორს მხოლოდ სამი ელექტრო-

დი აქვს, ამიტომ რომელიმე მათგანი ორჯერ უნდა იქნას გამოყენებული. შესაბამისად ტრანზისტორი ელექტრულ წრედში შეიძლება ჩაირთოს სამი გზით: საერთო ბაზით, საერთო კოლექტორითა და საერთო ემიტერით.



სურ. 197

განვიხილოთ $p-n-p$ ტრანზისტორის მუშაობის პრინციპი, რომელიც წრედში საერთო ბაზითაა ჩართული (სურ. 198). A და B წერტილებზე შემოდის სიგნალი ცვლადი $U_{შემ}$ ძაბვით, რომელიც უნდა გაძლიერდეს. ემიტერსა და ბაზას შორის დენის წყარო 1 ჩართულია ისე, რომ გადასასვლელი ემიტერი – ბაზა იყოს პირდაპირი (გამავალი მიმართულების). კოლექტორსა და ბაზას შორის კი დენის წყარო 2 ისეა ჩართული, რომ გადასასვლელი კოლექტორი – ბაზა არაპირდაპირია (ჩამკეტი მიმართულების). კოლექტორსა და ბაზას შორის ასევე ჩართულია R რეზისტორი, რომლის ბოლოებიდან უნდა მოიხსნას გამომავალი $U_{გამ}$ ძაბვა, ანუ გაძლიერებული სიგნალი.



სურ. 198

რადგან ემიტერის $p-n$ გადასასვლელი პირდაპირ არის ჩართული, ამიტომ ბაზასა და ემიტერს შორის ძაბვის შექმნისას, ემიტერის მუხტის ძირითადი გადამტანები

– ხვრელები ბაზაში გადავა, სადაც ისინი მუხტის არაძირითადი გადამტანებია. ტრანზისტორი ისეა დამზადებული, რომ ემიტერში ხვრელების კონცენტრაცია 2–3 თანრიგით უფრო მეტია, ვიდრე ბაზაში თავისუფალი ელექტრონების კონცენტრაცია, ამიტომ ბაზიდან ემიტერში ელექტრონების შემხვედრი ნაკადი შეიძლება უგულვებლევყოთ.

ვინაიდან ბაზა ძალიან თხელია და მასში მუხტის ძირითადი გადამტანების რაოდენობა მცირეა, ამიტომ ბაზაში მოხვედრილი ხვრელების რაოდენობა ელექტრონებთან რეკომბინაციის გამო თითქმის არ იცვლება. შემდეგ ისინი დიფუზიის გზით კოლექტორში გადადის. საქმე ისაა, რომ კოლექტორის p-n გადასასვლელი ჩაკეტილია ბაზის მუხტის ძირითადი გადამტანების – ელექტრონებისათვის, მაგრამ გახსნილია ხვრელებისათვის, ამიტომ დენის წყარო 2-ის მიერ შექმნილი ელექტრული ველი აამოძრავებს ხვრელებს და შეიკვრება წრედი. ბაზიდან ემიტერისაკენ მიმართულ წრედის განშტოებაში დენის ძალა ძალიან მცირეა, რადგან ჰორიზონტალურ სიბრტყეში ბაზის განივკვეთის ფართობი გაცილებით ნაკლებია, ვიდრე – ვერტიკალურში. რადგან ემიტერიდან ბაზაში მოხვედრილი ხვრელები თითქმის ყველა კოლექტორში გადადის, გვექნება: $I_e \approx I_c$. შესაბამისად, ემიტერის ქსელში დენის ძალის ცვლილებისას, იმდენითვე შეიცვლება დენის ძალა კოლექტორის წრედში. რეზისტორის R წინაღობა კოლექტორში დენის ძალაზე გავლენას არ ახდენს, ამიტომ ის შეიძლება საკმაოდ დიდი ავილოთ.

ტრანზისტორში შემავალი U_b ძაბვის მცირე ცვლილება, I_e და I_c დენის ძალების და შესაბამისად, გამომავალი U_c ძაბვის მნიშვნელოვან ცვლილებას გამოიწვევს.

რეზისტორის წინაღობის დიდი მნიშვნელობისას, მასზე ძაბვის ცვლილება შეიძლება ათეულ ათასჯერ აჭარბებდეს ძაბვის ცვლილებას ემიტერის წრედში. ეს კი ძაბვის გაძლიერებას ნიშნავს. შესაბამისად, R წინაღობაზე შეგვიძლია მივიღოთ ელექტრული სიგნალი, რომლის სიმძლავრე ემიტერის ქსელში შემავალი სიგნალის სიმძლავრეზე გაცილებით მეტი იქნება.

n-p-n ტრანზისტორის მუშაობის პრინციპი p-n-p ტრანზისტორის მუშაობის პრინციპისაგან მხოლოდ იმით განსხვავდება, რომ დენი ამ შემთხვევაში ელექტრონების მოძრაობით იქმნება და შესაბამისად, დენის წყაროების ჩართვისას, მათი პოლარობა უნდა შევცვალოთ.

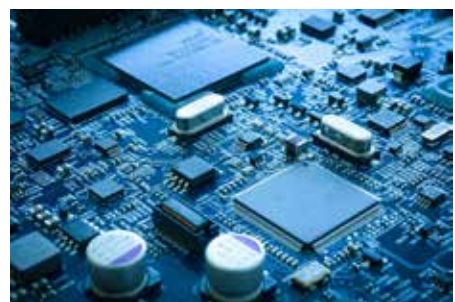
სურ. 199-ზე გამოსახულია სხვადასხვა სიმძლავრისა და ტიპის ტრანზისტორები.

ტრანზისტორები ფართოდ გამოიყენება თანამედროვე ტექნიკაში. მათ შეცვალეს ვაკუუმური მილაკები, რითაც მიღწეულ იქნა პორტატიული ტექნიკის შექმნა. ნახევარგამტარული დიოდები და ტრანზისტორები ვაკუუმურ მილაკებთან შედარებით მცირე ენერგომოხმარებითაც გამოირჩევა.

თანამედროვე ელექტროტექნიკა მთლიანად დაფუძნებულია მიკროსქემებისა და მიკროპროცესორების გამოყენებაზე, რომლებიც ტრანზისტორების ძალიან დიდ რაოდენობას შეიცავს (სურ. 200).



სურ. 199



სურ. 200



ნახეთ ვიდეორგოლები: „ნახევარგამტარული დიოდი“
<https://bit.ly/3fu1HGB>

„როგორ მუშაობს ტრანზისტორი?“
<https://bit.ly/3SeC4lj>



„ტრანზისტორის მექანიკური მოდელი“
<https://bit.ly/3dlkflf>

„ფოტორეზისტორი ტრანზისტორის
 წრედში“
<https://bit.ly/3UH8soh>



დასკვნები:

- ნახევარგამტარული დიოდი p-n გადასასვლელის მსგავსად, დენს ერთი მიმართულებით ატარებს;
- დიოდის პირდაპირი ჩართვისას დაბვის ზრდისას დენის ძალა სწრაფად იზრდება, არაპირდაპირი ჩართვისას კი დენის ძალა მასში თითქმის ნულის ტოლია;
- ტრანზისტორი შედგება ორი p-n გადასასვლელისაგან, რომელთა პირდაპირ გადასვლებს ურთიერთსაპირისპირო მიმართულება აქვს;
- ტრანზისტორები ელექტრული რხევების გენერირებისა და გაძლიერებისათვის გამოიყენება.

საკონტროლო კითხვები:

1. როგორი პოლარობით უნდა მოვდოთ დაბვა დიოდზე, რომ მან დენი გაატაროს?
2. რას უწოდებენ შუქდიოდებს?
3. რა ძირითადი ელემენტებისაგან შედგება ტრანზისტორი?
4. n-p-n ტრანზისტორის ემიტერში რა არის მუხტის ძირითადი გადამტანები?



ერთად ამოვხსნათ ამოცანა

ტრანზისტორის ემიტერის წრედში დენის ძალა 0,8 ა-ით შეიცვალა. კოლექტორსა და ბაზას შორის ჩართული რეზისტორის წინააღობა 100 ომია. იპოვეთ ტრანზისტორიდან გამომავალი დაბვის ცვლილება.

ამოხსნა: როგორც იცით, ტრანზისტორის ემიტერის ქსელში დენის ძალის ცვლილებისას იმდენითვე იცვლება დენის ძალა კოლექტორის წრედში, ანუ კოლექტორის წრედშიც დენის ძალა 0,8 ა-ით შეიცვლება. შესაბამისად, კოლექტორსა და ბაზას შორის ჩართულ 100 ომი წინააღობაზე დაბვა $0,8 \text{ ა} \cdot 100 \text{ ომი} = 80 \text{ ვ}$ -ით შეიცვლება.



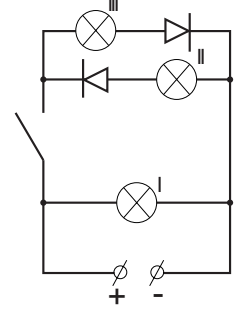
ამოხსენით ამოცანები:

1. სუფთა ნახევარგამტარში აქცეპტორული მინარევის შეტანით როგორი ტიპის ნახევარგამტარი მიიღება?

2. კომპიუტერის გამართულად მუშაობისათვის მეტად მნიშვნელოვანია, რომ მისი გამაგრებელი სისტემა გამართულად მოშაობდეს. როგორ ახსნით ამას?

3. ნახევარგამტარულმა დიოდმა პრაქტიკულად მთლიანად ჩაანაცვლა ვაკუუმური დიოდი. ნახევარგამტარული დიოდის რა უპირატესობებმა განაპირობა ეს?

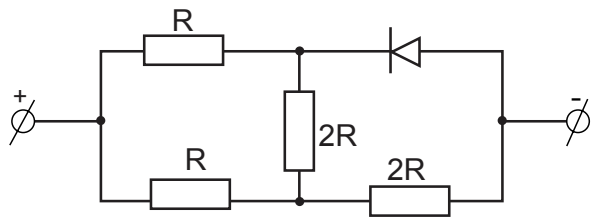
4. სურ. 201-ზე გამოსახულ წრედში, რომელშიც მუდმივი ძაბვის წყაროსთან მიერთებულია ერთნაირი ნათურები, I ნათურის ნათება ნორმალურია. II და III ნათურებიდან რომელი აინთება ჩამრთველის ჩართვისას?



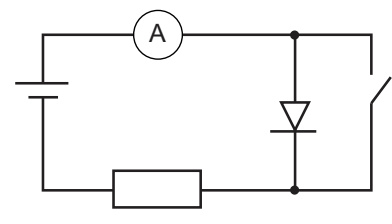
სურ. 201

5. გამოთვალეთ სურ. 202-ზე გამოსახული წრედის წინაღობა.

6. სურ. 203-ზე გამოსახულ წრედში დენის წყაროს ემ ძალა 12 ვ-ია, შიგა წინაღობა კი უმნიშვნელოა. როცა ჩამრთველი გამორთულია ამპერმეტრი 1,2 ა დენის ძალას აჩვენებს, ხოლო როცა ჩამრთველი ჩართულია 1,5 ა-ს. იპოვეთ დიოდის წინაღობა.



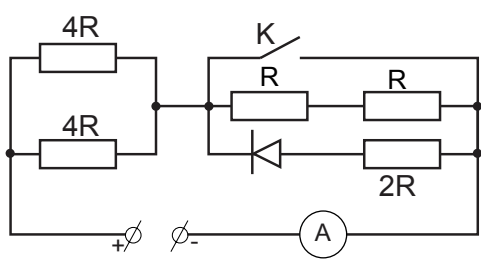
სურ. 202



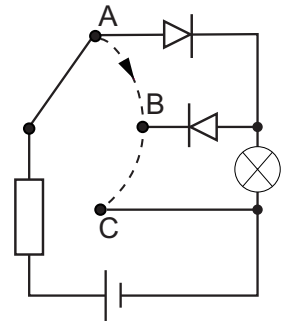
სურ. 203

7*. სურ. 204-ზე გამოსახულ წრედის უბანზე დაბვა მუდმივია. როცა K ჩამრთველი გამორთულია ამპერმეტრი 1,9 ა-ს აჩვენებს. რისი ტოლი იქნება ამპერმეტრის ჩვენება, K ჩამრთველის ჩართვის შემდეგ?

8. სურ. 205-ზე გამოსახულ სქემაზე გადამრთველის რომელ კონტაქტთან მიერთებისას გაანათებს ნათურა? მიიჩნიეთ, რომ ნათურა მცირე დენის გავლის დროსაც ანათებს. პასუხი დაასაბუთეთ.



სურ. 204



სურ. 205

9. n-p-n ტრანზისტორში როგორი მინარევითაა გამდიდრებული ემიტერი და კოლექტორი?

10. ტრანზისტორის ემიტერის წრედში დენის ძალა 3 ა-ია. კოლექტორსა და ბაზას შორის ჩართული რეზისტორის წინაღობა 2,5 კომია. იპოვეთ დაბვა რეზისტორის ბოლოებს შორის.

II თავის შემაჯამებელი ამოცანები

1. სხეულის 120 სმ^2 ფართობის მქონე ზედაპირის მონიკელება 5 საათის განმავლობაში მიმდინარეობდა. იპოვეთ დაფენილი 2 ვალენტიანი ნიკელის სისქე, თუ ელექტროლიზისას დენის ძალა 3 ა-ის ტოლი იყო.
2. ელექტროლიტურ აბაზანაში, რომელშიც 3 ა დენი გადიოდა, 20 ნთ-ში ელექტროდზე 352 მგ სამვალენტიანი ლითონი გამოიყო. იპოვეთ ამ ლითონის მოლური მასა.
3. გამოთვალეთ ელექტროლიტში 0,4 ა დენის გავლისას ელექტროდზე 1 სთ-ის განმავლობაში დაფენილი იმ ნივთიერების მასა, რომლის ვალენტობა 3-ის ტოლია, მოლური მასა კი – 27 გ/მოლი.
4. პარალელურად შეერთებული ორი ელექტროლიტური აბაზანიდან ერთში ნიკელის, მეორეში კი ქრომის მარილის ხსნარი ასხია. ერთი და იგივე დროის განმავლობაში ელექტროდზე რამდენჯერ მეტი მასის ნიკელი გამოიყოფა, ვიდრე – ქრომი, თუ ქრომის მარილის ელექტროლიტის წინააღმდეგობა 5-ჯერ მეტია ნიკელისაზე.
5. აიროვანი განმუხტვის მილში გაუხშობელი აირის იონიზაცია 10^6 ვ/მ ველის დაძაბულობისას იწყება. რა დაძაბულობისას დაიწყება მილში აირის განმუხტვა, თუ მასში ნაწილაკების რაოდენობას გავაორმაგებთ? ელექტრონის თავისუფალი განარბენი ნაწილაკების კონცენტრაციის უკუპროპორციულად მიიჩნით.
6. რისი ტოლია იმ ელექტრონის იმპულსი, რომელის კინეტიკური ენერგია საკმარისია ჟანგბადის ატომის იონიზაციისათვის. ჟანგბადის ატომის იონიზაციის ენერგია 13,6 ევ-ია.
7. იპოვეთ ელექტრული ველის დაძაბულობა, რომელზეც იწყება ბრტყელი კონდენსატორის შემონაფენებს შორის თავისთავადი განმუხტვა, თუ მაქსიმალური მუხტი, რომელიც შესაძლებელია დაგროვდეს 5 მკვ ტევადობის კონდენსატორზე $3 \cdot 10^{-2}$ კ-ის ტოლია. კონდენსატორის შემონაფენებს შორის მანძილი 1 მმ-ია.
- 8*. გამოთვალეთ არათავისთავადი განმუხტვის ნაჯერი დენის ძალა ელექტრონულ მილში, თუ იონიზატორი ყოველ წამში ელექტროდებს შორის მოცულობის ყოველ 1 მმ^3 -ში ელექტრონისა და იონის 10^8 წყვილს ქმნის? თითოეული ფირფიტის ფართობი 8 სმ^2 -ია. ფირფიტებს შორის მანძილი კი – 5მმ.
9. რა სიჩქარით დაეჯახება ელექტრონი ანოდს, თუ ვაკუუმური დიოდის კათოდსა და ანოდს შორის მანძილი და ელექტრული ველის დაძაბულობა, შესაბამისად 1,2 სმ და 61000 ვ/მ-ია? კათოდთან ელექტრონის სიჩქარე ნულის ტოლად მიიჩნით.
10. იპოვეთ ელექტრონის იმპულსი ანოდთან დაჯახებისას, თუ ანოდური ძაბვა ვაკუუმურ დიოდში 728 ვ-ია? კათოდთან ელექტრონის სიჩქარე ნულის ტოლად მიიჩნით.
11. ვაკუუმურ დიოდში ანოდური ძაბვა 240 ვ-ია. იპოვეთ 100 ნთ-ში კათოდიდან ანოდამდე ელექტრონის გადაადგილებაზე ელექტრული ძალების მიერ შესრულებული მუშაობა, თუ ყოველ წამში კათოდიდან $2 \cdot 10^{10}$ ელექტრონი ამოიტყორცნება. მიიჩნით, რომ დიოდში ანოდური დენი ნაჯერია.
12. ვაკუუმურ დიოდში ანოდსა და კათოდს შორის ელექტრული ველის დაძაბულობა 72800 ვ/მ-ია, მათ შორის მანძილი კი – 40მმ. რამდენ ხანში მიაღწევს ელექტრონი კათოდიდან ანოდამდე? მიიჩნით, რომ ელექტრონის მოძრაობა თანაბარაჩქარებულია და მისი სიჩქარე კათოდთან ნულის ტოლია.

უსაფრთხოების წესები ელექტრული დენით სარგებლობისას

ელექტრობის მნიშვნელობა ადამიანის ყოველდღიურ ცხოვრებაში ძალიან დიდია. სახლში, სკოლაში და ბევრ სხვა ადგილას, მრავალი ელექტროხელსაწყო გამოყენება გინევთ. ამ დროს აუცილებელია გამოიჩინოთ სიფრთხილე და დაიცვათ უსაფრთხოების წესები. საქმე ისაა, რომ ადამიანის ორგანიზმი დენის საკმაოდ კარგი გამტარია. დენის გავლამ ორგანიზმში შეიძლება გამოიწვიოს სხვადასხვა სახის დაზიანებები: თერმული (დამწვრობა), ელექტროლიტური (სისხლის და სხვა ორგანული სითხეების დაშლა), ბიოლოგიური (კრუნჩხვა, ფილტვებისა და გულის მოქმედების პარალიზება). ცხადია, ორგანიზმის დაზიანების ხარისხსი დამოკიდებულია მასში გასული დენის ძალის მნიშვნელობაზე. დაიმახსოვრეთ:

1. ელექტრული დენით სარგებლობა საფრთხის შემცველია. ცხადია, ელემენტებზე მომუშავე სათამაშოების, ან ხელსაწყოების არ უნდა გეშინოდეთ, მაგრამ ყოფაცხოვრებაში მოხმარებული ელექტრული დენი საშიშია;

2. არ ისარგებლოთ დაზიანებული სახურავების მქონე ჩამრთველებით, როზეტებით, ზარის ღილაკებით, აგრეთვე ხელსაწყოებით, რომლებსაც გამურული, შიშველი ან გადაბმული სადენები აქვს. ხელსაწყოს ქსელიდან გამორთვისას არ მოქაჩოთ სადენებს;

3. არ შეეხოთ ელექტროხელსაწყოს და მის სადენებს სველი ხელით, არ ისარგებლოთ ელექტროხელსაწყოებით სააბაზანო ოთახში. ხანძრის შემთხვევაში არ დაასხათ წყალი დენში შეერთებულ ხელსაწყოს;

4. უმეთვალყუროდ ნუ დატოვებთ ელექტროსახურებელ ხელსაწყოებს(უთოს, ელექტროჩაიდანს და ა.შ). შეეცადეთ, არ შეაერთოთ რამდენიმე ხელსაწყო ერთ როზეტში;

5. თუ ელექტროხელსაწყოს ზედაპირის, მილების, ან სხვა ლითონის საგნებთან შეხებისას იგრძნობთ „ჩხვლეტას“, ეს ნიშნავს, რომ რაღაც დაზიანების გამო, ამ საგანში გადის დენი. ამ საგნებს ხელახლა არ შეეხოთ, საშიშია!

6. ნუ შეაკეთებთ როზეტში შეერთებულ ხელსაწყოებსა და სადენებს. არ ჩართოთ ქსელში ხელსაწყო, რომელსაც დამცავი სახურავი მოხსნილი აქვს. ხელსაწყო უნდა შეაკეთოს შესაბამისი ცოდნის მქონე სპეციალისტმა;

7. არ ითამაშოთ საჭაერო ელექტროგადამცემი სადენების ქვეშ. ნედლი ხე გამტარია, ამიტომ ხელი არ მოკიდოთ ხეს, რომლის ვარჯში სადენები გადის.

8. არ მიუახლოვდეთ ჩამოვარდნილ საჭაერო სადენს. საშიშია მასთან არა მარტო შეხება, არამედ 10 მეტრზე ახლო მანძილზე მიახლოებაც კი. თუ ასეთ ზონაში აღმოჩნდით, შეეცადეთ ეს ზონა დატოვოთ ფეხის ტერფის მიწიდან მოუშორებლად. იმოძრავეთ ფეხის სრიალით, პატარა ნაბიჯებით;

9. არ შეხვიდეთ სტრანსფორმატორო ჯიხურში. ეს ძალიან საშიშია!

10. ადამიანის ელექტროტრავმის შემთხვევაში, პირველ რიგში შეეცადეთ გამოართოთ დენი. თუ ადამიანი შეეხო შიშველ სადენს, მშრალი ხის, ან პლასტმასის (არა ლითონის!) ჯოხით მოაშორეთ სადენი მას;

11. თუ ელექტროტრავმის დროს ადამიანმა შეწყვიტა სუნთქვა და გაუჩერდა გული, საჭიროა სუნთქვის ხელოვნურად აღდგენა და გულის მასაჟი. დახმარება სთხოვეთ უფროსს, რომელსაც ამის გამოცდილება აქვს და გამოიძახეთ სასწრაფო სამედიცინო დახმარება;

12. თუ ელექტროტრავმის დროს ადამიანი სუნთქავს, მაგრამ გონება დაკარგა, დაზარებული გვერდზე გადმოატრიალეთ და სასწრაფო სამედიცინო დახმარება გამოიძახეთ.

ცხრილები

ზოგიერთი ნივთიერების სიმკვრივე

ნივთიერება	ρ , კგ/მ ³	ρ , გ/სმ ³	ნივთიერება	ρ , კგ/მ ³	ρ , გ/სმ ³
მყარი ნივთიერება, 20 °C (გარდა ყინულისა)					
ოსმიუმი	22 600	22,6	მარმარილო	2 700	2,7
ირიდიუმი	22 400	22,4	ფანჯრის მინა	2 500	2,5
პლატინა	21 500	21,5	ფაიფური	2 300	2,3
ოქრო	19 300	19,3	ბეტონი	2 300	2,3
ტყვია	11 300	11,3	სუფრის მარილი	2 200	2,2
ვერცხლი	10 500	10,5	აგური	1 800	1,8
სპილენძი	8 900	8,9	პოლიეთილენი	920	0,92
ფოლადი, რკინა	7 800	7,8	პარაფინი	900	0,9
კალა	7 300	7,3	ყინული	900	0,9
თუთია	7 100	7,1	მუხა (მშრალი)	700	0,7
თუჯი	7 000	7	ფიჭვი (მშრალი)	400	0,4
ალუმინი	2 700	2,7	კორპი	240	0,24
თხევადი ნივთიერება, 20 °C					
ვერცხლისწყალი	13 600	13,6	ნავთი	800	0,8
გოგირდმჟავა	1 800	1,8	სპირტი	800	0,8
გლიცერინი	1 200	1,2	ნავთობი	800	0,8
ზღვის წყალი	1 030	1,03	აცეტონი	790	0,79
წყალი	1 000	1	ბენზინი	710	0,71
მზესუმზირის ზეთი	930	0,93	თხევადი კალა 400 °C	6 800	6,8
მანქანის ზეთი	900	0,9	თხევადი ჟანგბადი -194 °C	860	0,86
აირადი ნივთიერება, 0 °C (ნორმალური პირობებისას)					
ქლორი	3,21	0,00321	ბუნებრივი აირი	0,8	0,0008
ჟანგბადი	1,43	0,00143	წყლის ორთქლი 100 °C	0,59	0,00059
ჰაერი	1,29	0,00129	ჰელიუმი	0,18	0,00018
აზოტი	1,25	0,00125	წყალბადი	0,09	0,00009

გარემოს დიელექტრიკული შეღწევადობა 20° C-ზე.			
ქალაქი	5	პარაფინი	2,1
ვაკუუმი	1	ქარვა	2,8
წყალი	81	ქარსი	6
ჰაერი	1	მინა	7
კვარცი	4,3	ფაიფური	7
ნავთი	2,1	ებონიტი	2,8
ზეთი	2,5	ეთილის სპირტი	24

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

ზოგიერთი გამტარის წინაღობის ტემპერატურული კოეფიციენტის საშუალო მნიშვნელობა 0°C ÷ 100°C ინტერვალში

ნივთიერება	$\alpha, 10^{-3}\text{K}^{-1}$	ნივთიერება	$\alpha, 10^{-3}\text{K}^{-1}$
მანგანიანი	0,02	პლატინა	3,9
კონსტანტანი	0,04	ვერცხლი	4,1
ნიხრომი	0,13	სპილენძი	4,3
ნიკელინი	0,30	ვოლფრამი	4,8
ვერცხლისწყალი	0,88	რკინა	6,6

ატომის შემადგენელი ნაწილაკების მასა და მუხტი

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

ზოგიერთი ნივთიერების ელექტროქიმიური ეკვივალენტის მნიშვნელობა

ნივთიერება	ვალენტობა	K, მგ/კ
ალუმინი	3	0,0932
ბრომი	1	0,8282
წყალბადი	1	0,01045
რკინა	3	0,1929
ოქრო	3	0,6812
ჟანგბადი	2	0,0829
სპილენძი	1	0,6588
სპილენძი	2	0,3294
ნატრიუმი	1	0,2383
ნიკელი	2	0,3041
ნიკელი	3	0,2027
კალა	2	0,6150
OH-ჯგუფი	1	0,1763
პლატინა	4	0,5058
ვერცხლისწყალი	1	2,0789
ტყვია	2	1,0736
გოგირდი	2	0,1661
ვერცხლი	1	1,1179
ქლორი	1	0,3674
თუთია	2	0,3388

საგნობრივი საძიებელი

- n-ტიპის ნახევარგამტარი 117
p-n და n-p გადასასვლელი 118
p-ტიპის ნახევარგამტარი 118
აიროვანი განმუხტვა 100
ამპერი 16
ამპერმეტრი 19
ანიონები 89
ანოდი 72
ანოდური დენი 110
ანოდური ძაბვა 110
არათავისთავადი განმუხტვა 102
არაპირდაპირი გადასასვლელი 119
აქცეპტორული მინარევი 118
ბაზა 121
გალვანოპლასტიკა 97
გალვანოსტეგია 96
გამტარობა 29
გარე წინაღობა 73
გვირგვინისებრი განმუხტვა 105
დამატებითი წინაღობა 59
დარტყმითი იონიზაცია 103
დენის მუშაობა 63
დენის სიმძლავრე 63
დენის ძალა 15
დენის წყაროს მქკ 78
დიპოლი 89
დისოციაციის ხარისხი 89
დონორული მინარევი 117
ელექტროკოაგულაცია 98
ელექტროლიზი 90
ელექტროლიტი 13
ელექტროლიტური დისოციაცია 89
ელექტრომამოძრავებელი ძალა 72
ელექტროქიმიური ეკვივალენტი 92
ელექტრული დენი 6
ელექტრული წრედი 9
ემიტერი 121
ვაკუუმური მილაკი 109
ვოლტ-ამპერული მახასიათებელი 29
ვოლტმეტრი 25
ზეგამტარობა 47
თავისთავადი განმუხტვა 102
თავისუფალი განარბენი 103
თერმორეზისტორი 114
იონიზატორი 100
იონური გამტარებლობა 90
კათიონები 89
კათოდი 72
კოლექტორი 121
კუთრი წინაღობა 37
მაგნიტური ბალიში 48
მაგნიტური ლევიტაცია 48
მიმდევრობითი შეერთება 50
მინარევილი გამტარებლობა 117
მუდმივი დენი 16
მუხტის გადამტანები 6
მღვივარი განმუხტვა 104
ნაპერწყლური განმუხტვა 104
ნახევარგამტარული დიოდი 120
ომი 30
ომის კანონი წრედის უბნისათვის 33
პარალელური შეერთება 54
პირდაპირი გადასასვლელი 119
პლაზმა 107
რაფინირება 97
რეზისტორი 38
რეკომბინაცია 89
რეოსტატი 38
რკალური განმუხტვა 104
საკუთარი გამტარებლობა 116
სიმენსი 29
ტრანზისტორი 121
ფარადის მეორე კანონი 93
ფარადის პირველი კანონი 91
ფოტორეზისტორი 114
შიგა წინაღობა 73
შუნტი 60
შუქდიოდი 121
ძაბვის ვარდნა 73
წინაღობა 30
წინაღობის ტემპერატურული კოეფიციენტი 42
ჯოულ-ლენცის კანონი 68

პასუხები

თავი I

§4 1) 0,5 ა; 2) 6 3) 1,1 ა; 4) $3,75 \cdot 10^{20}$; 5) 3600 კ; 6) 9000 ნმ; 7) 1,28 სთ; 8) 100 კ; 9) 6 მა; 10) 4,5 მა;

§6 1) დაახლოებით $3 \cdot 10^8$ მ/წმ-ია; 2) $9,1 \cdot 10^5$; 3) 10^{-7} ნმ; 4) 5 ნმ; 5) 3,4 ა; 6) 30 კ; 7) მიახლოებით $0,3 \cdot 10^{-2}$ სმ/წმ; 8) $2,5 \cdot 10^{27}$ მ⁻³; 9) 0,3 სმ/წმ 10) 9-ჯერ;

§7 1) რომლის დანაყოფის მნიშვნელობაც ნაკლებია; 2) 100 ვ; 3) 1800 ჯ; 4) 4-ჯერ მეტი პირველ ნათურაში; 5) 220 ვ; 6) 15 კვ; 7) 84 სთ; 8) 45 ვ; 9) 0,5 ა; 10) 27 ვ;

§8 1) არა რადგან რამდენჯერაც იზრდება ძაბვა იმდენჯერ იზრდება გამტარში გამავალი დენის ძალაც; 2) შემცირდება 4,5-ჯერ; 3) გავზარდოთ 3,14-ჯერ; 4) პირველის; 5) მეორე გამტარს, რადგან მასში მეტმა დენმა გაიარა; 6) მეორეში; 7) მეორე გამტარის 1,5-ჯერ; 8) მეორე გამტარის 3-ჯერ; 9) მეოთხე გამტარის; 10) მეორისა და მესამე გამტარის;

§9 1) 4,8 ა; 2) 100 ვ; 3) გაიზრდება 5-ჯერ; 4) შემცირდება 4-ჯერ; 5) გაიზრდება 8-ჯერ; 6) შემცირდება 50-ჯერ; 7) არა რადგან დენის ძალაც გაიზრდება 3-ჯერ; 8) 45 ვ; 9) $R_2=2R_1$; 10) $R_2=R_3=1,5$ ომი

§10 1) 0,2 ომი; 2) ვოლტრამი; 3) არა რადგან ნივთიერება არ იცვლება; 4) 0,11 ა; 5) ტოლია; 6) გაიზრდება 25-ჯერ; 7) შემცირდება 16-ჯერ; 8) 480 ვ; 9) 0,3 ა; 10) გრაფიკი 1

§11 1) 128 ომი; 2) $0,5 \cdot 10^{-3}$ კ⁻¹; 3) 100 ომი; 4) მიახლოებით 0,7 ა; 5) 115 ვ; 6) 2000°C; 7) 128,2°C; 8) 99%-ით; 9) 0,0003 K⁻¹; 10) ნიქრომი;

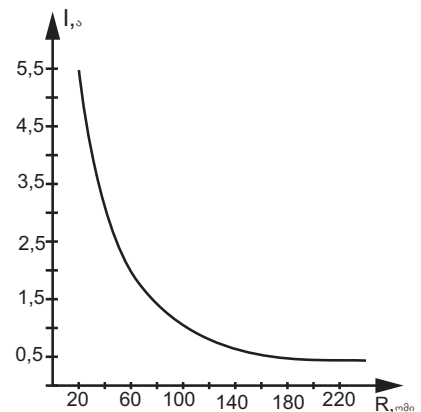
§13 1) 70 ომი; 2) $50 \div 300$ ომი; 3) 1,6 ა; 4) 150 ომი; 5) შემცირდება 1,5-ჯერ; 6) 12 ვ, 18 ვ, 24 ვ; 7) 82 ომი; 9) ამპერმეტრის ჩვენება შემცირდება, ვოლტმეტრის გაიზრდება; 10) 0,8 ა, 32 ვ;

§14 1) 4 ომი; 2) 7 ომი; 3) 8 ა; 4) 144-ჯერ; 5) 2,7 ა; 3,6 ა; 6) 0,9 ა; 0,9 ა; 0,3 ა; 7) 4 ომი, 6 ომი; 8) ვოლტმეტრის არ შეიცვლება, ამპერმეტრის გაიზრდება 1,25-ჯერ; 9) 4 ომი; 10) 1,5 ა;

§15 1) 60 ვ; 2) 108 ვ; 3) 60 ვ; 4) 0,03 ა; 5) 0,4 ა; 6) 5000 ომი; 7) 2000 ომი; 8) 0,1 ომი; 9) 0,04 ომი; 10) შემცირდება 2,2-ჯერ;

§16 1) 1500 ჯ; 2) 720 ჯ; 3) 10 სთ; 4) 100 ვტ; 5) 0,6 ა; 6) გაიზრდება 1,5-ჯერ; 7) R_3 რეზისტორის; 8) არა რადგან ნომინალურზე მეტი ძაბვა აღმოჩნდება პირველ ნათურაძე; 9) 40 ვტ; 20 ვტ; 10) 100 ვტ, 72 ვტ, 48 ვტ;

§17 1) პარალელურად; 2) პირველში 3-ჯერ; 3) 49-ჯერ მეტი პარალელურად შეერთებული რეზისტორების მიერთებისას; 4) 18 ომი, 405 კჯ; 5) პირველი ნათურა რადგან მისი წინალობა მეტია; 6) მეორე ნათურა, რადგან მისი წინალობა ნაკლებია; 7) 6776 კვტსთ; 9) ა. 18 ნთ, ბ. 4 ნთ; 10) 10 ნთ-ში;



გრაფიკი 1

§19 1) 5 ვ; 2) 0,5 ა; 3) 1,5 ვ; 4) 16 ვ; 5) 1,2-ჯერ; 6) 6 ვ; 7) 2,4 ვ; 8) 12 ვ, 0,25 ომი; 9) 7 ვ; 10) 0,8 ვ; 1,2 ვ;

§20 1) 9 ვ; 2) 14,5 ვ; 3) 20 ვ; 4) 0; 5) 6 ა; 6) 20 ა; 7) 22,5 ვტ, 4,5 ვტ; 8) 90%; 9) შემცირდება 30%-ით; 10) 0,4 ომი;

პირველი თავის შემაჯამებელი ამოცანები: 1) 0,5 ა; 2) 6,25 მა; 3) $31,25 \cdot 10^{27}$ მ⁻³; 4) მეორეში 2-ჯერ; 5) 25 ვ; 6) 200 ვ/მ; 7) 1 სიმენსი; 8) პირველი გამტარის 3-ჯერ; 9) შევამციროთ 1,5-ჯერ; 10) მუხტი 2-ჯერ, მუშაობა 4-ჯერ; 11) მიახლოებით 3,7 ვ; 12) მიახლოებით 6,6-ჯერ; 13) მიახლოებით 0.00095 K^{-1} ; 14) მიახლოებით 7,8 ომი; 15) 128 ომი; 16) შემცირდება 2-ჯერ; 17) 9 ომი; 18) $U_1=15$ ვ, $U_2=30$ ვ, $U_3=45$ ვ; 19) 90°; 20) 35 ვ, 5 ა; 21) 45 ომი; 22) 100 ომი, 450 ომი; 23) 2 ა; 24) 0,02 ომი; 25) 3,9 ომი; 26) 200 ომი; 27) 2,21 კომი; 28) 6 ლ 72 თ, 16 ლ 80 თ; 29) 64,8 კვ;

30) 40 ომი; 31) 660 კვტ; 32) $\frac{P_1 \cdot P_2^2}{(p_1 + p)^2}$, $\frac{P_1^2 P_2}{(p_1 + p)^2}$; 33) მიახლოებით 665 გრადუსით;

34) 36 ვ; 35) 19-ჯერ; 36) 4 ვ, 0,7 ომი; 37) 240 მკვ; 38) 30 ომი, მიახლოებით 33%, 67%; 39) $84 \cdot 10^{-5}$ კ; 40) 27 ვ;

თავი II

§24 1) ორივეზე ერთნაირი მასის; 2) შემცირდება, რადგან ხსნარის გამტარობა იკლებს; 3) 0,5 მგ/კ; 4) დაახლოებით 2500 წმ; 5) 0,3 მგ/კ; 6) 71 გ/მოლი; 7) 2,4 მგჯ; 8) 68 გ; 9) 15,2 წთ; 10) $2,48 \cdot 10^{17}$;

§27 1) ჰაერი, რომ გამტარი იყოს ელექტრომეტრი სწრაფად განიმუხტებოდა; 2) მიახლოებით $2,9 \cdot 10^6$ მ/წმ; 3) მიახლოებით $2,3 \cdot 10^6$ მ/წმ; 4) 6250 ვ; 5) 2 სმ; 6) $4,25 \cdot 10^6$ ვ/მ; 7) 15 ვ; 8) $4,7 \cdot 10^{-4}$ მ; 9) $6 \cdot 10^{-2}$ კ; 10) მიახლოებით 13,3 მკვ;

§29 1) 45 კვ/მ; 2) $8 \cdot 10^{-15}$ ნ; 3) 1 კვ; 4) $1,6 \cdot 10^{-17}$ ჯ; 5) $4 \cdot 10^4$ ვ/მ; 6) $9,6 \cdot 10^{-17}$ ჯ; 7) $3,2 \cdot 10^7$ მ/წმ; 8) მიახლოებით $2,91 \cdot 10^{-23}$ კგმ/წმ; 9) 384 მკვ; 10) 0,5 ნწმ;

§32 1) P ტიპის; 4) მესამე ნათურა; 5) 2,75R; 6) 2 ომი; 7) 3,8 ა; 8) A კონტაქტთან მიერთებისას; 9) დონორული მინარევი; 10) 7500 ვ;

მეორე თავის შემაჯამებელი ამოცანები: 1) მიახლოებით 0,15 მმ; 2) 28 გ/მოლი; 3) მიახლოებით 134 მგ; 4) მიახლოებით 8,4-ჯერ მეტი; 5) $2 \cdot 10^6$ ვ/მ; 6) მიახლოებით $20,02 \cdot 10^{-25}$ კგმ/წმ; 7) $6 \cdot 10^6$; 8) $6,4 \cdot 10^{-8}$ ა; 9) მიახლოებით $16 \cdot 10^6$ მ/წმ; 10) $145,6 \cdot 10^{-25}$ კგმ/წმ; 11) 2,304მჯ; 12) მიახლოებით $8,3 \cdot 10^{-10}$ წმ.

შენიშვნებისთვის

