

ავთანდილ შურღაია

ფიზიკა ამოცანებში

მაგნიტური ველი

მაგნიტური ველი იქმნება მოწესრიგებულად მოძრავი მუხტებით. როგორც ცნობილია, ელექტრული მუხტების ანალოგიური მაგნიტური მუხტები ბუნებაში არ არსებობს. მაგნიტური ველის ძალური მახასიათებელია მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორი. თუ მოვათავსებთ მაგნიტურ ველში მართკუთხა დენიან ჩარჩოს, მაშინ ეს ჩარჩო მობრუნდება და გაჩერდება ისეთ მდგომარეობაში, რომელშიც ჩარჩოს დადებითი (მარჯვენა ბურღის წესით განსაზღვრული) ნორმალის მიმართულება ემთხვევა მაგნიტური ველის მიმართულებას. თუ ჩარჩოს მოვაბრუნებთ რაიმე კუთხით, ველი მასზე იმოქმედებს მაბრუნებელი ძალის მომენტით, რომელიც ჩარჩოს ფართობის და მასში გამავალი დენის ძალის პროპორციულია. პროპორციულობის კოეფიციენტი განსაზღვრავს მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის მოდულს:

$$B = \frac{M}{IS}$$

მაგნიტური ინდუქციის ერთეულია ტესლა.

წრფივი დენიანი გამტარის მაგნიტური ველის ინდუქციის სიდიდე გამტარისგან r მანძილზე ტოლია

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r},$$

$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ნ} \cdot \text{ამპერი}^{-2}$ არის ვაკუუმის მაგნიტური შეღწევადობა. ველის მიმართულება განსაზღვრება მარჯვენა ხელის წესით: თუ მარჯვენა ხელის გაშლილ ცერა თითს მივმართავთ გამტარში გამავალი დენი გასწვრივ, მაშინ დენიან გამტარზე შემოხვეული ოთხი დანარჩენი თითი განსაზღვრავს მაგნიტური ველის მიმართულებას - ეს იქნება იმ წრეწირის მხების გასწვრივ, რომლის ცენტრში არის წრფივი გამტარი და რომლის რადიუსია r .

მაგნიტური ველის ინდუქციის სიდიდე R რადიუსის მქონე წრიული მარყუჟის ცენტრში ტოლია

$$B = \frac{\mu_0 I}{2R}, \quad (1)$$

ხოლო მიმართულებას დავადგენთ ზემოთ აღწერილი მარჯვენა ხელის წესის გამოყენებით.

L სიგრძის სოლენოიდის შიგნით, რომლის ხვიებში გადის I დენი, მაგნიტური ველი ერთგვაროვანია და მისი სიდიდე ტოლია

$$B = \frac{\mu_0 NI}{L}, \quad (2)$$

სადაც N არის სოლენოიდის ხვიათა რიცხვი. მაგნიტური ველის მიმართულების დასადგენად მარჯვენა ხელის ოთხი თითი უნდა შემოვახვიოთ სოლენოიდს ხვებში გამავალი დენის მიმართულებით, მაშინ გაშლილი ცერა თითი გვიჩვენებს სოლენოიდის შიგნით მაგნიტური ველის მიმართულებას.

მაგნიტურ ველში მოთავსებულ L სიგრძის დენიან გამტარზე, რომელშიც დენი გადის მაგნიტური ველის მიმართ α კუთხით, მოქმედებს ძალა, რომლის სიდიდე განისაზღვრება ფორმულით

$$F = BIL \sin \alpha. \quad (3)$$

ძალის მიმართულებას ვადგენთ მარჯვენა ხელის წესით: თუ მარჯვენა ხელის გაშლილი ცერა თითი მიმართულია დენის გასწვრივ, ხოლო გაშლილი საჩვენებელი თითი მაგნიტური ველის გასწვრივ, მაშინ მართი კუთხით მოხრილი სამი დანარჩენი თითი ემთხვევა ძალის მიმართულებას.

ორი L სიგრძის მქონე გამტარი, რომელთა შორის მანძილი არის r და რომლებშიც შესაბამისად გადის I_1 და I_2 დენი, ერთმანეთზე მოქმედებს ძალით

$$F = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi r} L. \quad (4)$$

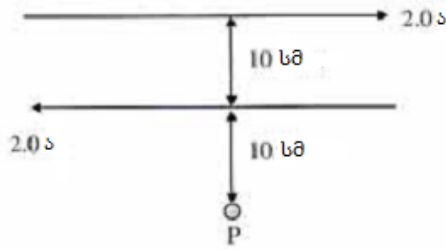
ამასთან გამტარები ერთმანეთს იზიდავენ, თუ დენებს აქვთ ერთი და იგივე მიმართულება და განიზიდავენ პირიქით შემთხვევაში.

მაგნიტური ველი მოქმედებს აგრეთვე v სიჩქარით მოძრავ დადებითი q მუხტის მატარებელ ცალკეულ ნაწილაკზე ძალით, რომლის სიდიდეც ტოლია

$$F = qvB \sin \alpha. \quad (5)$$

აქ α არის კუთხე მაგნიტური ველის და ნაწილაკის სიჩქარის მიმართულებებს შორის. ძალის მიმართულება განისაზღვრება დენიან გამტარზე მოქმედი ძალის მიმართულების მსგავსად იმ განსხვავებით, რომ დენის ძალის მიმართულება ამ შემთხვევაში შეცვლილია დამუხტული ნაწილაკის მოძრაობის სიჩქარის მიმართულებით.

მაგნიტური ველის განსაზღვრა: განსაზღვრეთ მაგნიტური ველის ინდუქციის სიდიდე და მიმართულება P წერტილში.



P წერტილში ორივე გამტარი ქმნის მაგნიტურ ველს. ჯამური მაგნიტური ველის ინდუქცია განისაზღვრება მათ მიერ შექმნილი ველების ინდუქციების ვექტორების შეკრების წესით. (1) ფორმულის თანახმად ზედა გამტარის მიერ შექმნილი მაგნიტური ველი მიმართულია ჩვენგან სიბრტყის მართობულად და სიდიდით ტოლია

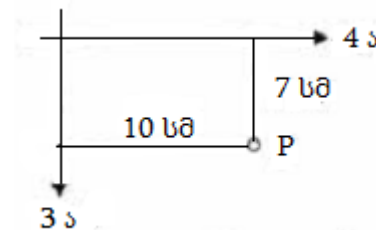
$$B = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r} = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{2}{2\pi 0.2} \text{ ტ} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ ტ.}$$

ქვედა გამტარი ქმნის სიბრტყიდან მართობულად გამომავალ ველს, რომლის ინდუქციის სიდიდე ტოლია

$$B = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi r} = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{2}{2\pi 0.1} \text{ ტ} = 4 \cdot 10^{-6} \text{ ტ.}$$

ამრიგად P წერტილში ჯამური მაგნიტური ველი მიმართულია სიბრტყის მართობულად და მისგან გამოდის. ინდუქციის სიდიდე ტოლია $B = 2 \cdot 10^{-6} \text{ ტ.}$

მაგნიტური ველის განსაზღვრა: განსაზღვრეთ მაგნიტური ველის სიდიდე და მიმართულება P წერტილში.



ზედა გამტარის მიერ შექმნილი მაგნიტური ველი P წერტილში მიმართულია ჩვენგან სიბრტყის მართობულად. ველის ინდუქციის ვექტორის სიდიდე ტოლია

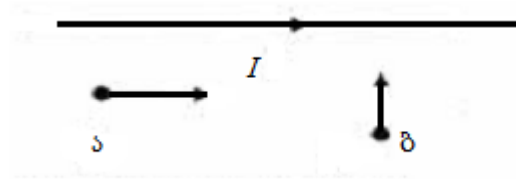
$$B = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r} = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{4}{2\pi 0.7} \text{ ტ} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ ტ.}$$

მეორე გამტარი იმავე წერტილში ქმნის სიბრტყიდან მართობულად გამომავალ ველს, რომლის ინდუქციის ვექტორის სიდიდეა

$$B = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r} = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{3}{2\pi 0.1} \text{ ტ} = 6 \cdot 10^{-6} \text{ ტ.}$$

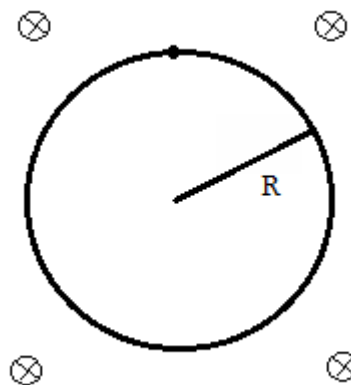
ამრიგად P წერტილში შექმნილია სიბრტყიდან მის მართობულად გამომავალი ველი, რომლის ინდუქციის ვექტორის სიდიდეა $B = 4 \cdot 10^{-6}$ ტ.

დამუხტულ ნაწილაკზე მოქმედი ძალა: ელექტრონი მოძრაობს ა) წრფივი დენიანი გამტარის პარალელურად მასში გამავალი დენის გასწვრივ; ბ) წრფივი დენიანი გამტარის მართობულად გამტარისკენ. განსაზღვრეთ ორივე შემთხვევაში ელექტრონზე მოქმედი ძალა.



ჯერ განვსაზღვროთ დენის გამტარის მიერ შექმნილი მაგნიტური ველის მიმართულება იმ წერტილში, სადაც იმყოფება ელექტრონი. ორივე შემთხვევაში ველი მიმართულია სიბრტყის მართობულად და შედის მასში. ორივე შემთხვევაში კუთხე სიჩქარეს და ველს შორის არის მართი. ა) შემთხვევაში მარჯვენა ხელის წესის თანახმად, დადებით მუხტზე მოქმედი ძალა ძევს სიჩქარესა და გამტარზე გამავალ სიბრტყეში და მიმართულია გამტარიდან ქვემოთ. ამიტომ ელექტრონზე იმოქმედებს საპირისპირო ძალა. ბ) შემთხვევაში იგივე მარჯვენა ხელის წესით დადებით მუხტზე იმოქმედებს ძალა, რომელიც ძევს იმავე სიბრტყეში და მიმართულია გამტარის პარალელურად მარცხნიდან მარჯვნივ. ელექტრონზე იმოქმედებს მის საპირისპიროდ მიმართული ძალა.

მაგნიტურ ველში მოძრავი დამუხტული ნაწილაკი: $q = 5$ მკვ მუხტის მატარებელი ნაწილაკი გარკვეული სიჩქარით შევიდა მუდმივ მაგნიტურ ველში ველის მართობულად და მოძრაობა გააგრძელა წრეწირზე. განსაზღვრეთ მისი ბრუნვის პერიოდი. მაგნიტური ინდუქციის ვექტორის სიდიდე ტოლი $B = 10^4$ ტ, ხოლო ნაწილაკის მასა $m = 0.2$ გ.



დამუხტულ ნაწილაკზე მოქმედებს სიჩქარის მართობულად მოქმედი ძალა, რომლის სიდიდე ტოლია

$$F = qvB.$$

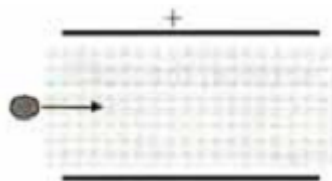
ნიუტონის მეორე კანონის ძალით $F = ma$. ნაწილაკი მოძრაობს მუდმივი სიდიდის ცენტრისკენული აჩქარებით $a = \omega^2 R$, სადაც R არის წრეწირის რადიუსი. თუ გავიხსენებთ, რომ ნაწილაკის სიჩქარე $v = \omega R$, მაშინ ნიუტონის მეორე კანონი ასე გადაიწერება;

$$qB = m\omega = \frac{2\pi m}{T}.$$

აქედან ბრუნვის პერიოდისთვის მივიღებთ:

$$T = \frac{2\pi m}{qB} = 0.025 \text{ წმ.}$$

ელექტრონი მაგნიტურ და ელექტრულ ველებში: $d = 5\text{სმ}$ -ით დაშორებული ორი პარალელური ფირფიტა დამუხტულია ისე, რომ მათ შორის ძაბვა ტოლია $U = 120\text{ვ}$. ელექტრონი შევარდა ფირფიტებს შორის მათ პარალელურად $v = 2 \cdot 10^5\text{მ/წმ}$ სიჩქარით. როგორი უნდა იყოს ფირფიტებს შორის მოთავსებული მაგნიტური ველის ინდუქციის ვექტორის სიდიდე და მიმართულება, რომ ელექტრონი წრფივად იმავე სიჩქარით გააგრძელოს მოძრაობა.



ელექტრონი წრფივად იმავე სიჩქარით გააგრძელებს მოძრაობას, თუ მასზე მოქმედი ძალების ტოლქმედი ნულს გაუტოლდება. ამიტომ ელექტრულმა და მაგნიტურმა ველებმა უნდა იმოქმედონ მასზე ურთიერთსაპირისპიროდ მიმართული და სიდიდით ტოლი ძალებით: $\vec{F}_e = -\vec{F}_m$. რადგან ელექტრული ველი ელექტრონზე იმოქმედებს ვერტიკალურად ზევით მიმართული ძალით, მაგნიტური ველის მიმართულება ისეთი უნდა იყოს, რომ მან ელექტრონზე იმოქმედოს საპირისპიროდ მიმართული ძალით. მარჯვენა ხელის წესით ადვილია განისაზღვროს ველის ინდუქციის ვექტორის მიმართულება, რადგან ჩვენ ვიცით უკვე ელექტრონის სიჩქარის და მასზე მაგნიტური ველის მხრიდან მოქმედი ძალის მიმართულებები. მაგნიტური ველი უნდა იყოს მიმართული სიბრტყის მართობულად ჩვენკენ. თუ გავიხსენებთ ძალებს, რომლითაც ელექტრული და მაგნიტური ველები იმოქმედებენ დამუხტულ ნაწილაკებზე, მივიღებთ შემდეგ ტოლობას:

$$q \frac{U}{d} = qvB \Rightarrow B = \frac{U}{vd} = 1.2 \cdot 10^{-2} \text{ ტ.}$$

