

1 МАГНІТНЕ ПОЛЕ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ

1.1 Мета заняття

Користуючись основними законами магнетизму, навчитися розв'язувати задачі з розрахунку кількісних характеристик магнітного поля, дії магнітного поля на струми та заряджені частинки.

1.2 Методичні вказівки з організації самостійної роботи студентів

Під час підготовки до заняття необхідно вивчити теоретичний матеріал, наведений у конспекті лекцій та підручнику [1, розд. 5; 3, §39-50, 72-76; 5, розд. 5.1]. Зверніть увагу на зміст та межі застосування основних законів і формул цього розділу.

1.3 Основні закони і формули

1. Закон Біо-Савара-Лапласа

$$d\vec{B} = \frac{\mu_0\mu}{4\pi} I \frac{[d\vec{l}, \vec{r}]}{r^3},$$

де $d\vec{B}$ – магнітна індукція поля, яке створюється елементом провідника довжиною dl зі струмом; μ_0 – магнітна стала; μ – магнітна проникність (у вакуумі $\mu=1$); $d\vec{l}$ – вектор, який дорівнює за модулем dl провідника і збігається за напрямком зі струмом; \vec{r} – радіус-вектор, проведений від середини елемента провідника до точки, в якій визначається магнітна індукція; I – сила струму.

Модуль вектора $d\vec{B}$

$$dB = \frac{\mu_0\mu}{4\pi} \frac{Idl \sin \alpha}{r^2},$$

де α – кут між векторами $d\vec{l}$ і \vec{r} .

2. Зв'язок магнітної індукції \vec{B} із напруженістю \vec{H} магнітного поля

$$\vec{B} = \mu_0\mu\vec{H}.$$

У вакуумі ($\mu=1$)

$$\vec{B} = \mu_0\vec{H}.$$

3. Магнітна індукція у центрі колового провідника зі струмом

$$B = \frac{\mu_0\mu I}{2R},$$

де R – радіус колового витка.

4. Магнітна індукція у будь-якій точці на осі колового струму

$$B = \frac{\mu_0 \mu}{2} \frac{IR^2}{(R^2 + h^2)^{3/2}},$$

де h – відстань від центра витка до точки, в якій визначається магнітна індукція.

5. Магнітна індукція поля, що створюється нескінченно довгим прямим провідником зі струмом

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

де R – відстань від осі провідника.

6. Магнітна індукція поля, що створюється відрізком провідника

$$B = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{I}{r_0} (\cos \varphi_1 - \cos \varphi_2),$$

де позначення I , r_0 , φ_1 , φ_2 зрозумілі з рис. 1.1 (вектор \vec{B} напрямлений перпендикулярно площині рисунка).

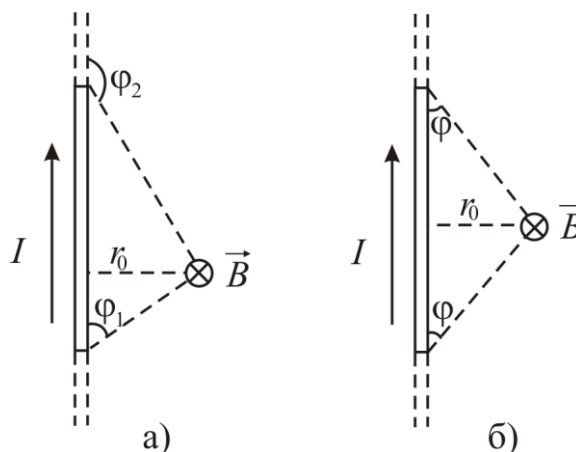


Рисунок 1.1

При симетричному розташуванні кінців провідника відносно точки, в якій визначається магнітна індукція (рис. 1.1, б)

$$-\cos \varphi_2 = \cos \varphi_1 = \cos \varphi.$$

Отже,

$$B = \frac{\mu_0 \mu}{2\pi} \frac{I}{r_0} \cos \varphi.$$

7. Магнітна індукція поля всередині соленоїда

$$B = \frac{\mu_0 \mu NI}{l} = \mu_0 \mu n I,$$

де N – кількість витків соленоїда; l – довжина соленоїда; I – сила струму в одному витку, n – щільність намотки, тобто кількість витків, що припадають на одиницю довжини соленоїда.

8. Принцип суперпозиції магнітних полів

$$\vec{B} = \sum_{i=1}^n \vec{B}_i,$$

де \vec{B} – вектор магнітної індукції поля, яке породжується декількома рухомими зарядами (струмами); \vec{B}_i – вектор магнітної індукції поля, яке породжується окремим рухомим зарядом (струмом).

У випадку накладання двох полів

$$\vec{B} = \vec{B}_1 + \vec{B}_2,$$

а модуль вектора магнітної індукції

$$B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2 - 2B_1B_2 \cos \alpha},$$

де α – кут між векторами.

9. Закон Ампера. Сила, що діє на провідник зі струмом у магнітному полі

$$\vec{F} = I [\vec{l}, \vec{B}],$$

де I – сила струму, \vec{l} – вектор, який за модулем дорівнює довжині l провідника і за напрямком збігається з напрямком струму; \vec{B} – магнітна індукція поля.

Модуль вектора сили \vec{F}

$$F = IBl \sin \alpha,$$

де α – кут між векторами \vec{l} і \vec{B} .

Сила, що діє на елемент провідника $d\vec{l}$ зі струмом I в магнітному полі

$$d\vec{F} = I [d\vec{l}, \vec{B}],$$

або за модулем

$$dF = IBdl \sin \alpha,$$

де α – кут між $d\vec{l}$ і \vec{B} .

10. Сила взаємодії двох прямих паралельних провідників зі струмами I_1 та I_2 :

$$F = \frac{\mu_0 \mu}{2\pi} \frac{I_1 I_2}{d} l,$$

де l – довжина провідників, d – відстань між ними.

11. Магнітний момент плоского контуру зі струмом

$$\vec{p}_m = IS\vec{n},$$

де I – сила струму у плоскому контурі, S – площа контуру, \vec{n} – одиничний вектор позитивної нормалі до контуру.

12. Механічний момент, який діє на рамку зі струмом із боку магнітного поля:

$$\vec{M} = [\vec{p}_m, \vec{B}],$$

$$M = p_m B \sin \alpha,$$

де α – кут між векторами \vec{p}_m і \vec{B} .

13. Сила Лоренца

$$\vec{F} = q[\vec{v}, \vec{B}],$$

або за модулем

$$F = qvB \sin \alpha,$$

де \vec{v} – швидкість зарядженої частинки, q – заряд частинки, α – кут між векторами \vec{v} і \vec{B} .

Якщо частинка знаходиться одночасно в електричному і магнітному полях, то сила, що діє на частинку, має вигляд

$$\vec{F} = q\vec{E} + q[\vec{v}, \vec{B}],$$

де \vec{E} – напруженість електричного поля.

14. Теорема про циркуляцію вектора \vec{B} (закон повного струму для магнітного поля у вакуумі)

$$\oint_L \vec{B} d\vec{l} = \mu\mu_0 \sum_{i=1}^n I_i,$$

де n – кількість провідників зі струмом, які охоплені контуром L довільної форми.

15. Потік вектора магнітної індукції (магнітний потік) крізь площину dS

$$d\Phi_B = \vec{B} d\vec{S} = B dS \cos \alpha = B_n dS,$$

де $B_n = B \cos \alpha$ – проекція вектора \vec{B} на напрямок нормалі до площини dS (α – кут між векторами \vec{n} і \vec{B}), $d\vec{S} = \vec{n} dS$ – вектор, модуль якого дорівнює dS , а напрямок збігається з напрямком нормалі \vec{n} до площини.

Магнітний потік крізь довільну поверхню

$$\Phi_B = \int_S \vec{B} d\vec{S} = \int_S B_n dS.$$

16. Повний потік (потокозчеплення)

$$\Psi = N\Phi,$$

де N – кількість витків соленоїда або тороїда з рівномірним намотуванням, які щільно прилягають один до одного.

17. Робота з переміщення провідника зі струмом у магнітному полі

$$dA = Id\Phi.$$

18. Робота з переміщення контуру зі струмом

$$dA = I(d\Phi_2 - d\Phi_1),$$

де $d\Phi_1$ – потік, який пронизує контур у початковому положенні, $d\Phi_2$ – у кінцевому.

1.4 Контрольні запитання та завдання

1. Що називають магнітним полем? Яка його природа та кількісні характеристики?

2. Яку величину називають вектором магнітної індукції? Як визначити її напрямок?
3. Як пов'язані магнітна індукція \vec{B} та напруженість \vec{H} магнітного поля?
4. Сформулюйте закон Біо-Савара-Лапласа.
5. Сформулюйте принцип суперпозиції магнітних полів.
6. Чому дорівнює магнітна індукція у центрі колового провідника зі струмом?
7. Чому дорівнює магнітна індукція поля, що створюється нескінченно довгим прямим провідником зі струмом? Відрізком провідника?
8. Опишіть дію магнітного поля на прямолінійний провідник зі струмом. Сформулюйте закон Ампера. Як визначити напрямок сили Ампера?
9. Чому дорівнює магнітний момент контуру зі струмом?
10. Чому дорівнює механічний момент рамки зі струмом у магнітному полі?
11. Розрахуйте силу взаємодії двох провідників зі струмами.
12. Що називають магнітним потоком? В яких одиницях його вимірюють?
13. Чому дорівнює робота з переміщення провідника зі струмом у магнітному полі?
14. Сформулюйте закон повного струму.
15. Чому дорівнює сила, що діє на рухомий заряд у магнітному полі? В електричному і магнітному полях одночасно?
16. Як визначити напрямок сили Лоренца?
17. Розрахуйте магнітне поле всередині соленоїда.

1.5 Приклади розв'язання задач

Задача 1. По двох довгих паралельних нескінченних провідниках у протилежних напрямках проходять струми 90 і 70 А. Визначити напруженість магнітного поля, яке створюється струмами у точці M , що лежить на відстані 12 см від першого і 14 см від другого провідників, якщо відстань між ними 10 см.

Дані: $I_1 = 90$ А; $I_2 = 70$ А;

$R_1 = 12$ см; $R_2 = 14$ см; $d = 10$ см;

H – ?

Аналіз і розв'язання

Припустимо, що провідники спрямовані перпендикулярно до площини рис. 1.2. Струм I_1 йде від нас, а I_2 до нас. Кожний струм створює у точці M

напруженість магнітного поля $H_1 = \frac{I_1}{2\pi R_1}$; $H_2 = \frac{I_2}{2\pi R_2}$. Напрямок векторів \vec{H}_1 і

\vec{H}_2 визначається за правилом свердлика і вказаний на рис. 1.2. Згідно з

принципом суперпозиції величина напруженості поля \vec{H} у точці M дорівнює геометричній сумі напруженостей \vec{H}_1 і \vec{H}_2 (за теоремою косинусів):

$$H = \sqrt{H_1^2 + H_2^2 - 2H_1H_2 \cos\beta}. \quad (1.1)$$

Обчислення

$$H_1 = \frac{90}{2\pi \cdot 0,12} = 120 \text{ (А/м)}; H_2 = \frac{70}{2\pi \cdot 0,14} = 80 \text{ (А/м)}.$$

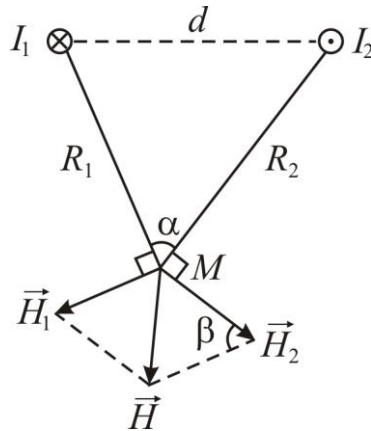


Рисунок 1.2

З (1.1) визначимо $\cos\beta$ (оскільки $\alpha = \beta$, то $\cos\beta = \cos\alpha$)

$$\cos\alpha = \frac{R_1^2 + R_2^2 - d^2}{2R_1R_2} = \frac{(144 + 196 + 100) \cdot 10^{-4}}{2 \cdot 12 \cdot 14 \cdot 10^{-4}} = 0,71$$

Отже

$$H = \sqrt{14400 + 6400 - 2 \cdot 120 \cdot 80 \cdot 0,71} = 84 \text{ А/м}.$$

Задача 2. Круглу рамку зі струмом площею 1 см^2 закріплено паралельно магнітному полю, і на неї діє обертальний момент $M = 10^{-5} \text{ Н}\cdot\text{м}$ при індукції $0,05 \text{ Тл}$. Рамку звільнили, після повороту на 90° її кутова швидкість дорівнює 20 с^{-1} . Визначити струм I , що проходить по рамці, і момент інерції рамки відносно діаметра.

Дані: $S = 1 \text{ см}^2$; $M = 10^{-5} \text{ Н}\cdot\text{м}$;

$B = 0,05 \text{ Тл}$; $\omega = 20 \text{ с}^{-1}$;

$I - ?$ $J - ?$

Аналіз і розв'язання

Коли площа рамки розміщена паралельно полю, на неї діє максимальний обертальний момент $M = p_m B = BIS$, де B – індукція поля; I – сила струму; S – площа рамки; $p_m = IS$ – магнітний момент. Звідси

$$I = \frac{M}{BS}.$$

Під час повороту рамки виконується робота

$$A = I\Delta\Phi,$$

де $\Delta\Phi = BS$ – зміна магнітного потоку, який пронизує площину рамки.

Отже, $A = IBS$. Ця робота дорівнює зміні кінетичної енергії рамки:

$$IBS = J\omega^2/2 - J\omega_0^2/2 = J\omega^2/2,$$

де J – момент інерції рамки; ω – кінцева кутова швидкість; $\omega_0 = 0$ – початкова кутова швидкість. Звідси

$$J = \frac{2IBS}{\omega^2},$$

оскільки $M = BIS$, то $J = \frac{2M}{\omega^2}$.

Обчислення

$$I = \frac{10^{-5}}{0,05 \cdot 10^{-4}} = 2 \text{ А}, \quad J = \frac{2 \cdot 10^{-5}}{20^2} = 5 \cdot 10^{-8} \text{ (кг} \cdot \text{м}^2\text{)}.$$

Задача 3. Соленоїд без осердя з одношаровою обмоткою з дроту діаметром 0,5 мм завдовжки 0,6 м має поперечний переріз $0,006 \text{ м}^2$. Який струм проходить по обмотці при напрузі 10 В, якщо за 0,001 с в обмотці виділяється кількість теплоти, яка дорівнює енергії поля всередині соленоїда? Поле вважати однорідним.

Дані: $d = 0,5 \text{ мм}$; $l = 0,6 \text{ м}$; $S = 0,006 \text{ м}^2$;

$U = 10 \text{ В}$; $t = 0,001 \text{ с}$; $\mu = 1$;

I – ?

Аналіз і розв’язання

Під час проходження струму I при напрузі U в обмотці за час t виділиться кількість теплоти

$$Q = IUt. \quad (1.2)$$

Енергія поля всередині соленоїда

$$W = \frac{1}{2} \mu \mu_0 H^2 S l, \quad (1.3)$$

де S – переріз; l – довжина соленоїда.

Напруга поля всередині соленоїда

$$H = nI,$$

де $n = \frac{N}{l} = \frac{N}{Nd} = \frac{1}{d}$ – щільність намотки витків соленоїда; N – кількість витків; d – діаметр дроту. Якщо витки щільно прилягають один до одного, то $l = Nd$.

Після підстановки в (1.3) значення H за умовою задачі можна дорівняти праві частини (1.2) та (1.3), тоді одержимо:

$$IUt = \frac{\mu \mu_0 I^2 S l}{2d^2}.$$

Звідси

$$I = \frac{2Ud^2 t}{\mu \mu_0 S l}.$$

Обчислення

$$I = \frac{2 \cdot 10 \cdot 25 \cdot 10^{-8} \cdot 0,001}{1 \cdot 12,6 \cdot 10^{-7} \cdot 0,006 \cdot 0,6} = 1,1 \text{ (A)}.$$

Задача 4. Електрон, що пройшов прискорюючу різницю потенціалів $U = 100 \text{ В}$, потрапив в однорідне магнітне поле з індукцією $B = 3 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}$ під кутом $\alpha = 30^\circ$ до напрямку ліній індукції. Визначити радіус R та крок h траєкторії руху електрону у вигляді гвинтової лінії.

Дані: $U = 100 \text{ В}$; $B = 3 \cdot 10^{-3} \text{ Тл}$; $\alpha = 30^\circ$;
 $R - ?$

Аналіз і розв'язання

На заряджену частинку, що рухається у магнітному полі, діє сила Лоренца, перпендикулярна векторам індукції \vec{B} і швидкості \vec{v} :

$$F = |e|vB \sin \alpha = |e|v_{\perp} B$$

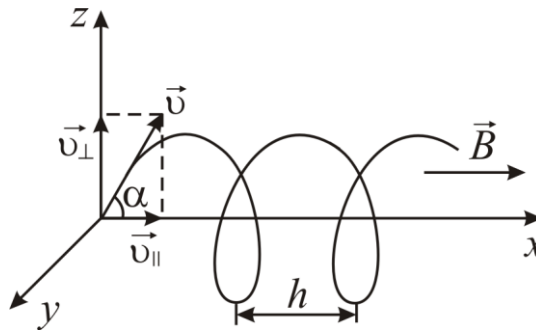


Рисунок 1.3

Складова сили Лоренца у напрямку \vec{B} дорівнює нулю. Отже, електрон, що влетів у магнітне поле, рухатиметься по колу у площині, перпендикулярній лініям індукції зі швидкістю v_{\perp} (рис. 1.3) і одночасно вздовж поля зі швидкістю v_{\parallel} :

$$v_{\perp} = v \sin \alpha ; v_{\parallel} = v \cos \alpha .$$

Внаслідок одночасного руху по колу і прямій електрон рухатиметься по гвинтовій лінії.

Радіус кола знайдемо з таких міркувань. Магнітна сила для частинки є доцентровою. Таким чином,

$$|e|v_{\perp} B = \frac{mv_{\perp}^2}{R} .$$

Звідки радіус гвинтової лінії

$$R = \frac{vm \sin \alpha}{|e|B} .$$

Кінетична енергія електрона, яку він набув у прискорюючому електричному полі, дорівнює роботі, яку здійснило поле над частинкою. Тому

$$mv^2/2 = |e|U. \quad (1.4)$$

Маючи швидкість з виразу (1.4), отримуємо:

$$R = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2mU}{|e|}} \sin \alpha.$$

Крок гвинтової лінії дорівнює шляху, що пройшов електрон у напрямку \vec{B} зі швидкістю $v_{||}$ за час, протягом якого електрон здійснює один оберт,

$$h = v_{||}T,$$

де $T = \frac{2\pi R}{v_{\perp}}$.

Отже,

$$h = v_{||} \frac{2\pi R}{v_{\perp}} = 2\pi R \operatorname{ctg} \alpha.$$

Задача 5. Протон, прискорений різницею потенціалів $U = 500$ кВ пролітає поперечне однорідне магнітне поле з індукцією $B = 0,51$ Тл. Ширина області з полем $d = 10$ см (рис. 1.4). Знайти кут відхилення протона від початкового напрямку руху.

Дані: $U = 500$ кВ; $B = 0,51$ Тл; $d = 10$ см;

$\alpha - ?$

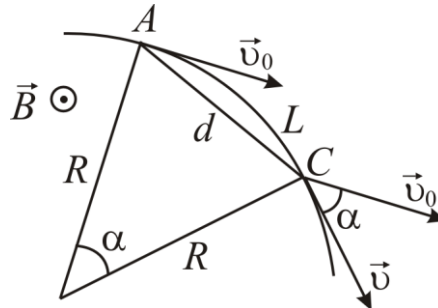


Рисунок 1.4

Аналіз і розв'язання

Перш ніж потрапити в однорідне магнітне поле протон рухається у прискорюючому електричному полі. Робота сил електричного поля йде при цьому на збільшення його кінетичної енергії

$$eU = \frac{m_p v_0^2}{2}, \quad (1.5)$$

де e – заряд протона; m_p – його маса; v_0 – швидкість, набута протоном в електричному полі.

З рівняння (1.5)

$$v_0 = \sqrt{2eU/m_p}.$$

На протон, що рухається у магнітному полі, діє сила Лоренца $\vec{F} = e[\vec{v}, \vec{B}]$, яка надає протону нормальне прискорення:

$$a_n = F/m_p = e v B / m_p = v_0^2 / R.$$

Отже,

$$R = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2Um_p}{e}} = 2 \text{ (м)}.$$

Вийшовши з магнітного поля, протон продовжуватиме рух по прямій під певним кутом α до напрямку вектора початкової швидкості \vec{v}_0 . Вектори \vec{v} і \vec{v}_0 перпендикулярні радіусам відповідно у точках А і С (рис. 1.4), тому кут можна знайти зі співвідношення $R\alpha = L$, де L – довжина дуги.

Для $R \gg d$, що має місце у цьому випадку, можна припустити $AC \approx d$. Таким чином

$$\alpha \approx d/R = 0,51 \text{ (рад)}.$$

1.6 Задачі для самостійної роботи

Задача 1. По двох паралельних провідниках проходять струми 3 А і 4 А. Відстань між провідниками 14 см. Знайти геометричне місце точок, в яких напруженість магнітного поля дорівнює нулю. Розглянути два випадки надходження струму: а) в одному напрямку; б) у протилежних напрямках.

Відповідь: а) 6 см від меншого; б) 42 см від меншого.

Задача 2. По двох паралельних провідниках, розміщених на відстані 12 см один від одного, проходять струми по 30 А. Визначити напруженість магнітного поля в точці, яка лежить на відстані 10 см від кожного провідника, якщо струми проходять: а) в одному напрямі; б) у протилежних напрямках.

Відповідь: $H_1 = 76,4$ А/м; $H_2 = 57,3$ А/м.

Задача 3. Два колових провідники, радіусом 4 см кожний, розташовані у паралельних площинах на відстані 0,1 м. По кожному провіднику проходить струм $I_1 = I_2 = 2$ А. Знайти напруженість магнітного поля на осі кіл у точці, яка знаходиться на однаковій відстані від кожного провідника. Задачу обчислити для випадків, коли струми у провідниках мають: а) однаковий напрямок; б) протилежні напрямки.

Відповідь: $H = 12,2$ А/м; $H = 0$.

Задача 4. Провідник завдовжки 1 м має вигляд квадрата. По ньому проходить струм 10 А. Знайти напруженість магнітного поля у центрі квадрата.

Відповідь: $H = 35,8$ А/м.

Задача 5. Соленоїд довжиною 30 см має 1000 витків. Знайти напруженість магнітного поля всередині соленоїда, якщо струм, що проходить по соленоїду, $I = 2$ А.

Відповідь: $H = 6670$ А/м.

Задача 6. Рамка, площа якої 16 см^2 обертається в однорідному магнітному полі зі швидкістю 2 об/с . Вісь обертання розташована у площині рамки і перпендикулярна лініям магнітної індукції. Напруженість магнітного поля $7,96 \cdot 10^4 \text{ А/м}$. Визначити: 1) залежність величини магнітного потоку крізь площину рамки від часу; 2) найбільше значення магнітного потоку.

Відповідь: $\Phi = 1,6 \cdot 10^{-4} \cos(4\pi t) \text{ Вб}$; $\Phi_{\max} = 1,6 \cdot 10^{-4} \text{ Вб}$.

Задача 7. Потік магнітної індукції крізь соленоїд без осердя дорівнює $5 \cdot 10^{-6} \text{ Вб}$. Знайти магнітний момент соленоїда, якщо його довжина 25 см .

Відповідь: $p_m = 1 \text{ А} \cdot \text{м}^2$.

Задача 8. Магнітний момент колового контуру зі струмом $p_m = 1 \text{ А} \cdot \text{м}^2$. Радіус кола $R = 10 \text{ см}$. Знайти індукцію B у центрі контуру.

Відповідь: $B = 0,2 \text{ мТл}$.

Задача 9. В однорідному горизонтальному магнітному полі розміщений у рівновазі перпендикулярно до поля горизонтальний прямолінійний алюмінієвий провідник зі струмом 10 А . Визначити індукцію поля, якщо радіус провідника дорівнює 2 мм .

Відповідь: $B = 3,39 \cdot 10^{-2} \text{ Тл}$.

Задача 10. По дротяному кільцю $R = 10 \text{ см}$ проходить струм $I = 80 \text{ А}$. Знайти магнітну індукцію B у точці, рівновіддаленій від усіх точок кільця на відстань $r = 20 \text{ см}$.

Відповідь: $B = \frac{\mu_0 I}{2r^3} R^2 = 62,8 \text{ мкТл}$.

Задача 11. Два нескінченно довгих прямих провідники схрещені під прямим кутом (рис. 1.5). По провідниках йдуть струми $I_1 = 80 \text{ А}$ та $I_2 = 60 \text{ А}$. Відстань між провідниками $d = 10 \text{ см}$. Чому дорівнює магнітна індукція B у точках A і C , які розташовані на однаковій відстані від обох провідників?

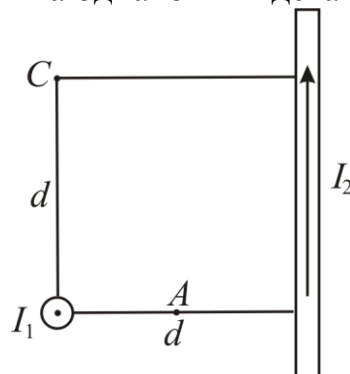


Рисунок 1.5

Відповідь: $B_1 = 400 \text{ мкТл}$, $B_2 = 200 \text{ мкТл}$.

Задача 12. По тонкому дроту, вигнутому у вигляді прямокутника, проходить струм $I=60$ А. Сторони прямокутника $a=30$ см і $b=40$ см. Яке значення має магнітна індукція в точці перехрестя діагоналей?

Відповідь:
$$B = \frac{2\mu_0 I \sqrt{a^2 + b^2}}{\pi ab} = 200 \text{ мкТл.}$$

Задача 13. По тонкому дротяному кільцю проходить струм. Не змінюючи сили струму у провіднику, його перетворили на квадрат. У скільки разів змінилася магнітна індукція у центрі контуру?

Відповідь: в 1,14 рази.

Задача 14. Електрон знаходиться в однорідному електричному полі напруженістю $E = 200$ кВ/м. Який шлях пройде електрон за час $t=1$ нс, якщо його початкова швидкість дорівнює нулю? Яку швидкість матиме електрон у кінці цього проміжку часу?

Відповідь:
$$S = \frac{|e|Et^2}{2m} = 1,76 \text{ см}; \quad v = \frac{|e|E}{mt} = 35,2 \text{ Мм/с.}$$

Задача 15. Яка прискорююча різниця потенціалів U потрібна для того, щоб надати швидкість $v=30$ Мм/с: 1) електрону; 2) протону?

Відповідь: 1) 2,56 кВ; 2) 4,7 МВ.

Задача 16. Протон, початкова швидкість якого дорівнює 100 км/с, влетів у однорідне електричне поле ($E=300$ В/см) так, що вектор швидкості збігся з напрямком ліній напруженості. Який шлях S має пройти протон у напрямку ліній поля, щоб його швидкість подвоїлась?

Відповідь:
$$S = \frac{3m_p v^2}{2eE} = 5,19 \text{ мм. (} m_p \text{ – маса протона).}$$

Задача 17. Нескінченна площина заряджена негативно з поверхневою густиною $\sigma=35,4$ нКл/м². У напрямку силової лінії поля, створеного площиною, летить електрон. Визначити мінімальну відстань l_{\min} , на яку може підійти до площини електрон, якщо на відстані $l_0=5$ см він мав кінетичну енергію $T = 80$ еВ.

Відповідь:
$$l = l_0 - \frac{2\varepsilon_0 T}{|e|\sigma} = 1 \text{ см.}$$

Задача 18. Електрон, що летів горизонтально зі швидкістю $v = 1,6$ Мм/с, потрапив в однорідне електричне поле з напруженістю $E = 90$ В/см, яке спрямовано вертикально вгору. Якою буде за абсолютним значенням і напрямком швидкість електрона v через 1 нс?

Відповідь: 2,24 Мм/с; відхилиться на 45° від початкового напрямку.

Задача 19. В однорідне електричне поле напруженістю $E=1$ кВ/м вздовж силової лінії влітає електрон зі швидкістю $v_0=1$ Мм/с. Визначити відстань l , що пройшов електрон до точки, в якій його швидкість v_1 дорівнюватиме половині початкової.

Відповідь: $l = \frac{3mv_1^2}{8|e|E} = 2,13$ мм.

Задача 20. Електрон із початковою швидкістю $v_0=3$ Мм/с влетів в однорідне електричне поле напруженістю $E=150$ В/м. Вектор початкової швидкості перпендикулярний лініям напруженості електричного поля. Знайти: силу F , що діє на електрон; прискорення a , якого набув електрон; швидкість v електрона через $t = 0,1$ мкс.

Відповідь: $F = 2,4 \cdot 10^{-17}$ Н; $a = 2,75 \cdot 10^{13}$ м/с²; $v = 4,07$ Мм/с.

Задача 21. Електрон влетів у плоский конденсатор, маючи швидкість $v=10$ Мм/с, яка спрямована паралельно пластинам. У момент вильоту з конденсатора напрямком швидкості електрона складав $\alpha=35^\circ$ з початковим напрямком швидкості. Визначити різницю потенціалів U між пластинами (поле вважати однорідним), якщо довжина пластин l дорівнює 10 см, відстань d між ними дорівнює 2 см.

Відповідь: 79,6 В.

Задача 22. Два електрона, що розташовані на великій відстані один від одного, зближуються з відносною початковою швидкістю $v=10$ Мм/с. Визначити мінімальну відстань r_{\min} , на яку вони можуть підійти один до одного.

Відповідь: $r_{\min} = \frac{e^2}{\pi m \epsilon_0 v^2} = 10,1$ пм.

Задача 23. Електрон рухається у магнітному полі з індукцією $B=0,02$ Тл по колу радіусом 1 см. Визначити кінетичну енергію T електрона (у джоулях і електрон-вольтах).

Відповідь: $T = \frac{B^2 r^2 e^2}{2m} = 0,563$ Дж = 3,52 кеВ.

Задача 24. Заряджена частинка з енергією $T=1$ кеВ рухається в однорідному магнітному полі по колу радіусом $R = 1$ мм. Знайти силу F , що діє на частинку з боку поля.

Відповідь: $F = 2T/R = 0,32$ пН.

Задача 25. Визначити частоту обертання електрона по коловій орбіті у магнітному полі, індукція B якого дорівнює $0,2$ Тл.

Відповідь:
$$\nu = \frac{B|e|\hbar}{2\pi m} = 5,6 \cdot 10^9 \text{ Гц.}$$

Задача 26. В однорідному магнітному полі з індукцією $B=100$ мкТл рухається електрон по гвинтовій лінії. Визначити швидкість v електрона, якщо крок h гвинтової лінії дорівнює 20 см, а радіус $R = 5$ см.

Відповідь:
$$v = \frac{B|e|\hbar}{m} \sqrt{R^2 + \frac{h^2}{4\pi^2}} = 1,04 \text{ Мм/с.}$$

Задача 27. Провідник довжиною $0,6$ м і опором $0,025$ Ом рухається поступально у площині, перпендикулярній до магнітного поля з індукцією $0,5 \cdot 10^{-3}$ Тл. По провіднику проходить струм 4 А. Швидкість руху провідника $0,8$ м/с. Яка потужність більша і в скільки разів: витрачена на переміщення провідника в магнітному полі чи на його нагрівання?

Відповідь: у 416 разів.

Задача 28. З дроту довжиною 20 см зробили квадратний і коловий контури. Знайти обертальні моменти, що діють на контури, якщо вони знаходяться в однорідному магнітному полі, індукція якого $0,1$ Тл. По контурах проходить струм 2 А. Площина контурів складає 45° із напрямком ліній індукції.

Відповідь: $M_1 = 3,53 \cdot 10^{-4} \text{ Н}\cdot\text{м}; M_2 = 4,5 \cdot 10^{-4} \text{ Н}\cdot\text{м.}$

Задача 29. Заряджена частинка влетіла перпендикулярно лініям індукції в однорідне магнітне поле, утворене у середовищі. Внаслідок взаємодії з речовиною частинка, знаходячись у полі, втратила половину своєї початкової енергії. У скільки разів будуть відрізняться радіуси кривизни R траєкторії початку і кінця шляху?

Відповідь: $R_1/R_2 = \sqrt{T_1/T_2} = \sqrt{2}.$

Задача 30. Перпендикулярно магнітному полю з індукцією $B = 0,1$ Тл збуджене електричне поле напруженістю $E = 100$ кВ/м. Перпендикулярно обом полям рухається, не відхиляючись від прямолінійної траєкторії, заряджена частинка. Обчислити швидкість v частинки.

Відповідь:
$$v = \frac{E}{B} = 1 \text{ Мм/с.}$$