

ДЕРЖАВНИЙ ЗАКЛАД «ПІВДЕННОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ПЕДАГОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
імені К. Д. УШИНСЬКОГО»

Кафедра фізики

**МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ
ТА ОРГАНІЗАЦІЇ САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ
З НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
«ЗАГАЛЬНА ФІЗИКА (Магнетизм)»**

для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
спеціальності 014 Середня освіта (Фізика)

ОДЕСА 2023

УДК: 378.147: 537.6/.8

Рекомендовано до друку вченою радою
Державного закладу «Південноукраїнський національний педагогічний
університет імені К. Д. Ушинського»
протокол від «28» вересня 2023 року № _3_

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Гоцульскій В. Я. – доктор фізико-математичних наук, професор, завідувач кафедри фізики та астрономії Одеського національного університету імені І. І. Мечникова

Совкова Т С. – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри інноваційних технологій та методики навчання природничих дисциплін

Укладач:

Шкатуляк Н. М. – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри фізики

Методичні рекомендації до проведення практичних занять та організації самостійної роботи з навчальної дисципліни «Загальна фізика (електрика та магнетизм)»/ укладач Н. М. Шкатуляк – Одеса, Університет Ушинського, 2023. 30 с.

Методичні рекомендації до практичних занять та організації самостійної роботи з навчальної дисципліни «Загальна фізика (електрика та магнетизм) мають на меті допомогти студентам засвоїти теоретичний матеріал та знайти підходи до розрізування типових задач та завдань підвищеної складності з теми «Магнетизм».

В роботі представлено методичні рекомендації щодо розв'язування задач з теми «Магнетизм» (модуль «Магнітне поле. Електромагнітна індукція»). Наведено приклади розв'язування задач, алгоритм розв'язування задач та оформлення запису умови задачі та розв'язку.

Рекомендовано для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 014 Середня освіта (Фізика) та 014 Середня освіта (Природничі науки) з метою закріплення, поглиблення й узагальнення знань, одержаних під час навчання.

ЗМІСТ

ВСТУП	4
1. СТРУКТУРА НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ (Змістовий модуль «Магнітне поле»)	5
2. ОСНОВНІ ПОНЯТТЯ ТА ВЕЛИЧИНИ	6
3. ПРИКЛАДИ РІШЕННЯ ЗАДАЧ	9
4. ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОСТІЙНОГО РІШЕННЯ	28
РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ	30

ВСТУП

Важливою задачею сучасної вищої школи України є всебічне вдосконалення навчального процесу на основі впровадження передових освітніх технологій.

Приєднання вищої освіти України до Болонського процесу підготовки бакалаврів привело до перерозподілу навчального навантаження: зменшилась кількість аудиторних годин та збільшився час, що відводиться на самостійну роботу здобувачів вищої освіти. Збільшення обсягу годин на самостійну роботу у навчальних планах дисциплін у вищих освітніх закладах є цілком виправданим, оскільки дозволяє не лише вдосконалювати практичні вміння студентів, а й максимально наблизити академічну освіту до майбутньої професійної діяльності. Самостійна робота передбачає, що студент виконує різного роду завдання, що включають програмний матеріал, який не висвітлювався під час аудиторних занять. Даний вид діяльності повинен сприяти розвитку та активізації творчої діяльності студентів і може розглядатися як головний резерв підвищення якості підготовки фахівців.

Дані методичні рекомендації призначені для самостійної роботи і контролю знань по розділу “Магнетизм” навчальної дисципліни «Загальна фізика» для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти зі спеціальності «014 Середня освіта. Фізика» за змістовим модулем «Магнітне поле. Електромагнітна індукція».

Представлено поняття, формули і довідкові значення фізико-хімічних величин, необхідні для рішення задач, приклади рішення задач, набір задач для самостійного рішення. Методичні рекомендації можуть бути використані також для контролю знань по відповідних розділах загальної фізики.

1. ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ

Змістовий модуль 3. Магнітне поле.

Тема 6. Магнітне поле. Взаємодія струмів. Магнітне поле електричного струму. Індукція напруження магнітного поля. Магнітний потік. Закон Біо – Савара – Лапласа. Магнітне поле прямого, колового і соленоїдного струму. Циркуляція вектора напруги магнітного поля. Закон повного струму. Сила Ампера. Виток зі струмом у магнітному полі. Магнітний момент струму. Дія електричного і магнітного поля на рухомий заряд. Сила Лоренца. Рух зарядів у магнітному полі. Прискорювачі елементарних частинок. Ефект Холла та його застосування.

Тема 7. Електромагнітна індукція. Досліди Фарадея. Закон індукції Фарадея і правило Ленца. Електрорушійна сила індукції. Вихровий струм. Скін-ефект. Самоіндукція і взаємоіндукція. Електрорушійна сила самоіндукції. Індуктивність провідника. Робота сили Ампера. Енергія магнітного поля струму. Енергія і густина енергії магнітного поля.

Тема 8. Магнітні властивості речовин. Магнетики. Магнітне поле в магнетиках. Намагніченість. Зв'язок індукції і напруги магнітного поля в магнетиках. Магнітна проникність і сприйняття. Магнітоmechanічні явища. Діа-, пара-, і феромагнетики. Магнітний гистерезис. Роботи Столетова. Точка Кюрі. Постійні магніти. Нові магнітні матеріали.

Структура навчальної дисципліни

Змістовий модуль 3. Магнітне поле. Електромагнітна індукція.					
Тема 6. Магнітне поле.		4	2	2	12
Тема 7. Електромагнітна індукція.		2	2	2	12
Тема 8. Магнітні властивості речовин.		2			12
<i>Разом за змістовим модулем 3</i>		8	4	4	36
Змістовий модуль 4. Електромагнітне поле.					

Тема 9. Квазістаціонарні струми.		2	2	2	12
Тема 10. Електромагнітне поле. Електромагнітна хвиля.		4	2	2	12
<i>Разом за змістовим модулем 4</i>		6	4	4	24
Усього годин за I семестр	90	14	8	8	60

Основні поняття і формули

Зв'язок магнітної індукції **B** магнітного поля напруженістю **H**

$$\mathbf{B} = \mu\mu_0\mathbf{H},$$

де μ — відносна магнітна проникність середовища; μ_0 — магнітна постійна, $\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$, у вакуумі $\mu = 1$.

Закон Біо—Савара—Лапласа

$$d\mathbf{B} = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} [\mathbf{dl} \times \mathbf{r}] \frac{I}{r^3} \quad \text{або} \quad dB = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{I \sin \alpha}{r^2},$$

де $d\mathbf{B}$ — магнітна індукція поля, що створюється елементом проводу довжиною dl зі струмом I ; $\mathbf{r}$ — радіус-вектор, спрямований від елемента провідника до точки, в якій визначається магнітна індукція; α — кут між радіусом-вектором і напрямком струму в елементі дроту dl .

Магнітна індукція в центрі кругового струму

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

де R - радіус кругового витка.

Магнітна індукція на осі кругового струму

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

де h - відстань від центру витка до точки, в якій визначається магнітна індукція.

Магнітна індукція поля прямого струму

$$B = \frac{\mu\mu_0 I}{2\pi r_0},$$

де r_0 - відстань від осі проводу до точки, в якій визначається магнітна індукція.
Магнітна індукція поля соленоїда

$$B = \mu\mu_0 nI,$$

де n - відношення числа витків соленоїда до його довжини.

Для розрахунку магнітних полів використовується також теорема про циркуляцію вектора H (закон повного струму для магнітного поля):

$$\oint_{\Gamma} \mathbf{H} d\mathbf{l} = \sum I_i,$$

де Γ - замкнутий контур, що охоплює струми I_i , $\oint_{\Gamma} \mathbf{H} d\mathbf{l}$ - циркуляція вектора H уздовж контуру Γ .

Сила, що діє на провід довжиною l зі струмом I в магнітному полі (закон Ампера),

$$\mathbf{F} = I[\mathbf{lB}], \text{ або } F = IlB \sin \alpha,$$

де α — кут між напрямком струму в проводі і вектором магнітної індукції B .
Цей вислів справедливо для однорідного магнітного поля і прямого відрізка проводу. Якщо поле неоднорідне і провід не є прямим, то закон Ампера можна застосовувати до кожного елементу проводу окремо у вигляді

$$d\mathbf{F} = I[d\mathbf{lB}].$$

Магнітний момент плоского контуру зі струмом

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

де $\mathbf{n}$ - одиничний вектор нормалі (позитивної) до площини контуру; I - сила струму, що протікає по контуру; S - площа контуру.

Механічний (обертальний) момент або момент сили, що діє на контур зі струмом, поміщений в однорідне магнітне поле,

$$\mathbf{M} = [\mathbf{p}_m \mathbf{B}], \text{ або } M = p_m B \sin \alpha,$$

де α — кут між векторами $\mathbf{p}_m$ і $\mathbf{B}$.

Потенційна енергія (механічна) контуру зі струмом в магнітному полі

$$\Pi = \oint \mathbf{p}_m \mathbf{B} \quad \text{або} \quad \Pi = -p_m B \cos \alpha.$$

Сила Лоренца:

$$\mathbf{F} = q\mathbf{E} + q[\mathbf{v} \mathbf{B}].$$

Магнітний потік:

$$\text{а) у випадку однорідного поля та плоскій поверхні: } \Phi = \int_S B_n dS$$

де S — площа контуру; α — кут між нормаллю до поверхні контуру і вектором магнітної індукції, B_n — проекція вектора $\mathbf{B}$ на нормаль $\mathbf{n}$ до поверхні контуру,

б) у випадку неоднорідного поля та довільної поверхні

$$\Phi = \int_S B_n dS \quad (\text{інтегрування ведеться по всій поверхні}).$$

Потокозчеплення (повний магнітний потік) $\Psi = N\Phi$

(ця формула може бути застосована до соленоїда і тороїду з рівномірно намотаних щільно прилеглими один до одного витками числом N .)

Робота по переміщенню замкнутого контуру в магнітному полі:

$$A = I\Delta\Phi$$

ЕРС індукції

$$\mathcal{E}_i = -\frac{d\Psi}{dt}$$

Індуктивність контуру:

$$L = \frac{\Phi}{I}$$

ЕРС самоіндукції

$$\mathcal{E}_s = -L \frac{dI}{dt}$$

Індуктивність соленоїду

$$L = \mu\mu_0 n^2 V$$

Миттєве значення сили струму в ланцюзі, що володіє опором R та індуктивністю L :

$$\text{а) } I = \frac{\mathcal{E}}{R} \left(1 - e^{-\frac{Rt}{L}} \right) \quad (\text{при замиканні ланцюга}),$$

де ε — ЕРС джерела струму; t — час, що минув після замикання ланцюга;

б) $I = I_0 e^{-\frac{Rt}{L}}$ (при розмиканні ланцюга), де I_0 — сила струму в колі при $t=0$; t — час, що минув з моменту розмикання кола.

Енергія магнітного поля

$$W = \frac{LI^2}{2}.$$

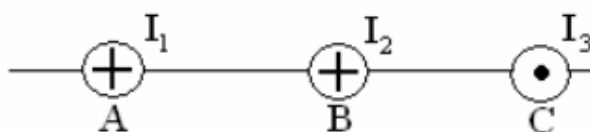
Об'ємна густина енергії магнітного поля (енергія магнітного поля в одиниці об'єму)

$$w = \frac{BH}{2}, \text{ или } w = \frac{B^2}{2\mu\mu_0}, \text{ или } w = \frac{\mu\mu_0 H^2}{2},$$

де B — магнітна індукція; H — напруженість магнітного поля.

3. ПРИКЛАДИ РІШЕННЯ ЗАДАЧ

Задача 1. На рисунку зображені перетини трьох прямолінійних нескінченно довгих провідників зі струмами. Відстані $AB=BC=5$ см, струми $I_1=I_2=I$ і $I_3=2I$. Знайти точку на прямій AC , у якій напруженість магнітного поля, викликаного струмами, дорівнює нулю.



Розв'язання:

За правилом буравчика перевіряємо, як спрямований вектор напруженості магнітних полів створених струмами I_1 , I_2 і I_3 в точці, що знаходиться на відрізку AB . Згідно принципу суперпозиції

$$\vec{H}_{AB} = \vec{H}_1 + \vec{H}_2 + \vec{H}_3,$$

чи в скалярному вигляді

$$H_{AB} = H_1 - H_2 + H_3.$$

Тобто на ділянці AB може існувати точка, що має нульову напруженість.

$$H_1 - H_2 + H_3 = 0 \quad (1)$$

На ділянці ВС такої точки не може бути, оскільки всі вектори $\vec{H}_1, \vec{H}_2$ і $\vec{H}_3$ спрямовані однаково.

Позначимо відстань від точки А за x . Тоді

$$H_1 = \frac{I_1}{2\pi x}, H_2 = \frac{I_2}{2\pi(AD-x)}, H_3 = \frac{I_3}{2\pi(AC-x)}.$$

Підставимо значення напруженостей у формулу (1):

$$\frac{I}{2\pi x} - \frac{I}{2\pi(5-x)} + \frac{2I}{2\pi(10-x)} = 0.$$

Звідси

$$\frac{1}{x} + \frac{2}{10-x} = \frac{1}{5-x}.$$

Підставивши числові значення, отримаємо

$$x=3,3$$

Відповідь: $x=3,3$ см.

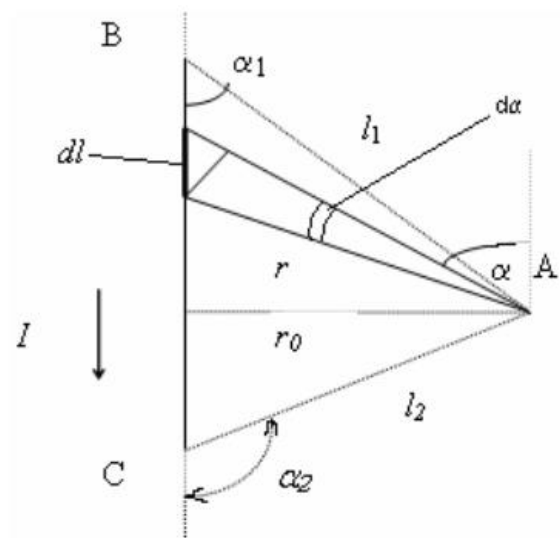
Задача 2. Визначити магнітну індукцію B поля, створюваного відрізком нескінченно довгого прямого проводу довжиною $l = 40$ см, в точці, віддаленій від кінців відрізка на відстані $l_1 = 50$ см і $l_2 = 30$ см. Сила струму I , що тече по провіднику, дорівнює 50 А.

Розв'язання:

Геометрія задачі показана на рисунку. Згідно закону Біо-Савара-Лапласа, індукція магнітного поля dB , створюваного відрізком проводу зі струмом I довжиною dl в точці, що знаходиться на відстані r від середини відрізка dl , визначається виразом:

$$dB = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} [dl \mathbf{r}] \frac{I}{r^3}$$

де dl - вектор, рівний по модулю довжині відрізка dl і збігається за напрямком



з струмом, $\mathbf{r}$ - радіус-вектор, проведений від середини елемента провідника до точки, в якій визначається магнітна індукція, μ - магнітна проникність, μ_0 - магнітна постійна.

Для модуля вектора магнітної індукції маємо вираз:

$$dB = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{I \sin \alpha}{r^2} \quad (1)$$

де α - кут між векторами $d\mathbf{l}$ и $\mathbf{r}$. З умови задачі випливає, що провід знаходиться в немагнітній середовищі (в повітрі) і, отже, $\mu = 1$. Нехай елемент провідника $d\mathbf{l}$ видно з точки А під кутом $d\alpha$, а відстань від точки А до проводу одно r_0 . З рисунку слід, що

$$dl = r \frac{d\alpha}{\sin \alpha}, \quad r = \frac{r_0}{\sin \alpha}.$$

Підставляючи ці вирази у формулу (1), отримаємо:

$$dB = \frac{\mu_0 I \sin \alpha d\alpha}{4\pi r_0}.$$

Щоб визначити магнітну індукцію поля, що створюється відрізком провідника, проінтегруємо отриманий вираз по куті в межах від α_1 до α_2 .

$$B = \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \frac{\mu_0 I \sin \alpha}{4\pi r_0} d\alpha = \frac{\mu_0 I}{4\pi r_0} \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \sin \alpha d\alpha.$$

Взявши інтеграл, отримуємо:

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2).$$

З умови задачі випливає, що $l_1^2 = l^2 + l_2^2$ ($2500=1600+900$), тобто $\alpha_2=90^\circ$, $\cos \alpha_2=0$, $r_0 = l_2=30$ см, $\cos \alpha_1 = 4/5$. Підставляючи чисельні значення, отримуємо $B=13,3$ мкТл.

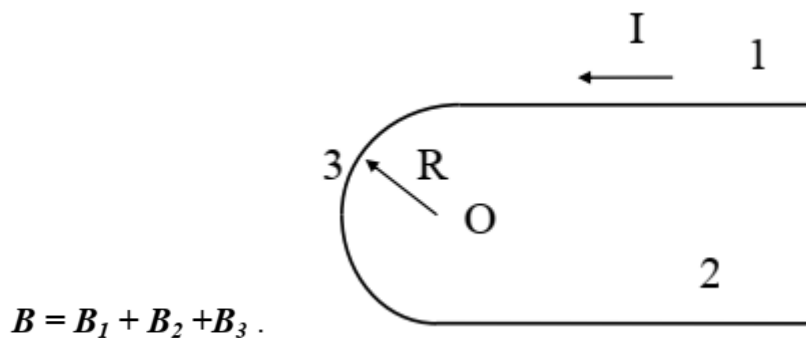
Відповідь: $B=13,3$ мкТл.

Задача 3. Нескінченно довгий тонкий провідник зігнутий по дузі кола на 180° (див. рис.). Радіус вигину $R = 10$ см. По провіднику тече струм $I = 50$ А. Визначити індукцію магнітного поля, створюваного цим струмом, в точці

«О».

Розв'язання:

Розділимо провідник на три частини: два прямолінійних провідника 1 і 2, що йдуть одним кінцем в нескінченність, і дугу півкола 3 радіуса R . На основі принципу суперпозиції магнітних полів вектор магнітної індукції в точці «О» буде дорівнює векторній сумі магнітних полів, створюваних цими відрізками провідника:



Використовуючи правило гвинта, знайдемо, що вектор магнітної індукції, який створюється кожним з виділених ділянок провідника, спрямований перпендикулярно до площини креслення на нас. У зв'язку з цим, ми можемо замінити векторну суму алгебричною: $B = B_1 + B_2 + B_3$.

Магнітна індукція поля в центрі кругового витка дорівнює:

$$B = \mu_0 I / 2R.$$

Так як ділянка провідника 3 є дугою півкола, то створюване їм в точці «О» поле буде в два рази менше поля в центрі кругового витка, тобто $B_3 = \frac{\mu_0 I}{4R}$.

Струм, що протікає по кожному елементу провідника 2, призводить до виникнення в точці «О» магнітного поля. З рисунку слід, що для кожного елемента провідника 2 знайдеться елемент провідника 1, що створює в точці «О» таке ж значення індукції магнітного поля. Це означає, що значення магнітної індукції в точці «О», створювані ділянками провідника 1 і 2, рівні між собою, тобто $B_1 = B_2$.

Для знаходження величини B скористаємося формулою (2) з

попередньої задачі:

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi r_0} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2).$$

У нашому випадку:

$$r_0=R, \alpha_1=0, \alpha_2=\pi/2 \text{ и } B_1=\mu_0 I/4\pi R.$$

В результаті отримуємо:

$$B = B_1 + B_2 + B_3 = 2B_1 + B_3 = \mu_0 I/2\pi R + \mu_0 I/4R \text{ або:}$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{4\pi R} (2 + \pi).$$

Підставляючи чисельні значення, отримуємо $B=257$ мкТл.

Відповідь: $B=257$ мкТл.

Задача 4. Провідник довжиною $l = 0,2$ м і масою 5 г розташований горизонтально в однорідному магнітному полі, вектор індукції якого перпендикулярний полю. Індукція поля дорівнює $B = 0,4$ Тл. Який струм потрібно пропустити по провіднику, щоб він вільно висів у поле?

Розв'язання:

На провідник діють дві сили: сила тяжіння P , спрямована вниз, і сила Ампера F , яка повинна бути спрямована вгору. Щоб провідник перебував у рівновазі, повинна виконуватися умова: $P = F$. Сила тяжіння дорівнює $P = mg$, де m - маса провідника, g - прискорення вільного падіння. Сила Ампера, що діє на провідник зі струмом, дорівнює $F = IBl \sin \alpha$, де α - кут між напрямком струму і напрямком вектора магнітної індукції. З умови задачі випливає, що $\alpha = 90^\circ$ і $\sin \alpha = 1$. отже, $mg = IBl$, звідки $I = mg/Bl$, $I = 0,005 \cdot 9,8 / (0,4 \cdot 0,2) = 0,6$ А. Відповідь: $I = 0,6$ А.

Задача 5. Напруженість H магнітного поля в центрі кругового витка дорівнює 200 А/м. Магнітний момент p_m витка дорівнює 1 А/м². Обчислити силу струму I в витку та радіус R витка.

Розв'язання:

Магнітна індукція B і напруженість магнітного поля H пов'язані співвідношенням $B = \mu\mu_0 H$. У центрі кругового витка

$$B(0) = \frac{\mu\mu_0 I}{2R},$$

і, відповідно,

$$H(0) = \frac{I}{2R},$$

звідки $I = 2RH$. Модуль магнітного моменту знаходимо по формулі $p_m = I \cdot S$, де S - площа витка. Підставляючи в цей вираз значення I і S , отримуємо: $p_m = I \cdot \pi R^2 = 2\pi H R^3$, звідки відразу випливає, що

$$R = \sqrt[3]{\frac{p_m}{2\pi H}} \quad I = 2H \sqrt[3]{\frac{p_m}{2\pi H}}.$$

Підставляючи чисельні значення, отримаємо $R = 9,27$ см, $I = 37$ А.

Відповідь: $R = 9,27$ см, $I = 37$ А.

Задача 6. На прямий провідник довжини $L = 0,5$ м, розташований перпендикулярно до ліній індукції магнітного поля, діє сила $F = 0,15$ Н. Знайти струм I , що протікає в провіднику, якщо магнітна індукція дорівнює $B = 20$ мТл.

Розв'язання:

Силу, що діє на прямий довгий провідник з струмом, що знаходиться в магнітному полі з індукцією B , можна обчислити за формулою $F = IBL \sin \alpha$, де α - кут між напрямком вектора магнітної індукції і напрямком струму в провіднику. З умови задачі випливає, що $\alpha = 90^\circ$, отже, $\sin \alpha = 1$ і $F = IBL$. Звідки отримуємо $I = F/BL$. Підставивши чисельні значення, знаходимо:

$$I = \frac{0.15}{20 \cdot 10^{-3} \cdot 0.5} = 15 \text{ А}.$$

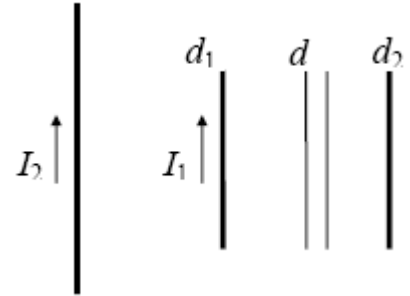
Відповідь: $I = 15$ А.

Задача 7. Два прямолінійних довгих паралельних провідника знаходяться на відстані $d_1 = 10$ см один від одного. По провідникам в одному напрямку

течуть струми $I_1=30$ А и $I_2=20$ А. Яку роботу A_1 потрібно зробити (на одиницю довжини провідників), щоб розсунути ці провідники до відстані $d_2=20$ см?

Розв'язання:

Кожен з провідників знаходиться в магнітному полі, створюваному іншим провідником. Робота A , яку потрібно зробити, щоб перемістити провідник зі струмом I_1 і довжиною l паралельно самому собі в площині, що проходить через обидва провідника, буде дорівнює: $A=I_1 \cdot \Delta\Phi$, де $\Delta\Phi$ - магнітний потік, що перетинається цим проводом.



Зауважимо, що рух цього проводу відбувається в магнітному полі, створюваному струмом I_2 . Значення магнітної індукції B , створюваної довгим прямим проводом, визначається виразом: $B(x)=\frac{\mu_0 I}{2\pi x}$, де x - відстань від проводу до точки спостереження.

Для визначення величини $\Delta\Phi$ скористаємося рисунком і розглянемо шар товщиною dx і довжиною l , що знаходиться на відстані x від проводу зі струмом I_2 . Магнітний потік $d\Phi$, що пронизує цей шар, буде дорівнює: $d\Phi=B(x)ds$, де $ds=ldx$ - площа шару. Підставляючи сюди вираз для магнітної індукції $B(x)$, отримуємо:

$$d\Phi = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi x} l dx.$$

Інтегруючи це співвідношення в межах від d_1 до d_2 , знаходимо:

$$\Delta\Phi = \int_{d_1}^{d_2} \frac{\mu_0 I_2 l}{2\pi x} dx = \frac{\mu_0 I_2 l}{2\pi} \ln \frac{d_2}{d_1}.$$

Так як за умовою завдання потрібно визначити роботу A_1 по переміщенню одиниці довжини провідника $A_1=A/l$, то для роботи A_1 отримуємо вираз:

$$A_1 = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi} \ln \frac{d_2}{d_1}.$$

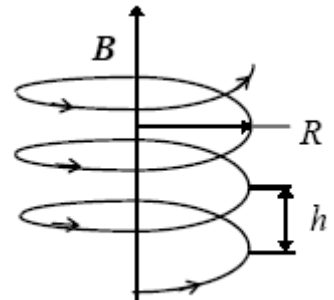
Підставляючи числові значення, знаходимо $A_1 = 83$ мкДж/м.

Відповідь: $A_1 = 83$ мкДж/м.

Задача 8. Електрон рухається в однорідному магнітному полі з індукцією $B = 9$ мТл по гвинтовій лінії, радіус якої дорівнює $R = 1$ см і крок $h = 7,8$ см. Визначити період T обертання електрона і його швидкість v .

Розв'язання:

Траєкторія руху електрона схематично показана на рисунку.



Вона являє собою результат двох рухів: обертання по колу під дією сили Лоренца в площині, перпендикулярній магнітному полю, і рівномірного руху вздовж напрямку поля. Другий закон Ньютона, що описує обертальний рух електрона, записується у вигляді:

$$ev_{\perp} B = \frac{m_e v_{\perp}^2}{R}.$$

Звідси отримуємо вираз для компоненти швидкості обертання електрона по колу $v_{\perp} = \frac{e}{m_e} BR$. Отже, період обертання електрона по колу можна знайти за формулою:

$$T = \frac{2\pi R}{v_{\perp}} = 2\pi \frac{m_e}{eB}$$

Швидкість руху електрона уздовж магнітного поля знаходимо як:

$$v_{\parallel} = \frac{h}{T} = \frac{heB}{2\pi m_e}.$$

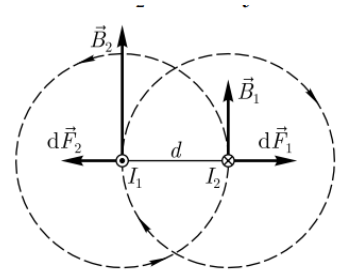
З урахуванням отриманих виразів, для повної швидкості отримуємо наступну формулу:

$$v = \sqrt{v_{\perp}^2 + v_{\parallel}^2} = \frac{e}{m_e} B \sqrt{R^2 + \frac{h^2}{4\pi^2}}$$

Після підстановки числових значень в вирази для T і v , знаходимо: $T=3,97$ нс і $v=25,2$ Мм/с.

Відповідь: $T=3,97$ нс, $v=25,2$ Мм/с.

Задача 9. По двох паралельних провідниках довжиною $l=2$ м кожний, що знаходяться в вакуумі на відстані $d=10$ см один від одного у протилежних напрямках течуть струми $I_1=50$ А і $I_2=100$ А. Визначить силу взаємодії струмів.



Розв'язання:

Згідно закону Ампера:

$$dF_1 = I_2 B_1 dl \quad (1)$$

$$dF_2 = I_1 B_2 dl. \quad (2)$$

Модулі магнітних індукцій за законом Біо-Савара-Лапласа:

$$B_1 = \mu_0 \frac{I_1}{2\pi d}; \quad B_2 = \mu_0 \frac{I_2}{2\pi d}.$$

Підставивши ці вирази у (1) і (2) отримаємо:

$$dF_1 = dF_2 = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d} dl = dF \quad (3)$$

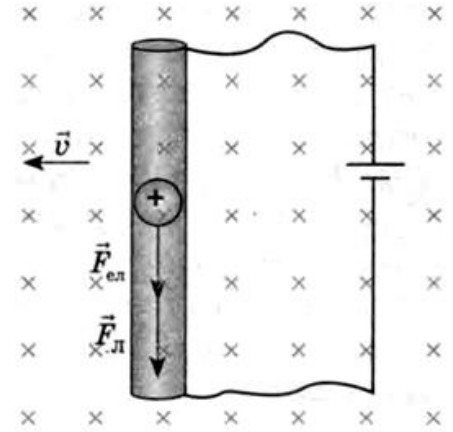
(напрямки сил вказані на малюнку).

Проінтегрувавши вираз (3), знайдемо шукану силу взаємодії струмів:

$$F = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d} \int_0^l dl = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi d} l.$$

Відповідь: 20 мН.

Задача 10. За допомогою гнучких проводів прямолінійний провідник завдовжки 60 см приєднаний до джерела постійного струму з ЕРС 12 В і внутрішнім опором $r = 0,5$ Ом (див. рис.). Провідник рухається в однорідному магнітному полі індукцією 1,6 Тл зі швидкістю $v = 12,5$ м/с перпендикулярно до ліній магнітної індукції.



Визначте силу струму в провіднику, якщо опір зовнішнього кола дорівнює $R = 2,5$ Ом.

Розв'язання:

Силу струму в колі знайдемо за законом Ома: $I = \frac{\varepsilon_{дж} + \varepsilon_{інд}}{R + r}$

У рухомому провіднику ЕРС індукції $\varepsilon_{інд} = Bvlsin\alpha$.

Остаточно маємо: $I = \frac{\varepsilon_{дж} + Bvlsin\alpha}{R + r}$.

Визначимо значення шуканої величини:

$$[I] = \frac{\frac{В \cdot Тл \cdot \frac{м}{с} \cdot м}{Ом}} = \frac{В + \frac{Н}{А \cdot м \cdot с} \cdot м}{Ом} = \frac{В + \frac{Н \cdot м}{А \cdot с}}{Ом} = \frac{В + \frac{Дж}{Кл}}{Ом} = А;$$

$$\{I\} = \frac{12 + 1,6 \cdot 12,5 \cdot 0,6}{2,5 + 0,5} = 8, I = 8 А.$$

Відповідь: $I = 8 А$.

Задача №11. Надпровідну котушку індуктивністю 5,0 Гн замикають на джерело струму з ЕРС 20В і нехтовно малим внутрішнім опором. Вважаючи, що сила струму в котушці збільшується рівномірно, визначте час, за який сила струму досягне 10 А.

Розв'язання:

Для розв'язання задачі скористаємось законом Ома для повного кола

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r},$$

де ε – повна ЕРС кола, що в нашому випадку складається з ЕРС джерела та ЕРС самоіндукції:

$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{дж}} + \varepsilon_{\text{is}};$$

$$\text{де } \varepsilon_{\text{is}} = -L \frac{dI}{dt}.$$

Отже закон Ома набуває вигляду:

$$I = \frac{\varepsilon_{\text{дж}} - L \frac{dI}{dt}}{R+r}, \text{ або } I(R+r) = \varepsilon_{\text{дж}} - L \frac{dI}{dt}.$$

Оскільки $(R+r) = 0$, то $\varepsilon_{\text{дж}} = L \frac{dI}{dt}$, звідки $\frac{dI}{dt} = \frac{\varepsilon_{\text{дж}}}{L}$, де $\frac{dI}{dt}$ – швидкість зміни сили струму. Струм у котушці змінюється рівномірно, тому час, за який він досягне значення 10 А, дорівнює:

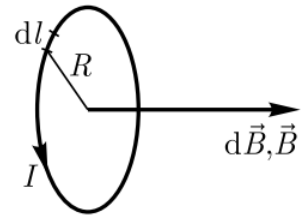
$$t = \frac{I}{dI/dt} = \frac{I}{\varepsilon_{\text{дж}}/L} = \frac{IL}{\varepsilon_{\text{дж}}}.$$

Визначимо значення шуканої величини:

$$[t] = \frac{A \cdot \Gamma_H}{B} = \frac{A \cdot B}{A/c \cdot B} = c; \{t\} = \frac{10 \cdot 5,0}{20} = 0,25, t = 0,25 \text{ с}.$$

Відповідь: $t = 0,25 \text{ с}$.

Задача №12. Використовуючи закон Біо-Савара-Лапласа, визначте у вакуумі магнітну індукцію $\mathbf{B}$ поля у центрі кругового провідника радіусом $R = 10 \text{ см}$, якщо сила струму I у провіднику дорівнює 5 А.



Розв'язання:

Як впливає з рисунку всі елементи dl кругового провідника зі струмом створюють в його центрі магнітні поля одного напрямку – вздовж нормалі від витка. Тому складання векторів можна замінити складанням їх модулів.

Згідно закону Біо-Савара-Лапласа (см. попередню задачу)

$$dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{dl \sin \alpha}{r^2}. \quad (1)$$

Оскільки всі елементи провідника перпендикулярні радіусу-вектору ($\sin \alpha = 1$) і відстань всіх елементів провідника до центру колового струму однакові і дорівнюють R , то згідно (1)

$$dB = \frac{\mu_0 I}{4\pi} \frac{dl}{R^2}.$$

Тоді шукана магнітна індукція в центрі колового струму

$$B = \int dB = \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \cdot \frac{I}{R^2} \int dl = \frac{\mu_0 \mu I}{4\pi R^2} 2\pi R = \mu_0 \mu \frac{I}{2R} = \mu_0 \frac{I}{2R},$$

($\mu = 1$)

Відповідь: $B=31,4$ мкТл.

Задача 13. Визначте магнітну індукцію на осі колового контуру на відстані $d = 3$ см від його площини, якщо радіус контуру $R = 4$ см, а сила струму I в контурі дорівнює 5 А.

Розв'язання:

Згідно закону Біо-Савара-Лапласа, магнітна індукція поля у вакуумі, створюваного елементом dl провідника зі струмом I ,

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

де $d\vec{l}$ - вектор, рівний по модулю довжині відрізка dl і збігається за напрямком зі струмом, $\vec{r}$ - радіус-вектор, проведений від $d\vec{l}$ до точки А, а вектор $d\vec{B}$ (см. рисунок) направлений згідно правила правого гвинта.

Згідно принципу суперпозиції

$$\vec{B} = \oint_L d\vec{B}, \quad (2)$$

(інтегрування ведеться по всім елементам колового контуру).

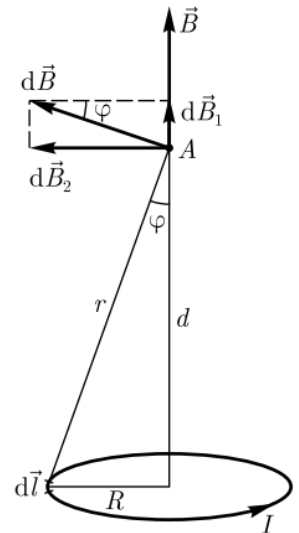
Розклавши вектор $d\vec{B}$ на два компоненти $d\vec{B}_1$, перпендикулярний площині контуру і $d\vec{B}_2$, паралельний їй, отримаємо

$$d\vec{B} = d\vec{B}_1 + d\vec{B}_2.$$

З огляду на те, що з міркувань симетрії

$$\int_L d\vec{B}_2 = 0,$$

а вектори $d\vec{B}_1$ від всіх елементів $d\vec{l}$ направлені однаково, інтеграл (2) зведеться до виразу



$$B = \int_0^{2\pi R} dB_1, \quad (3)$$

де

$$dB_1 = dB \sin \varphi. \quad (4)$$

Оскільки всі елементи колового контуру перпендикулярні радіусу-вектору, то згідно (1)

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Idl}{(R^2 + d^2)} \quad (5)$$

З рисунку випливає, що

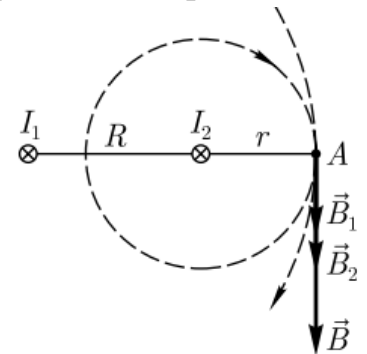
$$r = \sqrt{R^2 + d^2}, \quad \sin \varphi = \frac{R}{\sqrt{R^2 + d^2}}.$$

Підставивши цей вираз в формулу (4), а також з огляду на (5), знайдемо згідно (3) шукану магнітну індукцію на осі колового контуру

$$B = \int_0^{2\pi R} \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{IRdl}{(R^2 + d^2)^{3/2}} = \frac{\mu_0}{2} \frac{IR^2}{(R^2 + d^2)^{3/2}}.$$

Відповідь: $B=40,2$ мкТл.

Задача 14. По двох нескінченно довгих прямих паралельних провідниках, що знаходяться в вакуумі на відстані $R = 30$ см течуть однакові струми одного напрямку. Визначить магнітну індукцію поля, створюваного струмами в точці А, що лежить на прямій, що з'єднує провідники і лежить на відстані $r = 20$ см праворуч від правого проводу (см. рисунок). Сила струму в провідниках дорівнює 20 А.



Розв'язання:

Нехай струми направлені перпендикулярно площі креслення від нас, що позначено на рисунку хрестиками. Лінії магнітної індукції замкнуті і охоплюють провідники зі струмами. Їх напрямок задається правилом правого гвинта. Вектор у кожній точці направлений по дотичній до лінії магнітної індукції (см. рисунок).

Згідно принципу суперпозиції магнітна індукція результуючого поля в точці А

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

де $\vec{B}_1$ і $\vec{B}_2$ – магнітні індукції полів в цій точці, створювані першим і другим проводами. Вектори $\vec{B}_1$ і $\vec{B}_2$ сонаправлені, тому складання векторів можна замінити складанням їх модулів.

$$B = B_1 + B_2. \quad (1)$$

Магнітна індукція полів створюваних нескінченно довгими прямими провідниками зі струмами I_1 і I_2

$$B_1 = \mu_0 \mu \frac{I_1}{2\pi(R+r)}, \quad B_2 = \mu_0 \mu \frac{I_2}{2\pi r}, \quad (2)$$

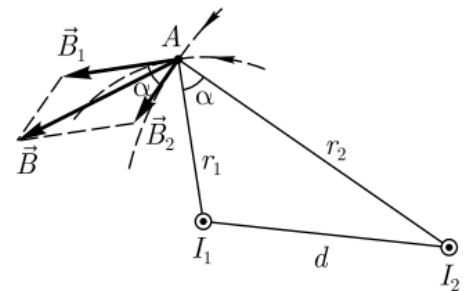
де μ — відносна магнітна проникність середовища; μ_0 — магнітна постійна.

Підставивши вираз (2) у формулу (1) і враховуючи що $I_1 = I_2 = I$ і $\mu = 1$ (для вакууму), отримаємо шуканий вираз для магнітної індукції у точці А:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi} \left(\frac{1}{R+r} + \frac{1}{r} \right).$$

Відповідь: $B=28$ мкТл.

Задача 15. По двох нескінченно довгих прямих паралельних провідниках у вакуумі, відстань між якими $d=15$ см течуть струми $I_1 = 70$ А і $I_2 = 50$ А в одному напрямку. Визначте магнітну індукцію B у точці, віддаленій на $r_1=10$ см $r_2=20$ см від другого провідника.



Розв'язання:

Нехай струми спрямовані перпендикулярно площині креслення до нас. Вектори магнітної індукції направлені по дотичній до ліній магнітної індукції. Згідно принципу суперпозиції магнітна індукція в точці А

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

де $\mathbf{B}_1$ і $\mathbf{B}_2$ – магнітні індукції полів, створювані провідниками зі струмами I_1 і I_2 . (Напрямок векторів $\mathbf{B}_1$ і $\mathbf{B}_2$ і струмів I_1 і I_2 показано на рисунку) Модуль вектора $\mathbf{B}$ за теоремою косинусів

$$B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2 + 2B_1B_2 \cos \alpha}, \quad (1)$$

де

$$B_1 = \mu_0 \frac{I_1}{2\pi r_1}; \quad B_2 = \mu_0 \frac{I_2}{2\pi r_2}; \quad \cos \alpha = \frac{r_1^2 + r_2^2 - d^2}{2r_1 r_2}.$$

Підставивши ці вирази в формулу (1), знайдемо шукане B :

$$B = \frac{\mu_0}{2\pi} \sqrt{\frac{I_1^2}{r_1^2} + \frac{I_2^2}{r_2^2} + \frac{2I_1 I_2}{r_1^2 r_2^2} (r_1^2 + r_2^2 - d^2)}.$$

Відповідь: $B=178$ мкТл.

Задача 16. По тонкому дротовому кільцю тече струм. Визначте, у скільки разів зміниться індукція в центрі контуру, якщо провіднику надати форму квадрата, не змінюючи сили струму у провіднику.

Розв'язання:

Вектор $\mathbf{B}_1$ в центрі колового струму направлений при вибраному напрямку струму (см. рисунок), згідно правила правого гвинта, перпендикулярно кресленню до нас. Його модуль

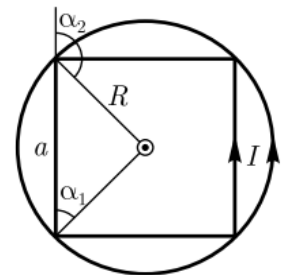
$$B_1 = \mu_0 \mu \frac{I}{2R}, \quad (1)$$

де I – сила струму; R – радіус кільця; μ — відносна магнітна проникність середовища; μ_0 — магнітна постійна.

Сторона квадрата, вписана в кільце, дорівнює

$$a = \frac{\pi R}{2}.$$

Вектор $\mathbf{B}_2$ в центрі квадрата направлений також перпендикулярно кресленню до нас. Магнітна індукція в центрі квадрата дорівнює сумі магнітних індукцій створюваних кожною стороною квадрата. Модуль B_2 , згідно закону Біо-Савара-Лапласа,



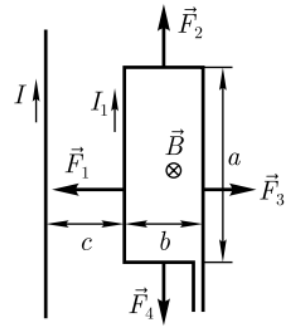
$$B_2 = 4 \frac{\mu_0 \mu}{4\pi} \frac{I}{(a/2)} \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \sin \alpha d\alpha = \frac{\mu_0 \mu}{\pi} \frac{I}{(a/2)} \int_{\pi/4}^{3\pi/4} \sin \alpha d\alpha = \frac{\mu_0 \mu}{\pi} \frac{I}{(a/2)} \cdot 2 \cos \frac{\pi}{4} = \frac{8\mu_0 \mu I}{\pi^2 R} \cos \frac{\pi}{4}. \quad (2)$$

Із формул (1) і (2) отримаємо відношення

$$\frac{B_2}{B_1} = \frac{16 \cos \frac{\pi}{4}}{\pi^2}.$$

Відповідь: $B_2 / B_1 = 1,15$

Задача 17. В одній площині з нескінченним прямим провідником зі струмом $I=10\text{А}$ розташована прямокутна дротова рамка (сторона $a=25\text{ см}$, $b=10\text{ см}$), по якій тече струм $I_1=2\text{А}$. Довгі сторони рамки паралельні прямому струму, причому найближча з них знаходиться від прямого струму на відстані $c=10\text{ см}$ і струм в ній сонаправлений струму I . Визначте сили, що діють на кожну зі сторін рамки.



Розв'язання:

Прямокутна рамка знаходиться у неоднорідному полі прямого струму з індукцією

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r} \quad (1)$$

($\mu=1$), де r – відстань від прямого струму до даної точки.

Сила, з якою діє поле прямого струму, може бути знайдена підсумовуванням елементарних сил, які визначаються законом Ампера

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

Вектор $\vec{B}$ в межах рамки спрямований перпендикулярно її площині за креслення.

$$F = \int_l dF = \int_l I_1 B dl, \quad (2)$$

Для коротких сторін рамки:

$$F_2 = F_4 = \int_c^{c+b} \frac{\mu_0 I_1 I}{2\pi l} dl = \frac{\mu_0 I_1 I}{2\pi} \ln \frac{c+b}{c}.$$

Довгі сторони рамки паралельні прямому струму, перебуваючи від нього відповідно на відстаннях c і $c+a$, тоді

$$F_1 = \int_0^a I_1 B_1 dl = \int_0^a \frac{\mu_0 I_1 I}{2\pi c} dl = \frac{\mu_0 I_1 I a}{2\pi c};$$

$$F_3 = \int_0^a I_1 B_2 dl = \int_0^a \frac{\mu_0 I_1 I}{2\pi(c+b)} dl = \frac{\mu_0 I_1 I a}{2\pi(c+b)}, \text{ де}$$

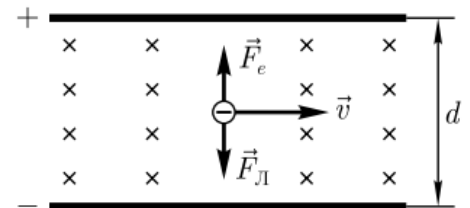
$$B_1 = \frac{\mu_0 I}{2\pi c} \text{ и } B_2 = \frac{\mu_0 I}{2\pi(c+b)}.$$

Відповідь: $F_1=10$ мкН; $F_2 = F_4=2,77$ мкН; $F_3=5$ мкН;

Задача 18. Між пластинами плоского конденсатора, що знаходиться у вакуумі, створено однорідне магнітне поле напруженістю $H=2$ кА/м. Електрон рухається в конденсаторі паралельно пластинам конденсатора і перпендикулярно напрямку магнітного поля зі швидкістю $v=2$ Мм/с; Визначте напругу U , прикладену до конденсатора, якщо відстань між його пластинами становить $d=1,99$ см.

Розв'язання:

Припустимо, що магнітне поле перпендикулярно кресленню від нас (див. рис.). При цьому кулонівська сила врівноважується силою Лоренца. Тоді



$$e \frac{U}{d} = evB, \quad \text{звідси}$$

$$U = vBd. \quad (1)$$

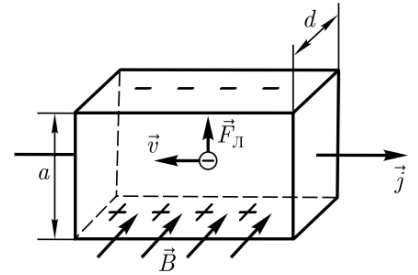
Зв'язок між вектором магнітної індукції і напруженістю магнітного поля

$\mathbf{B} = \mu\mu_0 \mathbf{H}$, тоді

$$U = \mu_0 v H d.$$

Відповідь: $U=100\text{В}$.

Задача 19. Через перетин мідної пластинки ($\rho=8,93 \text{ г/см}^3$) товщиною $d=0,1 \text{ мм}$ пропускається струм $I=5 \text{ А}$. Пластика зі струмом міститься в однорідне магнітне поле з індукцією $B=0,5 \text{ Тл}$, перпендикулярне напрямку струму і ребру пластинки. Визначте, виникаючу в платівці поперечну різницю потенціалів якщо концентрація вільних електронів дорівнює концентрації атомів провідника.



Розв'язання:

На електрони діє з боку магнітного поля сила Лоренца за правилом лівої руки. Тому у верхнього краю пластинки виникає підвищена концентрація електронів (він заряджається негативно), а у нижнього – їх недолік (він заряджається позитивно). Тому між краями пластинки виникає додаткове поперечне електричне поле, спрямоване знизу вгору. Напруженість досягає такої величини, що її дія на заряди врівноважить силу Лоренца. Тоді

$$eE_B = \frac{e\Delta\varphi}{a} = evB \text{ или } \Delta\varphi = vBa, \quad (1)$$

де a – ширина пластинки, $\Delta\varphi$ – поперечна (холлівська) різниця потенціалів. Сила струму

$$I = jS = nevS = nevad, \quad (2)$$

Де S – площа поперечного перерізу пластинки товщиною d ; n – концентрація електронів; v – середня швидкість упорядкованого руху електронів. Підставивши (2) в (1), отримаємо

$$\Delta\varphi = \frac{1}{en} \frac{IB}{d}. \quad (3)$$

Згідно умові задачі

$$n = n' = \frac{N_A}{V_m} = \frac{N_A}{M/\rho} = \frac{\rho N_A}{M}, \quad (4)$$

де $N_A=6,02 \cdot 10^{23}$ – постійна Авогадро; V_m – молярний об'єм міді; M – молярна

маса міді; ρ – густина міді. Підставивши формулу (4) у вираз (3), знайдемо

$$\Delta\varphi = \frac{MIB}{e\rho N_A d}.$$

Відповідь: $\Delta\varphi=1,85$ мкВ

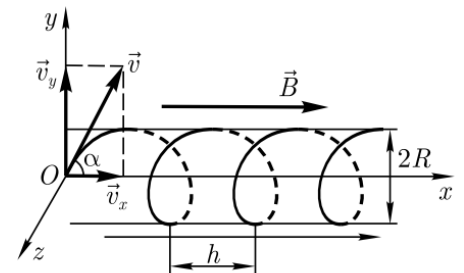
Задача 20. Протон, володіючи швидкістю $v=10^4$ м/с, влітає в однорідне магнітне поле з індукцією $B=10$ мТл під кутом $\alpha=60^\circ$ до напрямку ліній магнітної індукції. Визначте радіус R і крок h гвинтової лінії, по якій буде рухатись протон.

Розв'язання:

Розкладемо вектор швидкості на складові, паралельну ($v_x=v\cos\alpha$) і перпендикулярну ($v_y=v\sin\alpha$) вектору індукції. Рух в напрямку поля відбувається з рівномірною швидкістю v_x , а в напрямку, перпендикулярному вектору B , під дією сили Лоренца – за колом. В результаті складання двох рухів траєкторія результуючого руху протона – гвинтова лінія (спіраль). Сила Лоренца додає протону нормальне прискорення

$a_n = \frac{v_y^2}{R}$ (R – радіус кола). За другим законом Ньютона, $F = ma_n$, де $F_L = ev_y B$ – сила Лоренца. Тоді

$$\frac{mv_y^2}{R} = ev_y B$$



Звідки шуканий радіус гвинтової лінії, по якій буде рухатися протон

$$R = \frac{v_y m}{eB} = \frac{vm}{eB} \sin\alpha.$$

Крок гвинтової лінії дорівнює відстані, яку проходить протон уздовж осі Ox за час одного повного оберту, тобто

$$h = v_x T = vT \cos\alpha,$$

де період обертання $T = \frac{2\pi R}{v_y} = \frac{2\pi R}{v \sin\alpha}$.

Підставивши формулу (2) в вираз (1), знайдемо шуканий крок гвинтової лінії

$$h = 2\pi R \cot\alpha$$

Відповідь: $R=9,04$ мм; $h=3,87$ см.

Завдання для самостійного рішення.

Задача 1. Знайти силу взаємодії між двома паралельними проводами довжиною $l = 1$ м, що знаходяться на відстані $d = 50$ см один від одного, якщо по ним протікають в протилежних напрямках рівні струми $I_1 = I_2 = 50$ А. (Відповідь: $F = 0,1$ Н.)

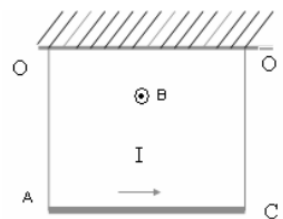
Задача 2. По трьох паралельних прямих проводах, що знаходяться на відстані $a = 10$ см один від одного, течуть однакові струми силою $I = 100$ А. У двох проводах напрямки струмів збігаються. Обчислити силу F , що діє на відрізок кожного проводу довжиною $l = 1$ м.

(Відповідь: $F_1 = F_2 = 20$ мН, $F_3 = 34,6$ мН.)

Задача 3. З дроту довжиною $l = 20$ см зроблені квадратний і круговий контури. Знайти обертаючі моменти сил M_1 і M_2 , що діють на кожен контур, поміщений в однорідне магнітне поле з індукцією $B = 0,1$ Тл. За контурам тече струм силою 2 А. Площа кожного контуру складає кут $\alpha = 45^\circ$ з напрямком поля. (Відповідь: $M_1 = 3,53 \cdot 10^{-4}$ Н·м, $M_2 = 4,5 \cdot 10^{-4}$ Н·м.)

Задача 4. При якій силі струму I , що тече по тонкому дротовому кільцю радіусом $R = 0,2$ м, магнітна індукція B в точці, рівновіддаленою від усіх точок кільця на відстань $r = 0,3$ м, стане рівною 20 мкТл? (Відповідь: $I = 21,5$ А.)

Задача 5. Прямий провідник АС довжиною 20 см і масою 5 г підвішений горизонтально (см. рисунок) на двох легких нитках ОА і ОС в однорідному магнітному полі, вектор індукції якого спрямований перпендикулярно провіднику. Індукція поля дорівнює



$0,049$ Тл. Який величини струм потрібно пропустити по провіднику, щоб одна з ниток розірвалася? Кожна нитка витримує навантаження не більше $0,039$ Н. (Відповідь: $I > 3$ А.)

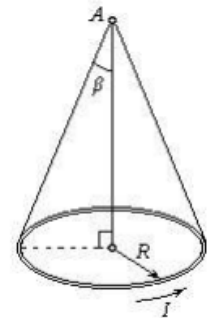
Задача 6. Два паралельні нескінченно довгі провідники, по яким течуть в одному напрямку струми силою $I = 60$ А розміщені на відстані $d = 10$ см один від одного. Визначити магнітну індукцію в точці, яка знаходиться на відстані

$r_1 = 5$ см від одного провідника і $r_2 = 12$ см від іншого.

Задача 7. Знайти магнітну індукцію в центрі тонкого кільця, по якому протікає струм $I = 10$ А. Радіус кільця дорівнює 5 см.

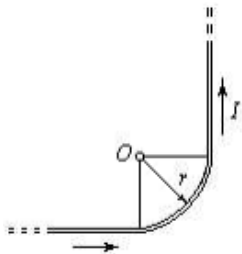
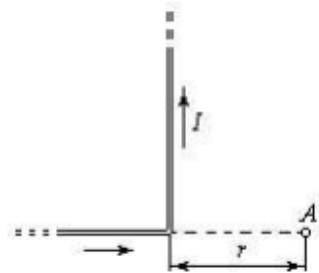
Задача 8. Тонким провідним кільцем радіусом $R = 10$ см тече струм силою $I = 80$ А. Знайти магнітну індукцію B в точці, яка рівновіддалена від усіх точок кільця на відстань $r = 20$ см.

Задача 9. Тонким провідним кільцем радіусом $R = 10$ см тече струм. Чому дорівнює сила цього струму, якщо магнітна індукція B цього поля в точці A (рис.) дорівнює 1 мкТл? Кут $\beta = 10^\circ$.



Задача 10. Двома нескінченно довгими прямими паралельними провідниками в одному напрямку течуть струми силою $I_1 = 20$ А та $I_2 = 30$ А. Відстань d між провідниками дорівнює 10 см. Визначити магнітну індукцію B у точці, яка знаходиться на однаковій відстані $r = 10$ см від обох провідників.

Задача 11. Нескінченно довгий прямий провідник зігнуто під прямим кутом. По провіднику тече струм силою $I = 20$ А. Яка магнітна індукція B в точці A (рис.), якщо $r = 5$ см.



Задача 12. Нескінченно довгим прямим провідником, зігнутим так, як показано на рис., тече струм силою $I = 100$ А. Визначити магнітну індукцію B у точці O , якщо $r = 10$ см.

РЕКОМЕНДОВАНІ ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

1. Скіцько І.Ф., Скіцько О.І Фізика: підручник: Київ: НТУУ КПІ імені Ігоря Сікорського, 2017. 513 с. URL:
<https://ela.kpi.ua/handle/123456789/19035?mode=full>
2. Кармазін В. В., Семенець В. В. Курс загальної фізики: навчальний посібник для вищих навчальних закладів. Київ.: Кондор, 2016. 786 с
3. Фізика: навчальний посібник з розв'язування задач з курсу загальної фізики / Вербицький Б. І., Король А. М., Котікова С. М., Медвідь Н. В. К.: ІНКОС, 2016. 376 с. URL:
<http://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/23788/1/posibnyk1.pdf>
4. Галушак М.О., Федоров О.Є. Курс фізики. Електромагнетизм: підручник. Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2016. 405 с.
5. Герасимов О.І., Андріанова І.С., Фізика в задачах: підручник. Одеський державний екологічний університет. Одеса: ТЭС, 2017. 564с. URL:
https://www.researchgate.net/profile/Iryna-Andrianova/publication/341057029_Fizika_v_zadacah/links/5eab4af0299bf18b958a72f6/Fizika-v-zadacah.pdf
6. Клубіс Я. Д., Шкатуляк Н. М. Основи електродинаміки. – Державний заклад «Південноукраїнський національний педагогічний університет імені К. Д. Ушинського» від 24 грудня 2020 р., пр. № 7. Одеса: Університет Ушинського, 2020. 208 с.
7. Клубіс Я. Д. , Шкатуляк Н. М. Збірник задач з електродинаміки. Навчальний посібник. 2-е вид.: доп., перероб. Одеса: Фенікс, 2014. 284 с.