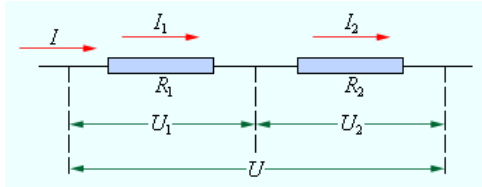
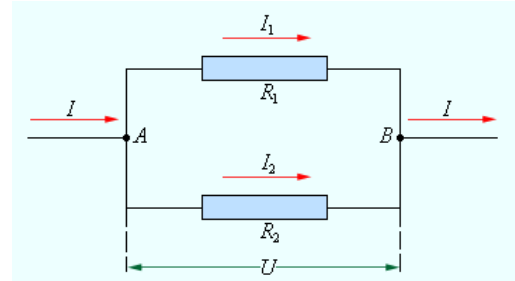


9.3 გამტარების მიმდევრობითი და პარალელური შეერთება

ამ მარტივ წრედში გამტარების ორი ტიპური შეერთებაა გამოყენებული. წინააღობები R_1 და R_2 , და აგრეთვე R_1 და R_3 ერთმანეთთან მიმდევრობით არიან შეერთებული. წინააღობები R_2 და R_3 კი პარალელურად, რა კანონზომიერება ახასიათებს გამტარების ერთსა და მეორე ჩართვას?



9.3.1



9.3.2

პირველ შემთხვევაში ორივე წინააღობაში გადის ერთი და იგივე დენი, ანუ

$$I = I_1 = I_2.$$

გავიხსენოთ ომის კანონი - $I = U/R$. ამ მიმდევრობითი შეერთებისათვის ომის კანონი გვაძლევს ასეთ შედეგს:

$$U_1 = I \cdot R_1, \quad U_2 = I \cdot R_2.$$

ამ შეერთებაზე მოდებული ძაბვა U წინააღობებზე მოდებული ძაბვების ჯამის ტოლია: $U = U_1 + U_2$. ისმის საკითხი თუ როგორი იქნება ასეთი შეერთების წინააღობა R , ანუ რა მნიშვნელობა უნდა გააჩნდეს ამ ერთ წინააღობას, რომლითაც შეგვიძლია შევცვალოთ მოცემული ორი და შევინარჩუნოთ დენის იგივე მნიშვნელობა I ? ომის კანონი გვეუბნება, რომ

$$I = U/R = (U_1 + U_2)/R, \quad \text{ანუ} \quad I = (I \cdot R_1 + I \cdot R_2)/R.$$

აქედან გამომდინარეობს $R = R_1 + R_2$. მივიღეთ, რომ მიმდევრობით შეერთებულ წინააღობათა ექვივალენტური წინააღობა უდრის შემადგენელ წინააღობათა ჯამს.

რა ხდება მეორე შემთხვევაში, როდესაც გამტარები პარალელურად არიან შეერთებული? ცხადია ორივე გამტარზე ერთი და იგივე U ძაბვაა მოდებული, ხოლო დენი იყოფა და გამტარებში გავლის შემდეგ ისევ საწყის მნიშვნელობას უბრუნდება ანუ $I = I_1 + I_2$. ომის კანონი გვეუბნება:

$$I = I_1 + I_2 = U/R = U/R_1 + U/R_2.$$

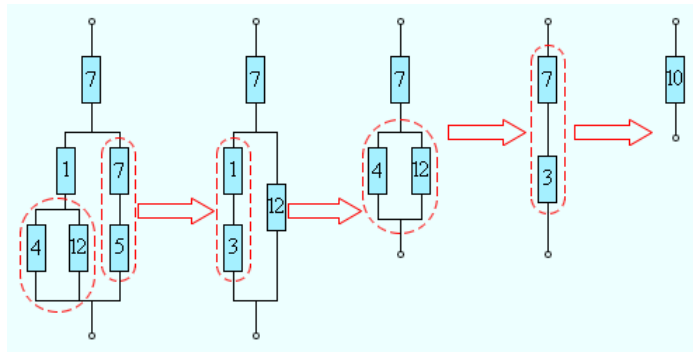
აქედან ვიღებთ

$$1/R = 1/R_1 + 1/R_2, \quad \text{ანუ} \quad R = \frac{R_1 + R_2}{R_1 R_2}.$$

მივიღეთ, რომ პარალელურად შეერთებულ გამტართა შემთხვევაში ექვივალენტური წინააღობის უკუ მნიშვნელობა უდრის პარალელურად შეერთებულ წინააღობათა უკუ მნიშვნელობების ჯამს.

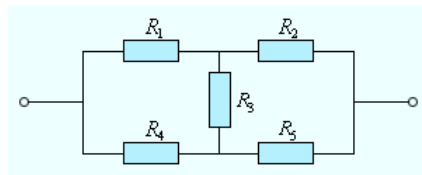
9.2.1 ნახატზე მოყვანილი წრედი დაიყვანება ორ განხილულ შემთხვევაზე. დენების და წინააღობების გათვლა შესაძლებელია გამოყვანილი ფორმულებით. უფრო რთული წრედების გათვლაც არის შესაძლებელი ომის კანონის გამოყენებით, თუ თანმიმდევრულად დავიყვანთ ამ მარტივ შეერთებებზე.

აქ (9.3.3) მოყვანილია მაგალითი. წინააღობების მნიშვნელობები მოცემულია წინააღობის საზომ ერთეულებში ომებში. ერთეული აღინიშნება ბერძნული ომეგათი - Ω .

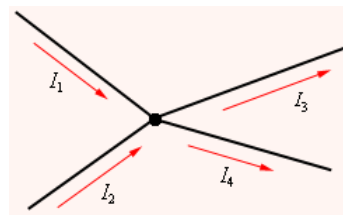


9.3.3

შესაძლებელია ისეთი წრედის შექმნა, რომელიც არ დაიყვანება მიმდევრობით და პარალელურად შეერთებულ გამტარებზე. მაგალითი მოყვანილია 9.3.4 ნახატზე.



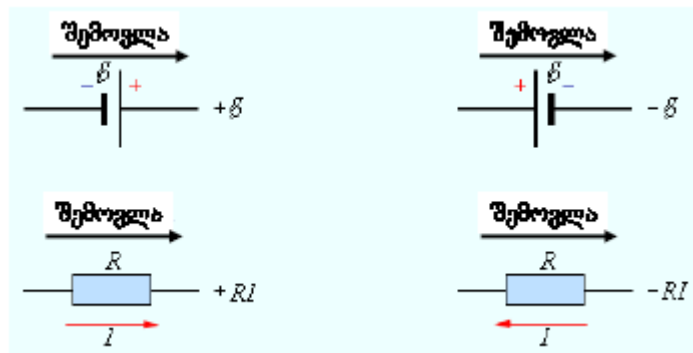
9.3.4



9.3.5

ასეთ შემთხვევებში შეგვიძლია გამოვიყენოთ კირჰოფის კანონები. 9.2.1 ნახატზე ჩვენ გამოყავით ორი კვანძი – ადგილი, სადაც რამდენიმე გამტარი ერთმანეთს უერთდება. კირჰოფის პირველი კანონი გვაძლევს საშუალებას დავწეროთ განტოლება რთული წრედის თითოეული კვანძისათვის. მიაქციეთ ყურადღება, რომ 9.2.1 ნახატზე არსებული კვანძები არ არიან დამოუკიდებლები – ორივეში ერთი და იგივე დენები შედიან და გამოდიან, ამიტომ მხოლოდ ერთი განტოლება იქნება გამოყენებული.

რაც შეეხება წრედებში ძაბვების გაბაწილებას და კირჰოფის მეორე კანონის გამოყენებას – აქაც უნდა ვეძებოთ დამოუკიდებელი კონტურები. 9.2.2 ნახატზე ორი დამოუკიდებელი კონტურია.



9.3.6

თითოეული დამოუკიდებელი კონტურისათვის შეგვიძლია დავწეროთ განტოლება. ეს განტოლებები უნდა ითვალისწინებდნენ ელექტრომაგნიტური ძალის მქონე წყაროს არსებობას. რადგან კონტური ჩაკეტილია, მის ყოველ ელემენტში ერთი და იგივე, ამ წყაროს არსებობით განპირობებული დენი გადის, ანუ უნდა დაიწეროს ომის კანონი სრული წრედისათვის. კირჰოფის მეორე კანონი სრული წრედის ომის კანონიდან გამომდინარეობს.

განტოლებების დაწერის დროს ვირჩევთ კონტურის “შემოვლის” მიმართულებას. იგი შეიძლება იყოს საათის ისრის, ან საწინააღმდეგო მიმართულებით.

მნიშვნელოვანია შემოვიღოთ ამ მიმართულებასთან დენების და ძაბვების ნიშნების შეთანხმების წესი. 9.3.6 ნახატზე მოყვანილია ეს წესი. ნაჩვენებია რა ნიშნით უნდა ავიღოთ განტოლებაში ეს მნიშვნელობები. 9.2.1 ნახატზე ნაჩვენებია წრედისათვის კონტურებისათვის დაიწერება განტოლებები:

$$V + U_1 + U_2 = 0, \quad -U_1 + U_3 = 0.$$

კვანძისათვის დაიწერება განტოლება:

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0.$$

როგორც წესი, რეალური ტექნიკური გათვლების დროს წრედებში მოცემულია ელექტრომაგნიტური ძალის მნიშვნელობა და გამტარების წინააღობები, ანუ ამ წრედისათვის V, R_1, R_2, R_3 . უნდა განისაზღვროს დენების ან ძაბვების მნიშვნელობა. შეგვიძლია გადავწეროთ ეს განტოლებები ასეთნაერათ:

$$V + I_1 R_1 + I_2 R_2 = 0,$$

$$-I_1 R_1 + I_3 R_3 = 0,$$

$$I_1 - I_2 - I_3 = 0.$$

ამ განტოლებების ამოხსნა გვაძლევს წრედის დენების და ძაბვების მნიშვნელობებს.

9.4 დენის მუშაობა და სიმძლავრე

წინა პარაგრაფებში დენის ცნებას საკმაოდ ზოგადად ვიხილავდით. ეს ცნება შესაძლებელია, მიუყენოთ სითხეს, ინფორმაციას, ფულად მასას და ა.შ. როდესაც ელექტრულ დენზე ვსაუბრობთ, რა თქმა უნდა ვგულისხმობთ ელექტრული მუხტების მოწესრიგებულ მოძრაობას, ანუ რა სიდიდის მუხტმა გაიარა გამტარში დროის ერთეულში:

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

როდესაც ვიხილავდით პოტენციალის ცნებას, დავასკვნით, რომ მუხტის 1 წერტილიდან 2 წერტილში გადასატანად საჭირო მუშაობა მუხტის სიდიდის და პოტენციალთა სხვაობის პროპორციულია:

$$\Delta A = \Delta \phi_{1,2} \cdot \Delta q.$$

აქედან გამომდინარეობს

$$\Delta A = \Delta \phi_{1,2} \cdot \Delta q = \Delta \phi_{1,2} \cdot I \cdot \Delta t.$$

ავლნიშნოთ პოტენციალთა სხვაობა ისე როგორც მიღებულია წრედების თვისებების, ანუ მუხტთა ერთობლიობის მაკროსკოპული თვისებების განხილვის დროს - U . დენის მიერ შესრულებული მუშაობა გამოისახება ფორმულით

$$\Delta A = U \cdot I \cdot \Delta t.$$

განმარტებით, სიმძლავრე უდრის დროის ერთეულში შესრულებულ მუშაობას, ე.ი.

$$P = U \cdot I.$$

თუ გამოვიყენებთ ომის კანონს, შეგვიძლია სიმძლავრე წარმოვადგინოთ ასეთი სახით:

$$P = U \cdot I = I^2 \cdot R = U^2 / R.$$

ეს მეტად მნიშვნელოვანი დასკვნაა - გამტარში გამავალი მუხტების მიერ (დენის მიერ) შესრულებული მუშაობის სიმძლავრე დენის კვადრატის და წინააღობის მნიშვნელობის პროპორციულია.

დროის რაღაც T მონაკვეთში გამოყოფილი ენერგია გამოისახება ფორმულით

$$A = I^2 R T.$$

რეალური გამტარი ყოველთვის დანაკარგებით მუშაობს. ეს მუშაობა სითბოში გარდაიქმნება. ამ ფორმულით მუშაობს ნებისმიერი ელექტროქურა და ელექტროსპირალის მქონე ნათურა. ამ ორ შემთხვევაში სპეციალურად ვცდილობთ მივიღოთ რაც შეიძლება მეტი სითბო. სხვა ელექტრულ და ელექტრონულ წრედებში ამ სითბურ დანაკარგებს, პირიქით, ებრძვიან წრედების ოპტიმალური გათვლით.

აქამდე საუბარი იყო წრედის მონაკვეთზე. თუ განვიხილავთ სრულ წრედს, უნდა გავითვალისწინოთ ელექტრომაგნიტური ძალის მქონე წყაროს შიდა წინააღობა. რადგან წყაროს შიგნით და გარე წრედში ერთი და იგივე დენი გადის, დენის სიმძლავრე მიიღებს სახეს:

$$P_E = I^2(R + r).$$

ე.წ. მოკლე ჩართვის დროს $R=0$. წყაროს მთელი სიმძლავრე გამოიყოფა მის შიგნით. თუ წყარო არ არის დაცული, მოკლე ჩართვა მის დაზიანებას იწვევს.

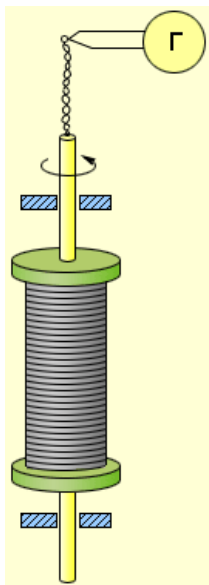
რადგან გარე წრედის სიმძლავრე ვიცით - $P = I^2 \cdot R$, შეგვიძლია შევაფასოთ წყაროს მარგივი ქმედების კოეფიციენტი -

$$k = P / P_E = R / (R + r).$$

ამ ფორმულიდან მარტივი დასკვნის გაკეთება შეგვიძლია - რაც უფრო მცირეა წყაროს შიდა წინააღობა, უფრო დიდია მარგივი ქმედების კოეფიციენტი.

9.5 ელექტრული დენი მეტალებში

როგორც არაერთხელ ვახსენეთ, ელექტრული დენი წარმოადგენს ელექტრონების მოწესრიგებულ მოძრაობას. ეს მოძრაობა ხდება მათზე ელექტრული ველის ზემოქმედების გამო. ექსპერიმენტი გვიჩვენებს, რომ მეტალურ გამტარში ელექტრული დენის გაგლის დროს არ ხდება გამტარის შემადგენელი ნივთიერების გადატანა. განვიხილოთ ერთი ექსპერიმენტი, რომელიც გვიჩვენებს, რომ ელექტრული დენი ნამდვილად განპირობებულია ელექტრონების მოძრაობით. ექსპერიმენტი მიეკუთვნება ე.წ. პრინციპულ ექსპერიმენტთა რიგს. ასეთი სახის ექსპერიმენტები თვისობრივად ახალ ინფორმაციას გვაძლევენ ბუნების მოვლენების შესახებ.



ტოლმენის და სტიუარტის ცდა

რიჩარდ ტოლმენმა და ტომას სტიუარტმა ეს გონებამახვილური ექსპერიმენტი განახოციელეს დაახლოებით 100 წლის წინ. სპილენძის წვრილი მავთულით დახვეულ კოჭას აბრუნებენ დიდი სიჩქარით მისი საკუთარი ღერძის გარშემო. მავთულის ბოლოები კონტაქტების სპეციალური სისტემით შეერთებულია მგრძობიარე დენის გამზომ ხელსაწყოსთან - გალვანომეტრთან. რა მოხდება თუ დავიწყებთ კოჭას დამუხრუჭებას? მუხტის მატარებელი ნაწილაკების ინერციის გამო კოჭაში უნდა გაჩნდეს ელექტრული დენი. დამუხრუჭების დროს მუხტის მატარებელ ნაწილაკზე მოქმედებს ძალა, რომელიც მისი მასის და აჩქარების ნამრავლის ტოლია, ანუ მოქმედებს კარგად ცნობილი ნიუტონის კანონი $F = -m \cdot a$. აჩქარება უარყოფითა, რადგან ნაწილაკი კარგავს სიჩქარეს.

ეს ძალა შეფარდებული ერთეულოვან მუხტთან, ადრე შემოღებული განმარტების თანახმად, ელექტრული ველის დაძაბულობის ტოლია:

$$E = -\frac{m}{e} a.$$

კოჭაში q მუხტის გადასატანად ძალა შეასრულებს მუშაობას $A_l = E_l \cdot q \cdot l$, სადაც l – დახვეული მავთულის სიგრძეა. შეგვიძლია დავწეროთ გამოსახულება

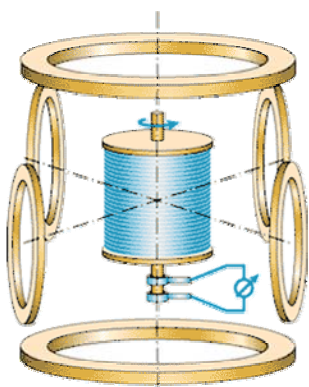
$$A = E_l \cdot q \cdot l = -\frac{m}{e} a \cdot q \cdot l = U \cdot I \cdot \Delta t.$$

ამგვარად, Δt დამუხრუჭების დროის განმავლობაში გარე ძალა, დამუხრუჭების ძალა შეასრულებს სამუშაოს – გადაიტანს q მუხტს, ანუ წარმოქმნის I ელექტრულ დენს.

ექსპერიმენტი სრულ თანხმობაში აღმოჩნდა ამ წარმოდგენებთან. ფორმულიდან გამომდინარეობს დენის შემქმნელ ნაწილაკთა ხვედრითი მუხტის გამოსახულება

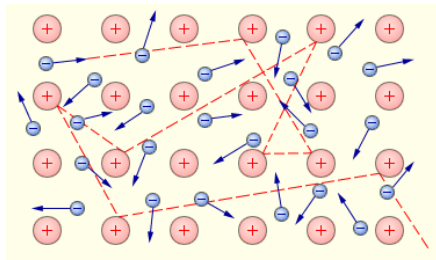
$$\frac{e}{m} = -\frac{aqI}{UI\Delta t}.$$

მარჯვენა მხარე შეიცავს სიდიდეებს, რომელთა გაზომვა შესაძლებელია, ანუ შესაძლებელია ელექტრონის ხვედრითი მუხტის დადგენა. ექსპერიმენტის შედეგად დადგენილი მნიშვნელობა აღმოჩნდა სხვა ექსპერიმენტებში დადგენილი ელექტრონის ხვედრითი მუხტის მნიშვნელობის ტოლი. მიაქციათ ყურადღება, რომ ფორმულის მარჯვენა მხარეს მყოფი სიდიდეები ერთმანეთთან დაკავშირებულები არიან. მნიშვნელი ასახავს **მაკროსკოპულ** სიდიდეს – მუშაობას, რომელიც შესრულდება კოჭაში შექმნილი ელექტრომამოძრავებელი ძალის მიერ გარე გამზომ წრედში. მრიცხველი ასახავს ექსპერიმენტის **მიკროსკოპულ** სიდიდეს – მუხტის მატარებელთა (ელექტრონთა) l მანძილზე გადასატანად შესრულებულ მუშაობას. სუპერპოზიციის პრინციპი გვაძლევს საშუალებას წარმოვადგინოთ ეს სიდიდეც მაკროსკოპიული სიდიდის სახით. მუშაობას ასრულებს გარე მაკროსკოპული დამუხრუჭების ძალა, რომელიც a აჩქარებით არის წარმოდგენილი.



აუცილებლად უნდა აღინიშნოს, რომ რეალურ ლაბორატორულ ექსპერიმენტში ექსპერიმენტის შედეგზე მოქმედებს დედამიწის მაგნიტური ველი. მისი ზეგავლენის ასაცილებლად უნდა შეიქმნას მაგნიტური ველისაგან “თავისუფალი” სივრცე. ამისათვის იყენებენ ე.წ. ჰელმჰოლცის კოჭებს – კოჭების სისტემას, რომელთა სივრცული განაწილებით და დენების სიდიდეების შერჩევით მიიღწევა სასურველი მაგნიტური ველის შექმნა სივრცის განსაზღვრულ მოცულობაში. ტოლმენ-სტიუარტის ექსპერიმენტის შემთხვევაში უნდა მოხდეს დედამიწის მაგნიტური ველის ზემოქმედების კომპენსაცია, ანუ შეიქმნას იგივე სიდიდის და საწინააღმდეგო მიმართულების ველი.

ტოლმენ-სტიუარტის ექსპერიმენტი ეყრდნობოდა წარმოდგენას მეტალებში თავისუფალი ელექტრონების არსებობის შესახებ. ეს წარმოდგენა საფუძვლად ედო ქლორენცის კლასიკურ თეორიას, რომლის მიხედვით ელექტრონები მეტალებში იდეალური გაზის მსგავსად იქცევიან. ეს ელექტრონული გაზი ავსებს სივრცეს მეტალების კრისტალური სტრუქტურის წარმოქმნელ იონებს შორის. ამ იონური სტრუქტურის არსებობის გამო, ელექტრონები ვერ ტოვებენ მეტალს თავისუფლად. საჭიროა ე.წ. პოტენციური ბარიერის გადალახვა. ჩვეულებრივ პირობებში ელექტრონებს არ ყოფნის ენერგია ამ ბარიერის გადასალახავათ და მეტალების დასატოვებლად.



ტოლმენ - სტიუარტის ექსპერიმენტი ადასტურებს წარმოდგენის მეტალებში ელექტრონების ქცევს, როგორც იდეალური გაზის ქცევის თაობაზე. ელექტრონების მოძრაობის საშუალო სიჩქარე პირველ რიგში დამოკიდებულია ტემპერატურაზე.

ტემპერატურეს გაზრდით შესაძლებელია მივანიჭოთ ელექტრონებს პოტენციური ბარიერის გადასალახავად საკმარისი ენერგია. ეს შესაძლებელია თვით ელექტრონების მოწესრიგებული მოძრაობით, ანუ მეტალში დენის გატარებით მოხდეს.

ელექტრული წრედის შეკვრის შემდეგ, დენი პრაქტიკულად მყისიერად ყალიბდება მეტალურ გამტარში. წრედის შეკვრა იწვევს მეტალში ელექტრული ველის სინათლის სიჩქარით გავრცელებას. მიახლოებით $1/c$ დროში, სადაც l გამტარის სიგრძეა, გამტარში ყალიბდება ელექტრული ველის განაწილება და იწყება ელექტრონების მოწესრიგებული მოძრაობა – დენი.

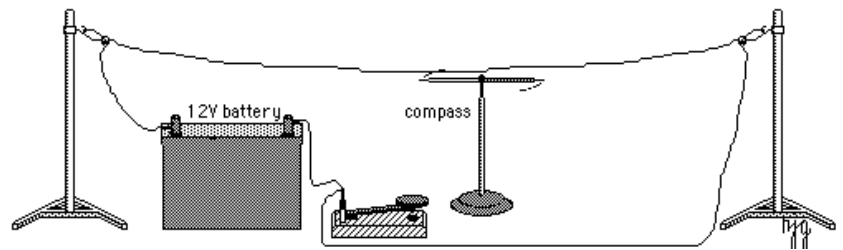
10. ელექტრობის კანონები – ელექტრული დენების მაგნიტური ურთიერთქმედება

10.1 ერსტედის ცდა

მაგნიტური მოვლენების არსებობა უხსოვარი დროიდან არის ცნობილი. სანაუიგაციო ინსტრუმენტი – კომპასი, რომელიც იყენებს მაგნეტიზმის მოვლენას და დედამიწის მაგნიტური ველის არსებობის ფაქტს, ცნობილი იყო თითქმის 4000 წლის წინ. მაგრამ მხოლოდ XIX საუკუნეში გაირკვა კავშირი ელექტრულ და მაგნიტური მოვლენებს შორის და შემოდებულ იქნა მაგნიტური ველის ცნება.



ჰანს ქრისტიან ერსტედი



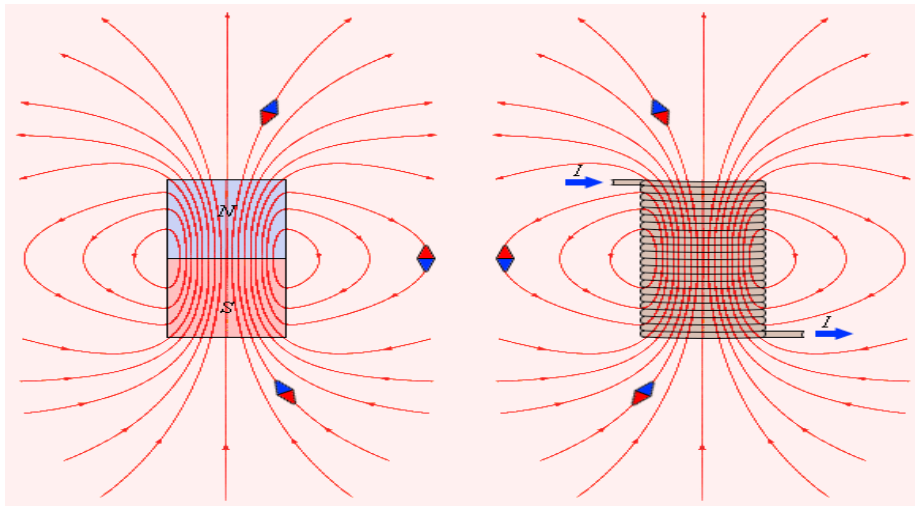
ერსტედის ცდა

1820 წელს დანიელმა ფიზიკოსმა ჰანს ქრისტიან ერსტედმა ცდის შედეგად აღმოაჩინა, რომ ელექტრული დენი ზეგავლენას ახდენს მაგნიტური ისარზე – დენის გამტარის ისართან მიახლოებისას, ისარზე მოქმედებს ძალა, რომელიც ცვლის მაგნიტური ისრის მიმართულებას. ეს, პირველი შეხედვით, მარტივი ექსპერიმენტი ასახავს ბუნების კიდევ ერთ ღრმა, ფუნდამენტურ კანონზომიერებას, რომელმაც შეცვალა ადამიანთა ცივილიზაციის სახე. ამ ექსპერიმენტულ ფაქტს უდიდესი მნიშვნელობა აქვს ელექტრული მოვლენების კვლევაში.

10.2 ამპერის ძალა და კანონი

ერსტედის აღმოჩენა მოითხოვდა ზუსტ გაზომვებს, ურთიერთქმედების რიცხვითი მნიშვნელობების მიღებას და კანონზომიერების დადგენას. ეს კვლევა განახორციელა ფრანგმა ფიზიკოსმა ანდრე ამპერმა. ამპერმა დაადგინა, რომ ელექტრული დენები ერთმანეთზე მოქმედებენ მაგნიტური ველების მეშვეობით. ამპერეს კვლევების შემდეგ ელექტრული და მაგნიტური მოვლენები განუყოფელად, როგორც ერთიანი ფიზიკური მოვლენის ორი მხარე განიხილება.

მაგნიტური ველის წყაროს წარმოადგენენ მოძრავი ელექტრული მუხტები ან დენები. გამტარის გარშემო დენი ქმნის მაგნიტურ ველს. მაგნიტური ველის ცნება შეგვიძლია ელექტრული ველის ცნების ანალოგიურად შემოვიდოთ. სასინჯო მუხტის ანალოგს შეასრულებს მაგნიტური ისარი. ისრის მდგომარეობა (მობრუნების კუთხე) ამჟღავნებს მაგნიტური ურთიერთქმედების ძალის მიმართულებას. მაგნიტური ისრები ლაგდებიან მაგნიტური ძალწირების გასწვრივ.

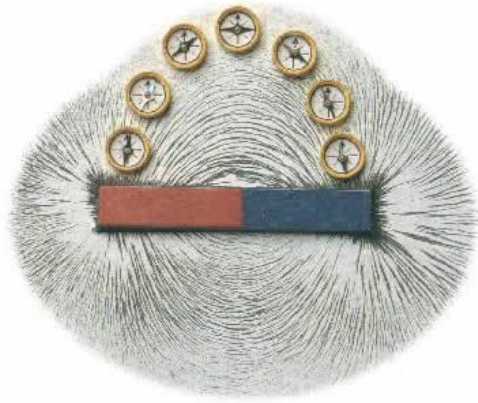


ნახატი 9.2.1

9.2.1 ნახატზე ნაჩვენებია მუდმივი მაგნიტის (დამაგნიტებული მაგნიტური შენაღობის) და ელექტრული კოჭას მაგნიტური ველები. ერთ შემთხვევაში ველის წყაროს წარმოადგენს მაგნიტი, მეორეში – კოჭაში გამავალი დენი. შესაძლებელია კოჭას ზომების და დენის სიდიდის ისეთი მნიშვნელობების შერჩევა, რომ ველები ერთმანეთის იდენტურები იქნებიან, ანუ ველებს ერთმანეთისაგან ვერანაირად ვერ განვასხვავებთ. ორივე შემთხვევაში მაგნიტური ველებს ექნება ორი მაგნიტური პოლარობა N და S პოლარობა. პოლარობა აღინიშნება კომპასის მაგნიტური ისართან ურთიერთქმედების მიხედვით, ანუ დედამიწის მაგნიტური ველის პოლარობასთან არის მიყვანილი. ერთი და იგივე ნიშნის პოლუსები განიზიდებიან, სხვადასხვა მაგნიტური ნიშნის კი მიიზიდებიან.

მაგნიტური ველის ერთერთი პრინციპული განსხვავება ელექტრულისაგან (და გრავიტაციულისაგან) იმაში მდგომარეობს, რომ ამ ველს არ გააჩნია ველს არ გააჩნია ელექტრული ველის მუხტის მსგავსი წყარო. მაგნიტური ძალწირი ყოველთვის შეკრულია, არა აქვს საწყისი და ბოლო მუხტთან, როგორც ელექტრულ ძალწირთან.

მაგნიტური ველის აღსაწერად აუცილებელია ურთიერთქმედების ისეთივე მახასიათებლის შემოღება როგორც არის ელექტრული ველის დაძაბულობა \vec{E} . ამ მახასიათებელს წარმოადგენს ე.წ. მაგნიტური ინდუქციის ვექტორული \vec{B} , რომელიც განსაზღვრავს მაგნიტურ ველში დანებზე ან მოძრავ მუხტებზე მოქმედი ძალების მიმართულებას და მნიშვნელობებს. ვექტორის მნიშვნელობა მიღებულია დადებითად, თუ ვექტორი მიმართულია სამხრეთი პოლუსიდან ჩრდილოეთი პოლუსისაკენ, ანუ S -იდან N -ისაკენ. მაგნიტური ველის შესწავლის შემთხვევაში სასინჯო მოწყობილობას წარმოადგენს მაგნიტური ისარი, რომელსაც თავისუფლად შეუძლია ორიენტირება მაგნიტურ ველში. მაგნიტური ინდუქციის ვექტორი სწორედ ისარს მიყვება. მაგნიტური ისარი ველის თვალსაჩინოთ წარმოდგენის საშუალებას გვაძლევს.



ცნობილია კლასიკური ლაბორატორული ცდა, რომელიც მეტად თვალსაჩინოთ ავლენს მაგნიტური ინდუქციის ხაზებას. რლინის ნახერხის მარცვლები ადვილად მაგნიტდებიან. ისინი პატარა მაგნიტურ ისრებს წარმოადგენენ და ლაგდებიან ძალხაზების გასწვრივ. თუ მუდმივ მაგნიტს რკინის ნახერხს მოვავრით, გამოჩნდება ნახატზე წარმოდგენილი სურათის მსგავსი, ძალხაზების ამსახველი სურათი.

მხოლოდ ინდუქციის ვექტორის მიმართულების განსაზღვრა არ არის საკმარისი მაგნიტური ველის დახასიათებისათვის, საჭიროა ვექტორის მოდულის განსაზღვრა. ადვილი მისახვედრია, რომ მაგნიტური ველში უნდა მოთავსდეს გამტარი, რომელშიც გადის დენი I და განისაზღვტოს მისი სიგრძის Δl ერთეულზე მომქმედი ძალა F .

ექსპერიმენტი გვიჩვენებს, რომ ეს ძალა დენის სიდიდის და გამტარის სიგრძის პროპორციულია, და აგრეთვე დამოკიდებულია კუთხეზე დენის და ინდუქციის ვექტორებს შორის. ამ ძალას ამპერის ძალა ქვია:

$$F \sim I \Delta l \sin \alpha$$

ძალის მნიშვნელობა მაქსიმალურია - F_{\max} , როდესაც დენის მიმართულება მაგნიტური ძალწირის მიმართულების მართობულია.

შემოვიდეთ მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მოდულის მნიშვნელობის შემდეგი განმარტება:

$$B = \frac{F_{\max}}{I \Delta l}$$

ამგვარად, ჩვენ შემოგვაქვს მაგნიტური ველის ცნება, ანუ შემოგვაქვს მაგნიტური ველის შემქმნელი წყაროს მახასიათებელი, რომლის საშუალებით შეგვიძლია განვსაზღვროთ ამპერის ძალა ველის ნებისმიერ წერტილში. ეს ისეთივე ხასიათის განზოგადოებაა, რომელიც შემოვიდეთ ელექტრული ველის ცნების შემოდების დროს. ამგვარად,

$$F = I \cdot B \cdot \Delta l \cdot \sin \alpha ,$$

სადაც α - უკვე ნახსენები კუთხეა დენის მიმართულებასა და მაგნიტური ველის ინდუქციის (ელექტრული ველის დაძაბულობის ანალიგის) ვექტორს შორის. ეს ფორმულა ამპერის კანონს ასახავს.

წარმოვიდგინოთ ყველაზე მარტივი შემთხვევა, როდესაც მაგნიტური ველი შექმნილია უსასრულო სიგრძის გამტარის მიერ. ამ ველში შეტანილი, პირველის პარალელი მხარე სადენი ამპერის ძალის ზემოქმედებას განიცდის. ორივე გამტარი ქმნის მაგნიტურ ველს და მათი ურთიერთზემოქმედება ამპერეს ძალით არის გამოწვეული: ერთი გამტარის მაგნიტური ველი ამპერეს ძალით მოქმედებს მეორის დენზე და პირიქით - მეორე დენის ველი მოქმედებს პირველზე. ექსპერიმენტი გვიჩვენებს, რომ ეს ძალა - გამტარების Δl ელემენტების ერთმანეთზე ზემოქმედების ძალა გამტარებში გამავალი დენების პროპორციულია და გამტარებს შორის მანძილის უკუპროპორციულია:

$$F = k \frac{I_1 I_2 \Delta l}{R}$$

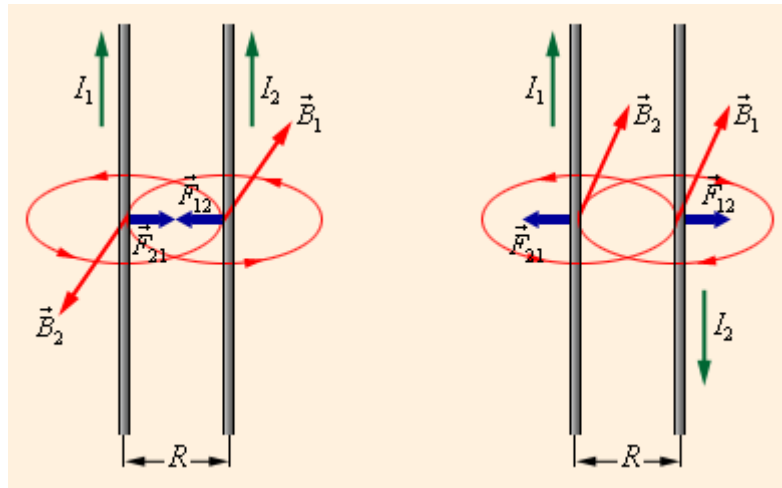
მაგნიტური ინდუქციის განმარტებიდან გამომდინარე პირველი სადენის მაგნიტური ინდუქციის ვექტორი შემდეგნაირად გამოისახება:

$$B_1 = \frac{F}{I_2 \Delta l} = k \frac{I_1}{R},$$

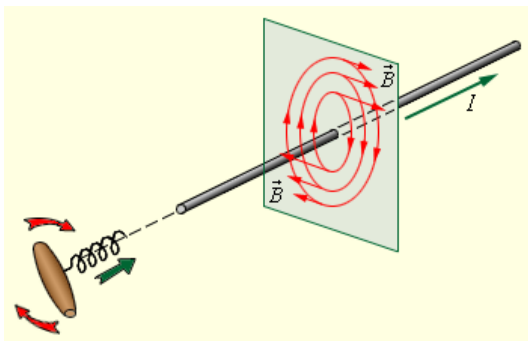
მეორესი - $B_2 = \frac{F}{I_1 \Delta l} = k \frac{I_2}{R}$, ანუ ზოგადად დენის მაგნიტური ინდუქციის მოდული

$$B = k \frac{I}{R}.$$

ეს განხილული შემთხვევა წარმოდგენილია 9.2.2 ნახატზე.



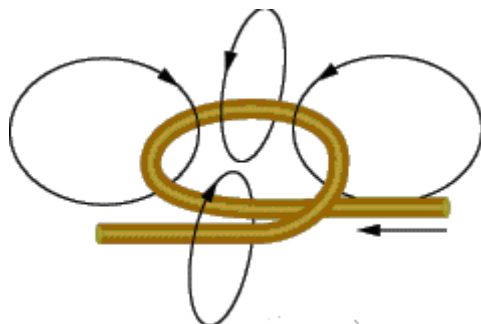
ნახატი 9.2.2. დენების მაგნიტური ურთიერთქმედება და ელექტრული დენით ინდუცირებული (გამოწვეული) მაგნიტური ველი



დენის მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მიმართულების დასამახსოვრებლათ იყენებენ ე.წ. ხრახნის წესს. ნახატზე ნაჩვენებია დენის, მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის და ხრახნის ბრუნვის მიმართულება. უმრავლეს შემთხვევაში ყოველდღიურ საქმიანობაში ჩვენ ვიყენებთ ხრახნებს, რომელთა წინსვლა ხორციელდება საათის ისრის მიმართულებით, როდესაც წინსვლა ჩვენგან ხდება.

10.3 ბიო-სავარის კანონი

მაგნიტური ველიც სუპერპოზიციის პრინციპს ექვემდებარება. თუ ველი შექმნილია რამდენიმე დენით, ველის ინდუქცია წარმოადგენს დენებით გამოწვეული ინდუქციების ვექტორულ ჯამს.

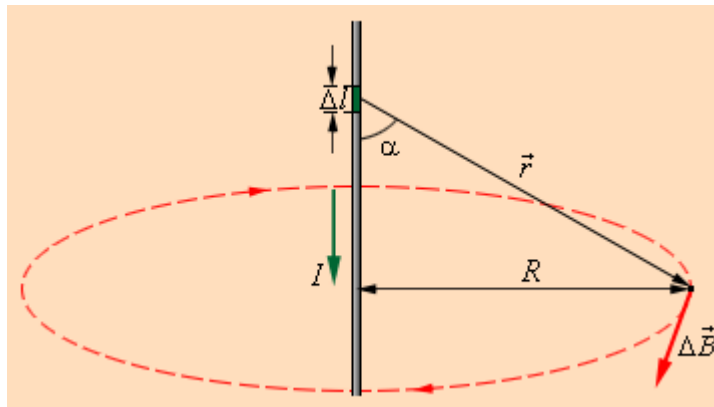


სუპერპოზიციის პრინციპიდან გამომდინარე, სივრცის ნებისმიერ წერტილში ნებისმიერი ფორმის გამტარის მაგნიტური ზემოქმედება შეიძლება განისაზღვროს როგორც გამტარის ყველა Δl ელემენტის ვექტორული ჯამი. ამგვარად, თეორიის თვალსაზრისით ყველაფერი წესრიგში გვაქვს, ანუ ნებისმიერი ფორმის დენების მაგნიტური ველი მათემატიკურ აღწერას ექვემდებარება.

სხვადასხვა კონფიგურაციის დენების მაგნიტური ველების შესწავლა და ამ დასკვნების მიღება ეკუთვნის ფრანგ მეცნიერებს ჟან ბიოს და ფელიქს სავარს. მათმეორ დადგინდნ კანონს სშირად ბიო-სავარ-ლაპლასის კანონს უწოდებენ. ბიომ და სავარმა განახორციელეს ექსპერიმენტები, რომლებშიც დენებს განიხილავდნენ გემოდსენებული დენის მცირე ელემენტების სახით. ეს მიდგომა მათ შეთავაზა პიერ-სიმონ ლაპლასმა, ყველა დროის ერთერთმა უდიდესმა ფიზიკოსმა და მათემატიკოსმა. ბიომ და სავარმა დაადგინეს კანონზომიერება, რომელიც ბიო-სავარის კანონით არის ცნობილი:

$$\Delta B = k \frac{I \Delta l \sin \alpha}{R^2}.$$

კანონი განსაზღვრავს დენის გამტარის მცირე მონაკვეთის წვლილს ამ დენის მიერ შექმნილი მაგნიტური ველის ინდუქციაში სივრცის რაიმე წერტილში, რომელიც ელემენტიდან R მანძილით არის დაშორებული. ას ΔB წვლილი გამტარში გამავალი დენის მნიშვნელობის და სადენის ელემენტის სიგრძის პროპორციულია, პროპორციულია დენის მიმართულების და \vec{R} რადიუს ვექტორის კუთხის სინუსის და რადიუს ვექტორის მოდულის კვადრატის უკუპროპორციულია. ამ ფორმულის ყველა ელემენტი ნახვენებია 10.3.1 ნახატზე.



ნახატი 10.3.1 ბიო-სავარის კანონის ამსახველი ელემენტები

ΔB წარმოადგენს დენის ელემენტის ზემოქმედების ძალას. მიაქციეთ ყურადღება, რომ აქაც, როგორც ნიუტონის და კულონის კანონების შემთხვევაში, გვაქვს მანძილის კვადრატის უკუპროპორციული დამოკიდებულება.

ბიოსავარის კანონზე დაყრდნობით შეგვიძლია განვსაზღვროთ უსასრულოდ გრძელი გამტარის დენის მიერ შექმნილი მაგნიტური ველის ინდუქცია. გამტარი მცირე მონაკვეთებათ უნდა გავყოთ და მივმართოთ ამ სეგმენტების მიერ შექმნილი ინდუქციების ვექტორების მნიშვნელობების აჯამვას. ამ მათემატიკური ოპერაციის, ანუ ინტეგრირების შედეგად მივიღებთ იდუქციის მნიშვნელობას

$$B = k \cdot I / R.$$

ფიზიკური შინაარსის თვალსაზრისით, დიდი მსგავსობაა პოტენციალის ცნებასთან.