

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІМЕНІ МИХАЙЛА ОСТРОГРАДСЬКОГО



МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ
ЩОДО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ,
САМОСТІЙНОЇ РОБОТИ ТА КОНТРОЛЬНИХ РОБІТ
З НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

«ФІЗИКА»

(РОЗДІЛ «ОСНОВИ ЕЛЕКТРОДИНАМІКИ»)
ДЛЯ СТУДЕНТІВ УСІХ СПЕЦІАЛЬНОСТЕЙ

КРЕМЕНЧУК 2016

Методичні вказівки до виконання практичних робіт, самостійної роботи та контрольних робіт з навчальної дисципліни «Фізика» (розділ «Основи електродинаміки») для студентів усіх спеціальностей

Укладачі: доц. О. В. Сукачов,
асист. В. В. Журав,
асист. Г. В. Єременко

Рецензент доц. М. О. Єлізаров

Кафедра біотехнології та здоров'я людини

Затверджено методичною радою Кременчуцького національного університету
імені Михайла Остроградського

Протокол №____ від_____

Голова методичної ради_____ проф. В. В. Костін

ЗМІСТ

Вступ	4
Приклади розв'язування типових задач	6
Задачі для практичних, контрольних робіт і самостійного розв'язування...	21 31
Список літератури	32
Додаток А (Таблиці фізичних величин).....	

ВСТУП

Фізика є фундаментальною базою для підготовки інженера, без опанування якою неможлива його успішна діяльність.

У зв'язку з тією увагою, що приділяється самостійній роботі студентів у їх навчанні у ВНЗ, в останній час виникли потреби в допоміжній літературі, яка використовується для самостійного опрацювання студентами відповідних курсів. Мета методичних вказівок – допомогти студентам вищих навчальних закладів, насамперед, у самостійному вивченні курсу фізики.

Важливим компонентом при вивченні курсу фізики є розв'язування задач. Це допомагає студенту глибше зрозуміти суть фізичних законів, які викладені в теоретичній частині фізики, оцінити їх практичну цінність, знайти зв'язок між теорією та практичними результатами. Крім того, розв'язання задач навчає студента, аналізуючи вихідні дані, правильно вибрати фізичні закони, засвоїти їхнє використання при розв'язуванні конкретної задачі, що і є підґрунтям інженерної діяльності.

Методичні вказівки містять широке коло задач і прикладів їх розв'язання з електрики та магнетизму, призначені для спеціальностей з обмеженою кількістю аудиторних годин з фізики.

У прикладах типових задач матеріал викладено достатньо змістовно, просто, зрозуміло, за необхідності з рисунками.

Після вивчення дисципліни студент повинен

знати: основні закони сучасної та класичної фізики, класичні та сучасні теорії, взаємозв'язок фізичних законів із законами діалектики;

уміти: аналізувати фізичні явища і встановлювати причинні зв'язки між ними, формулювати інженерно-фізичні задачі, уміти їх розв'язувати, давати розумну оцінку отриманих результатів.

Номери задач контрольної роботи

Варіант	Номери задач					
1	1	11	22	35	47	58
2	2	12	23	36	48	59
3	3	13	24	37	50	60
4	4	14	25	38	51	61
5	5	15	26	39	52	62
6	6	16	27	40	53	63
7	7	17	28	41	54	64
8	8	18	29	42	55	65
9	9	19	30	43	56	66
0	10	20	31	44	57	67

Номер варіанта визначає остання цифра номера залікової книжки студента.

ПРИКЛАДИ РОЗВ'ЯЗАННЯ ТИПОВИХ ЗАДАЧ

Загальні вказівки

Розв'язання задач з електромагнетизму потребує від студентів уміння правильно застосувати закони і формули цього розділу фізики для фізичних величин, які потрібно знайти у даній задачі. Приблизний алгоритм розв'язання цих задач такий:

1 – записати коротку умову задачі й перевести всі величини до системи СІ;

2 – у задачах про взаємодію точкових зарядів потрібно зробити рисунок, на якому показати сили, які діють на заряди, напруженості електричного поля, створювані зарядами:

- якщо заряд не рухається, використовують рівняння рівноваги,
- якщо ж заряд рухається в однорідному електричному полі, застосовують рівняння руху і другий закон Ньютона (як у механіці), а також закон збереження енергії або теорему про зміну кінетичної енергії;

3 – у задачах на розрахунки кіл постійного струму потрібно накреслити схему, проаналізувати з'єднання провідників і напрямки струмів і застосувати формули для розрахунків опорів і закони Ома для ділянки кола або для повного кола;

4 – у задачах, де розглядаються провідники або заряджені частинки в магнітному полі, на рисунку показують напрямки струмів і вектора магнітної індукції, сили, які діють на провідник або частинки, і використовують закон Ампера, принцип суперпозиції тощо:

- якщо провідник або контур зі струмом не рухаються, застосовують умови рівноваги,
- якщо провідник або заряджені частинки рухаються в магнітному полі, застосовують рівняння руху, другий закон Ньютона з урахуванням усіх сил, які діють на них;

5 – використовуючи зв'язки між фізичними величинами, які впливають з умови задачі, треба написати додаткові рівняння таким чином, щоб число рівнянь дорівнювало числу невідомих величин;

6 – розв'язати отриману систему рівнянь, записавши відповідь у загальному вигляді (тобто у вигляді формули);

7 – підставити числові значення величин, що входять до відповіді, виконати обчислення та отримати числове значення відповіді; виділити відповідь у загальному вигляді (взяти в рамку, підкреслити) і числове її значення;

8 – проаналізувати відповідь, оцінити її реальність, за необхідності перевірити розмірність отриманого результату.

Електростатика

№1. Два заряди $q_1 = 1$ нКл і $q_2 = 3$ нКл розміщені у вакуумі на відстані $a = 20$ см. Знайти силу, яка діє на третій заряд $q_3 = -2$ нКл, розташований у точці посередині між ними.

Дано:

$$q_1 = 1 \text{ нКл} = 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$q_2 = 3 \text{ нКл} = 3 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$q_3 = -2 \text{ нКл} = -2 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$a = 20 \text{ см} = 0,2 \text{ м}$$

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi \cdot 9 \cdot 10^9} \frac{\text{Ф}}{\text{м}}$$

F -?

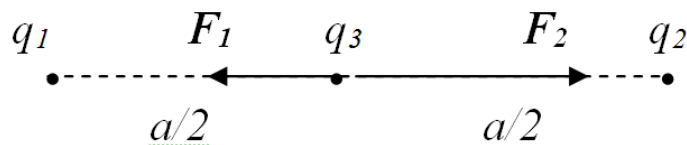


Рис. 1

Згідно із законом Кулона заряди протилежного знака притягуються. Оскільки сили додаються векторно, сила, що діє на 3-й заряд з боку 1- і 2-го дорівнює:

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2, \text{ або в скалярному вигляді: } F = |F_2 - F_1|.$$

Знаходимо сили із закону Кулона: $F_1 = \frac{|q_1| \cdot |q_3|}{4\pi\varepsilon_0(a/2)^2}, \quad F_2 = \frac{|q_2| \cdot |q_3|}{4\pi\varepsilon_0(a/2)^2}.$

Звідси:

$$F = \frac{||q_2| - |q_1|| \cdot |q_3|}{\pi\varepsilon_0 a^2}. \quad F = \frac{(3 \cdot 10^{-9} - 1 \cdot 10^{-9}) \cdot 1 \cdot 10^{-9} \cdot 4\pi \cdot 9 \cdot 10^9}{4\pi \cdot 0,1^2} = 1,8 \cdot 10^{-6} \text{ (Н)}.$$

№ 2 Два точкові електричні заряди $Q_1 = 1 \text{ нКл}$ і $Q_2 = -2 \text{ нКл}$ знаходяться у повітрі на відстані $d = 10 \text{ см}$ один від одного. Визначити напруженість E і потенціал φ поля, створюваного цими зарядами у точці А, віддаленій від заряду Q_1 на відстань $r_1 = 9 \text{ см}$ і від заряду Q_2 на $r_2 = 7 \text{ см}$.

Дано:

$$Q_1 = 1 \text{ нКл} = 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$Q_2 = -2 \text{ нКл} = -2 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$d = 10 \text{ см} = 0,1 \text{ м}$$

$$r_1 = 9 \text{ см} = 0,09 \text{ м}$$

$$r_2 = 7 \text{ см} = 0,07 \text{ м}$$

E, φ -?

Згідно з принципом суперпозиції електричних полів, кожний заряд створює поле неза-

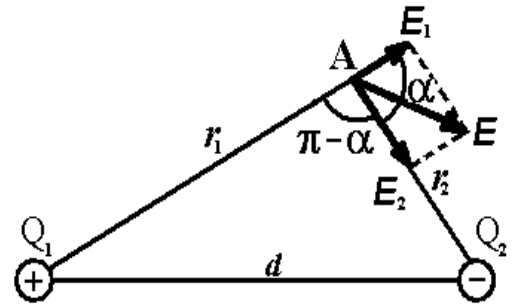


Рис. 2

лежно від наявності у просторі інших зарядів. Тому напруженість E електричного поля у шуканій точці може бути знайдена як геометрична сума напруженостей E_1 і E_2 полів, створюваних кожним зарядом окремо: $E = E_1 + E_2$. Напруженість електричного поля, створюваного в повітрі ($\varepsilon = 1$) зарядами Q_1 і Q_2 :

тому напруженість E електричного поля у шуканій точці може бути знайдена як геометрична сума напруженостей E_1 і E_2 полів, створюваних кожним зарядом окремо: $E = E_1 + E_2$. Напруженість електричного поля, створюваного в повітрі ($\varepsilon = 1$) зарядами Q_1 і Q_2 :

$$E_1 = \frac{|Q_1|}{4\pi\varepsilon_0 r_1^2}, \quad (1)$$

$$E_2 = \frac{|Q_2|}{4\pi\varepsilon_0 r_2^2}. \quad (2)$$

Вектор E_1 (рис. 2) напрямлений за силовою лінією від заряду Q_1 , оскільки цей заряд додатний; вектор E_2 напрямлений також за силовою лінією, але до заряду Q_2 , оскільки цей заряд від'ємний.

Модуль вектора E знайдемо за теоремою косинусів

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 \cos \alpha}, \quad (3)$$

де α - кут між векторами E_1 і E_2 , який може бути знайдений з трикутника зі сторонами r_1, r_2 і d :

$$\cos \alpha = \frac{d^2 - r_1^2 - r_2^2}{2r_1 r_2} .$$

У даному випадку, щоб уникнути великих записів, $\cos \alpha$ розрахуємо окремо:

$$\cos \alpha = \frac{(0,1)^2 - (0,09)^2 - (0,07)^2}{2 \cdot 0,09 \cdot 0,07} = -0,238 .$$

Підставляючи вираз E_1 з (1) і E_2 з (2) до (3) і виносячи спільний множник за знак кореня, отримаємо:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sqrt{\frac{Q_1^2}{r_1^4} + \frac{Q_2^2}{r_2^4} + 2 \frac{|Q_1||Q_2|}{r_1^2 r_2^2} \cos \alpha} . \quad (4)$$

Відповідно до принципу суперпозиції електричних полів потенціал φ результуючого поля, створюваного двома зарядами Q_1 і Q_2 , дорівнює алгебраїчній сумі потенціалів:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 . \quad (5)$$

Потенціал електричного поля, що створюється у вакуумі точковим зарядом Q на відстані r від нього, виражають формулою:

$$\varphi = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r} . \quad (6)$$

У нашому випадку, згідно з формулами (5) і (6) отримаємо:

$$\varphi = \frac{Q_1}{4\pi\epsilon_0 r_1} + \frac{Q_2}{4\pi\epsilon_0 r_2} ,$$

$$\text{або } \varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{Q_1}{r_1} + \frac{Q_2}{r_2} \right) .$$

Виконаємо розрахунки:

$$E = 9 \cdot 10^9 \sqrt{\frac{(10^{-9})^2}{(0,09)^4} + \frac{(2 \cdot 10^{-9})^2}{(0,07)^4} + 2 \cdot \frac{10^{-9} \cdot 2 \cdot 10^{-9}}{(0,09)^2 \cdot (0,07)^2} \cdot (-0,238)} = 3,85 \cdot 10^3 \text{ В/м} = 3,85 \text{ кВ/м}$$

$$\varphi = 9 \cdot 10^9 \left(\frac{10^{-9}}{0,09} + \frac{2 \cdot 10^{-9}}{0,07} \right) = -157 \text{ В} .$$

№ 3. По тонкому кільцю рівномірно розподілений заряд $Q = 40$ нКл з лінійною густиною $\tau = 50$ нКл/м. Визначити напруженість E електричного поля, створюваного цим зарядом у точці А, яка лежить на осі кільця і віддалена від нього на відстань, яка дорівнює половині радіуса.

Дано:

$$Q = 40 \text{ нКл} = 40 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$\tau = 50 \text{ нКл/м} = 50 \cdot 10^{-9} \text{ Кл/м}$$

E -?

Су

містимо

координату

площини

xOy з

площиною кільця, а вісь Oz – з віссю кільця (рис. 3). На кільці виділимо малу ділянку dl . Оскільки заряд $dQ = \tau dl$, що знаходиться на цій ділянці, можна вважати точковим, то напруженість dE електричного поля, створюваного цим зарядом, може бути записано у вигляді:

$$dE = \frac{\tau dl}{4\pi\epsilon_0 r^2} \frac{r}{r},$$

де r – радіус-вектор, напрямлений від елемента dl до точки А.

Розкладемо вектор dE на дві складові: dE_1 , перпендикулярну до площини кільця, і dE_2 паралельну до площини кільця, тобто

$$dE = dE_1 + dE_2.$$

Напруженість E електричного поля у точці А знайдемо за допомогою інтегрування:

$$E = \int_L E_1 + \int_L E_2,$$

де інтегрування проводять за всіма елементами зарядженого кільця. Зазначимо, що кожні пари зарядів dQ і dQ' ($dQ = dQ'$), розміщені симетрично відносно центра кільця, вектори dE_2 і dE_2' у точці А рівні за модулем і протиле-

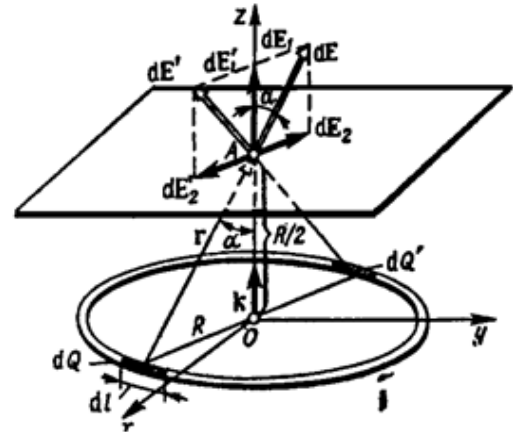


Рис. 3

жні за напрямком: $dE_2 = -dE_2'$. Тому векторна сума (інтеграл) $\int_L dE_2 = 0$.

Складові dE_1 для всіх елементів кільця співнапрямлені з віссю Oz (одичним вектором k), тобто $dE_1 = k dE_1$.

Тоді

$$E = k \int_L dE_1.$$

Оскільки $dE = \frac{\tau dl}{4\pi\epsilon_0 r^2}$, і $\cos \alpha = (R/2)/r = 1/\sqrt{5}$, то

$$dE_1 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{4\tau}{5R^2\sqrt{5}} dl = \frac{\tau dl}{5\sqrt{5}\pi\epsilon_0 R^2}.$$

Таким чином,

$$E = k \int_0^{2\pi R} \frac{dl}{5\sqrt{5}\pi\epsilon_0 R^2} = k \frac{2\tau}{5\sqrt{5}\epsilon_0 R}.$$

Зі співвідношення $Q = 2\pi R\tau$ визначимо радіус кільця $R = Q/(2\pi\tau)$. Тоді

$$E = k \frac{2\tau \cdot 2\pi\tau}{5\sqrt{5}\epsilon_0 Q} = k \frac{4\tau^2\pi}{5\sqrt{5}\epsilon_0 Q}.$$

Модуль напруженості

$$|E| = \frac{4\tau^2\pi}{5\sqrt{5}\epsilon_0 Q}. \quad (1)$$

Перевіримо, чи дає права частина рівняння одиницю напруженості (В/м):

$$\frac{[\tau^2]}{[\epsilon_0][Q]} = \frac{(1\text{Кл}/\text{м})^2}{1\text{Ф}/\text{м} \cdot 1\text{Кл}} = \frac{1\text{Кл}}{1\text{Ф} \cdot 1\text{м}} = 1\text{В}/\text{м}.$$

Виконаємо розрахунки:

$$E = \frac{4 \cdot 3,14 \cdot (5 \cdot 10^{-8})^2}{5\sqrt{5} \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 4 \cdot 10^{-8}} = 7,92 \text{ кВ/м}$$

№ 4. На тонкому стрижні завдовжки $l = 20$ см знаходиться рівномірно розподілений електричний заряд. На продовженні осі стрижня на відстані $a = 10$ см від найближчого кінця знаходиться точковий заряд $Q_1 = 40$ нКл, який

взаємодіє зі стрижнем із силою $F = 6$ мкН. Визначити лінійну густина τ заряду на стрижні.

Дано:

$$l = 20 \text{ см} = 0,2 \text{ м}$$

$$a = 10 \text{ см} = 0,1 \text{ м}$$

$$Q_1 = 40 \text{ нКл} = 40 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$F = 6 \text{ мкН} = 6 \cdot 10^{-6} \text{ Н.}$$

$$\tau - ?$$

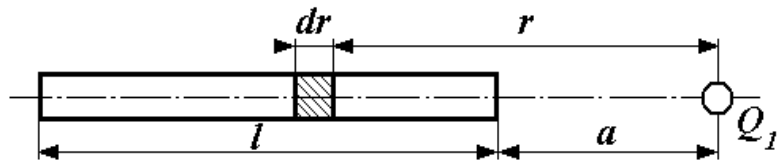


Рис. 4

Сила взаємодії F зарядженого стрижня з точковим зарядом Q_1 залежить від лінійної густини

заряду на стрижні. Знаючи цю залежність, можна визначити τ . При розрахунку сили F потрібно мати на увазі, що заряд на стрижні не є точковим, тому закон Кулона безпосередньо застосувати неможливо. У цьому випадку можна зробити наступним чином. Виділити зі стрижня (рис. 4) маленьку ділянку dr із зарядом $dQ = \tau dr$. Цей заряд можна розглядати як точковий. Тоді відповідно до закону Кулона:

$$dF = \frac{Q_1 \tau dr}{4\pi\epsilon_0 r^2}.$$

Інтегруючи цей вираз у межах від a до $a+l$, отримаємо:

$$F = \frac{Q_1 \tau}{4\pi\epsilon_0} \int_a^{a+l} \frac{dr}{r^2} = \frac{Q_1 \tau}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{a} - \frac{1}{a+l} \right) = \frac{Q_1 \tau l}{4\pi\epsilon_0 a(a+l)},$$

звідки

$$\tau = \frac{4\pi\epsilon_0 a(a+l)F}{Q_1 l}.$$

Перевіримо, чи дає розрахункова формула одиницю лінійної густини електричного заряду. Для цього до правої частини формули, замість символів величин, підставимо їх одиниці:

$$\frac{[\epsilon_0][a][a+l][F]}{[Q][l]} = \frac{1\text{Ф/м} \cdot 1\text{м} \cdot 1\text{м} \cdot 1\text{Н}}{1\text{Кл} \cdot 1\text{м}} = \frac{1\text{Ф} \cdot 1\text{Н}}{1\text{Кл}} = \frac{1\text{Кл/В} \cdot 1\text{Н}}{1\text{Кл}} = \frac{1\text{Н}}{1\text{В}} = \frac{1\text{Н}}{1\text{Дж/Кл}} = \frac{1\text{Н} \cdot 1\text{Кл}}{1\text{Н} \cdot \text{м}} = \frac{1\text{Кл}}{1\text{м}}$$

Знайдена одиниця є одиницею лінійної густини заряду.

Виконаємо обчислення:

$$\tau = \frac{0,1(0,1 + 0,2) \cdot 6 \cdot 10^{-6}}{9 \cdot 10^9 \cdot 4 \cdot 10^{-8} \cdot 0,2} \text{ Кл / м} = 2,5 \cdot 10^{-9} \text{ Кл / м} = 2,5 \text{ нКл} .$$

№ 5. Електрон, який рухається зі швидкістю 1000 км/с, влетів в однорідне електричне поле в напрямку силових ліній. Яку відстань пролетить електрон до повної зупинки, якщо напруженість поля 120 В/м?

Дано:

$$V_0 = 1000 \text{ км/с} = 10^6 \text{ м/с}$$

$$V = 0$$

$$E = 120 \text{ В/м}$$

$$q = -e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

$$S = ? \quad t = ?$$

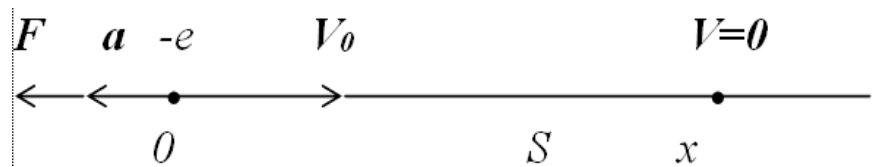


Рис. 5

На електрон в електричному полі, який рухається у напрямку силових ліній, діє гальмуюча сила,

оскільки заряд електрона негативний: $F = eE$

За другим законом Ньютона: $a = \frac{F}{m}$.

Шлях, який проходить електрон за час t , дорівнює: $S = V_0 t - \frac{at^2}{2}$.

Швидкість електрона через час t : $V = V_0 - at$ і в момент зупинки дорівнює нулю: $V = 0$. Звідси отримуємо систему рівнянь:

$$\begin{cases} F = eE \\ a = \frac{F}{m} \\ V = V_0 - at \\ V = 0 \\ S = V_0 t - \frac{at^2}{2} \end{cases}$$

Розв'язуючи цю систему рівнянь, із 3-, 4- і 5-го рівнянь отримуємо:

$$t = \frac{V_0}{a} \quad S = \frac{V_0^2}{a} - \frac{aV_0^2}{2a^2} = \frac{V_0^2}{2a}.$$

Підставляючи до цих формул $a = eE/m$, одержимо:

$$t = \frac{mV_0}{eE}, \quad S = \frac{mV_0^2}{2eE}$$

Обчислюємо: $t = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 10^6}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 120} \approx 4,7 \cdot 10^{-8} \text{ (с)}$. $S = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 10^{12}}{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 120} \approx 2,4 \cdot 10^{-2} \text{ (м)}$.

№ 6. Електрон пролетів в електричному полі від точки a до точки b і збільшив свою швидкість від 1000 до 3000 км/с. Визначити різницю потенціалів між точками a і b .

Дано:

$$V_a = 1000 \text{ км/с} = 10^6 \text{ м/с}$$

$$V_b = 3000 \text{ км/с} = 3 \cdot 10^6 \text{ м/с}$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

$$U_{ab} = ?$$

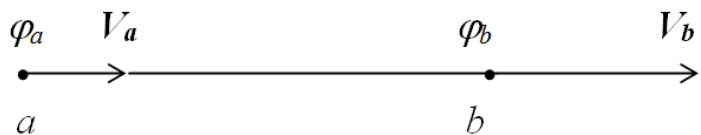


Рис. 6

Згідно з теоремою про зміну кінетичної енергії робота, яка виконується електричним полем над електроном, йде на зміну його кінетичної енергії:

$$W_b - W_a = A_{ab}$$

Отже, враховуючи, що заряд електрона негативний $q_e = -e$ і $\varphi_a - \varphi_b = U_{ab}$, отримуємо:

$$\frac{mV_b^2}{2} - \frac{mV_a^2}{2} = -e(\varphi_a - \varphi_b)$$

$$U_{ab} = -\frac{m(V_b^2 - V_a^2)}{2e}$$

Обчислюємо відповідь: $U_{ab} = -\frac{9,1 \cdot 10^{-31} (9 \cdot 10^{12} - 1 \cdot 10^{12})}{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} = -22,75 \text{ (В)}$.

Оскільки електрон має негативний заряд, різниця потенціалів між точками a і b від'ємна (швидкість електрона збільшується під час його руху в бік зростання потенціалу).

№ 7. Напряга на зарядженому конденсаторі ємністю 1 мкФ дорівнює 20 В, а на конденсаторі ємністю 2 мкФ – відповідно 50 В. Після зарядження конденсатори з'єднано однойменними полюсами. Знайти напругу на конденсаторах після їх з'єднання.

Дано:

$$C_1 = 1 \text{ мкФ} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ мкФ}$$

$$C_2 = 2 \text{ мкФ} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ мкФ}$$

$$U_1 = 20 \text{ В}$$

$$U_2 = 50 \text{ В}$$

U -?

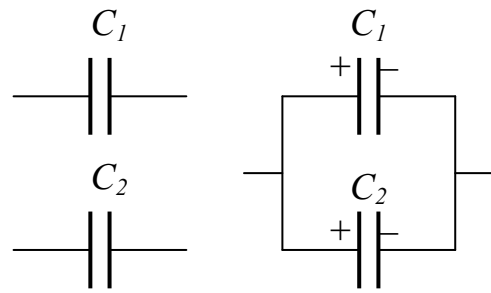


Рис. 7

Заряди конденсаторів до з'єднання $q_1 = C_1 U_1$ і $q_2 = C_2 U_2$. За законом збереження заряду загальний заряд на обкладках конденсаторів після їх з'єднання: $q = q_1 + q_2$. Загальна ємність конденсаторів після їх з'єднання: $C = C_1 + C_2$. Звідси, шукана напруга на обкладинках після з'єднання:

$$U = \frac{q}{C} = \frac{q_1 + q_2}{C_1 + C_2} = \frac{U_1 C_1 + U_2 C_2}{C_1 + C_2}.$$

Обчислюємо відповідь:
$$U = \frac{(20 \cdot 1 + 50 \cdot 2) 10^{-6}}{(1 + 2) 10^{-6}} = 40 \text{ (В)}.$$

№ 8. Визначити струм короткого замикання джерела ЕРС, якщо при зовнішньому навантаженні 1 Ом напруга на затискачах джерела 20 В, а при зовнішньому навантаженні 2 Ом – 50 В.

Дано:

$$R_1 = 1 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 2 \text{ Ом}$$

$$U_1 = 20 \text{ В}$$

$$U_2 = 50 \text{ В}$$

$I_{кз}$ -?

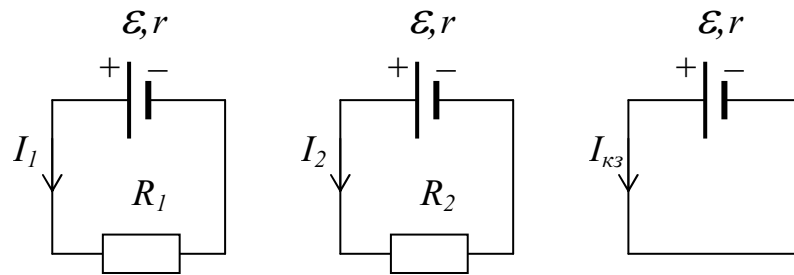


Рис. 8

Згідно із законом Ома для повного кола струм у колі в першому випадку:

$$I_1 = \frac{\varepsilon}{R_1 + r}, \text{ а в другому: } I_2 = \frac{\varepsilon}{R_2 + r},$$

де ε – ЕРС джерела, r – його внутрішній опір.

$$\text{Або: } \varepsilon = I_1 R_1 + I_1 r, \quad \varepsilon = I_2 R_2 + I_2 r.$$

Струм у колі можна також визначити згідно із законом Ома для ділянки

кола: $I_1 = \frac{U_1}{R_1}$, $I_2 = \frac{U_2}{R_2}$. Звідси: $U_1 = I_1 R_1$, $U_2 = I_2 R_2$. Підставляючи до ви-

разів для ЕРС і прирівнюючи, одержуємо: $U_1 + I_1 r = U_2 + I_2 r$.

$$\text{Звідси: } r = \frac{U_2 - U_1}{I_1 - I_2} = \frac{U_2 - U_1}{\frac{U_1}{R_1} - \frac{U_2}{R_2}} = \frac{(U_2 - U_1)R_1 R_2}{U_1 R_2 - U_2 R_1},$$

$$\varepsilon = I_1(R_1 + r) = U_1 \left[1 + \frac{(U_2 - U_1)R_2}{U_1 R_2 - U_2 R_1} \right] = \frac{U_1 U_2 (R_2 - R_1)}{U_1 R_2 - U_2 R_1}.$$

$$I_{\text{кз}} = \frac{\varepsilon}{r} = \frac{U_1 U_2 (R_2 - R_1)}{R_1 R_2 (U_2 - U_1)}$$

Підставляючи дані задачі, обчислюємо: $I_{\text{кз}} = \frac{20 \cdot 50(2-1)}{2 \cdot 1(50-20)} \approx 16,7(A)$.

№ 9. Сила струму в провіднику з опором $R = 50$ Ом рівномірно зростає від $I_0 = 0$ до $I_{\text{max}} = 3$ А за час $\tau = 6$ с. Визначити кількість теплоти, що виділилася у провіднику за цей час.

Дано:	Згідно із законом Джоуля-Ленца за нескінченно малий проміжок часу:
$R = 50$ Ом	
$I_0 = 0$	
$I_{\text{max}} = 3$ А	
$\tau = 6$ с	
Q -?	$dQ = I^2 R dt .$ <p>За умовою задачі сила струму рівномірно зростає, тобто $I = kt$, де коефіцієнт пропорційності $k = (I_{\text{max}} - I_0)/\tau = \text{const}$. Тоді можна записати:</p> $dQ = k^2 R t^2 dt. \tag{1}$

Проінтегрувавши (1) і підставивши вираз для k , знайдемо кількість теплоти:

$$Q = \int_0^{\tau} k^2 R t^2 dt = \frac{1}{3} k^2 R \tau^3 = \frac{1}{3} \frac{(I_{\text{max}} - I_0)^2}{\tau^2} R \tau^3 = \frac{1}{3} (I_{\text{max}} - I_0)^2 R \tau.$$

Обчисливши, знайдемо $Q = 900$ Дж.

№ 10. Електричне коло складається з джерела ЕРС і трьох опорів: $R_1 = 3$ Ом, $R_2 = 6$ Ом, $R_3 = 2$ Ом. Знайти потужність, що виділяється у зовніш-

ньому колі, якщо ЕРС джерела $\varepsilon = 9$ В, його внутрішній опір $r = 0,5$ Ом.

Дано:

$$R_1 = 3 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 6 \text{ Ом}$$

$$R_3 = 2 \text{ Ом}$$

$$\varepsilon = 9 \text{ В}$$

$$r = 0,5 \text{ Ом}$$

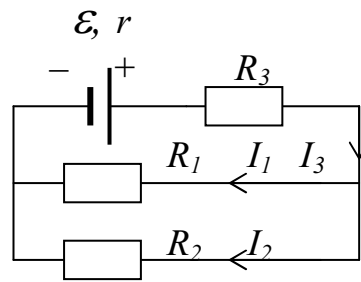


Рис. 9

$P - ?$

Опір розгалуженої частини кола знайдемо із формули:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}, \text{ звідки: } R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}. \text{ Загальний опір кола:}$$

$$R_0 = R + R_3 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} + R_3. \text{ Згідно із законом Ома для повного кола загаль-}$$

$$\text{ний струм у колі: } I_0 = I_3 = \frac{\varepsilon}{R_0 + r} = \frac{\varepsilon}{\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + R_3 + r}.$$

Тепер, використовуючи закон Джоуля-Ленца, одержимо:

$$P = I_0^2 R_0 = \left(\frac{\varepsilon}{\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + R_3 + r} \right)^2 \left(\frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} + R_3 \right). \text{ Підставляючи дані, знахо-}$$

ДИМО:

$$P = \left(\frac{9}{\frac{3 \cdot 6}{3 + 6} + 2 + 0,5} \right)^2 \cdot \left(\frac{3 \cdot 6}{3 + 6} + 2 \right) = 16 \text{ (Вт)}.$$

Магнітне поле постійного струму

№ 11. По двох довгих паралельних проводах, які розташовані у вакуумі на відстані $r = 5$ см один від одного, течуть в однакових напрямках струми $I_1 = I_2 = 100$ А. Визначити індукцію магнітного поля в точці, віддаленій від них на таку саму відстань $r = 10$ см.

Дано:

$$r = 5 \text{ см} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$I = 10^2 \text{ А}$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$$

$$\mu = 1$$

$$B_A = ?$$

Магнітну індукцію в т. А визначимо, виходячи із принципу суперпозиції:

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

де \vec{B}_1, \vec{B}_2 – вектори магнітної

індукції, створювані в т.А від-

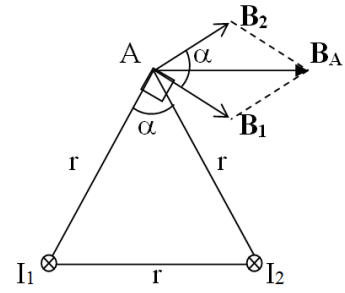


Рис. 10

повідно струмами I_1 і I_2 . Ураховуючи, що

$$B_1 = B_2 = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}, \alpha = 60^\circ, \cos \alpha = 0,5, \text{ знаходимо з теореми косинусів:}$$

$$B_A = \sqrt{B_1^2 + B_2^2 + 2B_1B_2\cos\alpha} = \sqrt{B_1^2 + B_1^2 + 2B_1^2 \cdot 0,5} = \sqrt{3}B_1 \quad B_A = \frac{\sqrt{3}\mu_0 I}{2\pi r}$$

Підставляємо вихідні дані й обчислюємо:

$$B_A = \frac{\sqrt{3} \cdot 4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 10^2}{2\pi \cdot 5 \cdot 10^{-2}} \approx 7 \cdot 10^{-4} \text{ (Тл)}$$

№ 12. Нескінченний провідник зі струмом $I = 100 \text{ А}$ зігнутий у вигляді напівпетлі радіусом $R = 10 \text{ см}$. Визначити магнітну індукцію в т.О.

Дано:

$$r = 10 \text{ см} = 0,1 \text{ м}$$

$$I = 10 \text{ А}$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$$

$$\mu = 1$$

$$B_o = ?$$

Магнітну індукцію в т.А, визначимо, виходячи із принципу суперпозиції:

$$\vec{B}_0 = \vec{B}_1 + \vec{B}_2 + \vec{B}_3,$$

де $\vec{B}_1, \vec{B}_2, \vec{B}_3$ – вектори

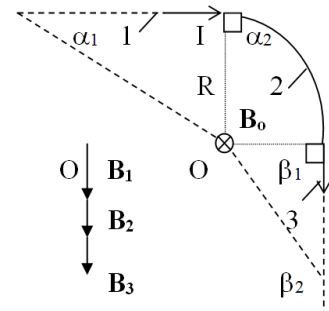


Рис. 11

магнітної індукції, створювані в т. О ділянками

провідника зі струмом 1, 2, 3.

Ураховуючи те, що згідно з правилом буравчика вектори $\vec{B}_1, \vec{B}_2, \vec{B}_3$ напрямлені в один бік, геометричне додавання можна замінити алгебраїчним: $B_0 = B_1 + B_2 + B_3$. Магнітну індукцію B_1 , що створюється в т. О напівбезкінечним

провідником 1, знаходимо за формулою: $B_1 = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi r} (\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2)$, де $r = R$,

$\alpha_1 \rightarrow 0, \cos\alpha_1 = 1, \alpha_2 = \pi/2, \cos\alpha_2 = 0$. Звідки: $B_1 = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi R}$. Таким самим чином

знаходимо: $B_3 = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi R} (\cos\beta_1 - \cos\beta_2)$, де $\beta_1 = \pi/2, \cos\beta_1 = 0, \beta_2 \rightarrow \pi, \cos\beta_2 = -1$.

Звідки: $B_3 = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi R}$. Магнітна індукція B_2 створюється в т. О чвертю колового

провідника, тобто: $B_2 = \frac{1}{4} \frac{\mu\mu_0 I}{2\pi R} = \frac{\mu\mu_0 I}{8\pi R}$.

Додаючи $B_1 + B_2 + B_3$, знаходимо: $B_0 = 2 \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi R} + \frac{\mu\mu_0 I}{8\pi R} = \frac{5}{8} \frac{\mu\mu_0 I}{\pi R}$.

Обчислюємо: $B_0 = \frac{5}{8} \cdot \frac{4\pi 10^{-7} \cdot 10^2}{\pi \cdot 0,1} = 2,5 \cdot 10^{-4} \text{ (Тл)}$.

№ 13. Електрон рухається у вакуумі в однорідному магнітному полі з індукцією $B = 0,1 \text{ Тл}$ зі швидкістю $V = 10^7 \text{ м/с}$ перпендикулярно до ліній магнітної індукції. Визначити радіус кола R , по якому він рухається, і період обертання T .

Дано:

$$V = 1 \cdot 10^7 \text{ м/с}$$

$$\alpha = 90^\circ$$

$$B = 0,1 \text{ Тл}$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

$$R = ? \text{ м}$$

$$T = ?$$

На електрон, який рухається в магнітному полі, діє сила Лоренца перпендикулярно до вектора швидкості, отже, електрон рухається по колу. Згідно з другим законом Ньютона сила Лоренца створює нормальне прискорення: $ma_n = F_L$

де $a_n = V^2/R, F_L = eVB$, внаслідок чого $\alpha = 90^\circ, \sin\alpha = 1$.

$$\text{Звідси: } m \frac{V^2}{R} = eVB \Rightarrow R = \frac{mV}{eB}.$$

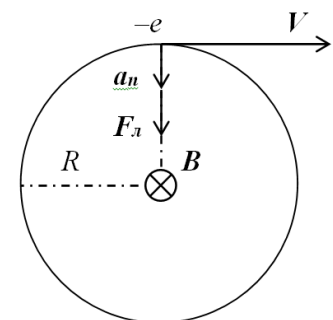


Рис. 12

Період знайдемо з формули: $T = \frac{2\pi R}{V}$. Підставляючи R , отримуємо:

$$T = \frac{2\pi m}{eB}.$$

Обчислюємо:

$$R = \frac{9,1 \cdot 10^{-31} \cdot 1 \cdot 10^7}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{-1}} \approx 5,7 \cdot 10^{-4} (\text{м}). \quad T = \frac{2\pi \cdot 9,1 \cdot 10^{-31}}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{-1}} \approx 3,6 \cdot 10^{-10} (\text{с}).$$

№ 14. Кільце з мідного дроту розташоване в однорідному магнітному полі $B = 0,1$ Тл таким чином, що вектор магнітної індукції перпендикулярний до площини кільця. Визначити заряд, який пройде через кільце, якщо його перевернути на інший бік. Діаметр кільця $D = 20$ см, діаметр дроту $d = 0,1$ мм.

Дано:

$$B = 0,1 \text{ Тл}$$

$$D = 0,2 \text{ м}$$

$$\alpha = 0^\circ$$

$$d = 0,1 \text{ мм} = 10^{-4} \text{ м}$$

$$\rho = 17 \cdot 10^{-9} \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$\Delta q = ?$$

Коли кільце розташоване таким чином, що вектор \mathbf{B} перпендикулярний до площини кільця, магнітний потік крізь площину кільця: $\Phi_1 = B S \cos \alpha = B S$,

де $S = \pi D^2/4$ – площа кільця. Якщо кільце перевернути на інший бік, магнітний потік змінить знак: $\Phi_2 = -\Phi_1$.

Тобто $\Delta \Phi = |\Phi_2 - \Phi_1| = 2\Phi_1 = 2B\pi D^2/4 = B\pi D^2/2$.

Згідно із законом електромагнітної індукції: $\varepsilon_i = \left| \frac{\Delta \Phi}{\Delta t} \right|$.

Знаючи ЕРС, можна знайти силу струму із закону Ома для повного кола:

$$I = \frac{\varepsilon_i}{R}, \quad \text{де } R = \frac{\rho l}{S_\perp} = \text{— опір дротяного кільця, } l = \pi D, \quad S_\perp = \frac{\pi d^2}{4} \text{ — відповідно}$$

його довжина і поперечний переріз дроту. Ураховуючи, що $\Delta q = I \Delta t = \frac{\varepsilon_i \Delta t}{R}$,

отримуємо: $\Delta q = \frac{|\Delta \Phi|}{R}$. Підставляємо одержані раніше вирази для $\Delta \Phi$ і R :

$$\Delta q = \frac{B \pi D^2 \pi d^2}{2 \cdot 4 \rho \pi D} = \frac{\pi D d^2 B}{8 \rho}.$$

Обчислюємо:

$$\Delta q = \frac{\pi 0,2^2 \cdot 10^{-8} \cdot 0,1}{8 \cdot 17 \cdot 10^{-9}} \approx 9,2 \cdot 10^{-4} (\text{Кл}).$$

№ 15. В однорідному магнітному полі з індукцією $B = 0,2$ Тл рівномірно обертається котушка, що містить $N = 600$ витків, з частотою $n = 6 \text{ с}^{-1}$. Площа S поперечного перерізу котушки 100 см^2 . Вісь обертання перпендикулярна до осі котушки і напрямку магнітного поля. Визначити максимальну е.р.с. індукції котушки, що обертається.

Дано :

$$B = 0,2 \text{ Тл}$$

$$N = 600$$

$$n = 6 \text{ с}^{-1}$$

$$S = 100 \text{ см}^2 = 10^{-2} \text{ м}^2$$

$$(\varepsilon_i)_{\max} \text{ -?}$$

Відповідно до закону Фарадея,

$$\varepsilon_i = - \frac{d\Psi}{dt} .$$

де поточозчеплення котушки $\Psi = N\Phi$ (N — число витків, яке пронизується магнітним потоком Φ). При довільному розташуванні котушки щодо магнітного поля

$$\Psi = NBS \cos \omega t . \tag{1}$$

де циклічна частота $\omega = 2\pi n$. Підставивши ω до (1), одержимо

$$\Psi = NBS \cos 2\pi n t .$$

Тоді

$$\varepsilon_i = -NBS \cdot 2\pi n (-\sin 2\pi n t) = 2\pi n NBS \sin 2\pi n t,$$

Обчислюючи, одержуємо $(\varepsilon_i) = 45,2 \text{ В}$.

ЗАДАЧІ ДО ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ, КОНТРОЛЬНИХ РОБІТ І САМОСТІЙНОГО РОЗВ'ЯЗАННЯ

Електростатика

1. Два точкові заряди $q_1 = -5 \text{ нКл}$ і $q_2 = 4 \text{ нКл}$ знаходяться на відстані $d = 10 \text{ см}$ один від одного. Знайти силу, що діє на третій заряд $q_3 = 2 \text{ нКл}$, який знаходиться на прямій, яка з'єднує заряди, на відстані $l = 40 \text{ см}$ від позитивного заряду.

2. Два точкові заряди $q_1 = 2$ мкКл і $q_2 = -4$ мкКл знаходяться на відстані $d = 40$ см один від одного. Знайти напруженість електричного поля в точці посередині між зарядами.

3. У вершинах правильного трикутника зі стороною $a = 10$ см знаходяться заряди $Q_1 = 10$ мкКл, $Q_2 = 20$ мкКл, $Q_3 = 30$ мкКл. Знайти силу F , що діє на заряд Q_1 з боку двох інших зарядів.

4. У вершинах квадрата знаходяться однакові заряди $Q_1 = Q_2 = Q_3 = Q_4 = 8 \cdot 10^{-10}$ Кл. Який від'ємний заряд Q потрібно помістити в центрі квадрата, щоб сила взаємного відштовхування додатних зарядів була врівноважена силою притягання від'ємного заряду?

5. Між двома зарядженими пластинами плоского конденсатора знаходиться точковий заряд $q = 1$ нКл, на який діє сила $F = 20$ мН. Визначити заряд пластин, якщо їхня площа $S = 100$ см².

6. Тонкий довгий стрижень рівномірно заряджений з лінійною густиною $\tau = 1,5$ нКл/см. На продовжені осі стрижня на відстані $d = 12$ см від його кінця знаходиться точковий заряд $Q = 0,2$ мкКл. Знайти силу взаємодії зарядженого стрижня і точкового заряду.

7. Довгий прямий тонкий провід несе рівномірно розподілений заряд. Знайти лінійну густину заряду τ , якщо напруженість поля на відстані $r = 0,5$ м від провода проти його середини $E = 2$ В/см.

8. По тонкому півкільцю радіусом $R = 10$ см рівномірно розподіляється заряд з лінійною густиною $\tau = 1$ мкКл/м. Визначити напруженість E електричного поля, створюваного розподіленим зарядом у точці O , що збігається з центром кільця.

9. Тонке кільце несе розподілений заряд $Q = 0,2$ мкКл. Знайти напруженість E електричного поля, що створюється розподіленим зарядом у точці A , рівновіддаленій від усіх точок кільця на відстані $r = 20$ см. Радіус кільця $R = 10$ см.

10. Третина тонкого кільця радіусом $R = 10$ см несе розподілений заряд $Q = 50$ нКл. Знайти напруженість E електричного поля, що створюється розподіленим зарядом у точці O , яка збігається із центром кільця.

11. Кільце радіусом $r = 5$ см з тонкого дроту несе рівномірно розподілений заряд $Q = 10$ нКл. Знайти потенціал φ електричного поля: 1) у центрі кільця; 2) на осі, що проходить через центр кільця, у точці, віддаленій на відстані $a = 10$ см від центра кільця.

12. Металева куля радіусом 5 см несе заряд $Q = 10$ нКл. Знайти потенціал φ електричного поля: 1) на поверхні кулі; 2) на відстані $a = 2$ см від його поверхні. Побудувати графік залежності $\varphi(r)$.

13. Порожня куля несе на собі рівномірно розподілений заряд. Знайти радіус кулі, якщо потенціал у центрі кулі $\varphi_1 = 200$ В, а у точці, що лежить від центра на відстані $r = 50$ см, $\varphi_2 = 40$ В.

14. Заряджена частинка із зарядом $q = 2e$ пройшла прискорюючу різницю потенціалів $U = 10^6$ В і набула швидкості $V = 2$ см/с. Визначити масу частинки.

15. У борівській моделі атома водню електрон рухається по коловій орбіті радіусом $r = 52,8$ пм, у центрі якої знаходиться протон. Знайти: 1) швидкість електрона на орбіті; 2) потенціальну енергію електрона у полі ядра, виразивши її в електрон-вольтах.

16. Два однакові конденсатори ($C = 1$ МкФ) з'єднані послідовно. Знайти, на скільки зміниться загальна ємність ΔC , якщо в один з конденсаторів вставити слюдяну пластинку, що щільно прилягає до пластин конденсатора. ($\epsilon_{\text{слюди}} = 7$).

17. Між пластинами конденсатора, напруга на обкладках якого $U_1 = 200$ В, знаходиться ебонітова пластинка, що щільно прилягає до обкладок. Знайти напругу U_2 на обкладках конденсатора, після того як з нього витягли пластину. ($\epsilon_{\text{ебон}} = 3$).

18. Два однакові конденсатори, напруга на обкладках яких була $U_1 = 100 \text{ В}$ і $U_2 = 200 \text{ В}$, з'єднали паралельно обкладками із зарядами однакових знаків. Визначити напругу на обкладках конденсаторів U_0 після їх з'єднання.

19. Два незаряджені конденсатори $C_1 = 1 \text{ МкФ}$ $C_2 = 2 \text{ МкФ}$ з'єднані послідовно і підключені до джерела з напругою $U = 300 \text{ В}$. Знайти енергію кожного конденсатора W_1 і W_2 .

20. Електрон, швидкість якого $V_0 = 10^8 \text{ м/с}$, влетів у прискорююче електричне поле напруженістю $E = 10^3 \text{ В/м}$. Визначити його швидкість V через $t = 2 \text{ нс}$.

21. До зарядженого конденсатора ($C_1 = 1 \text{ мкФ}$), напруга на обкладках якого дорівнювала $U_1 = 300 \text{ В}$, під'єднали паралельно незаряджений конденсатор ємністю $C_2 = 2 \text{ мкФ}$. Визначити, на скільки змінилася енергія ΔW після їх з'єднання.

Закони постійного електричного струму

22. Визначити напругу на кінцях алюмінієвого провідника завдовжки $l = 2 \text{ м}$, якщо в ньому тече струм, густина якого $j = 10^7 \text{ А/м}^2$. ($\rho_{\text{ал}} \approx 26 \text{ нОм}\cdot\text{м}$).

23. Напруга на кінцях залізного провідника завдовжки $l = 250 \text{ см}$ дорівнює $U = 0,5 \text{ В}$. Визначити його діаметр, якщо в ньому виділяється потужність $P = 3,14 \text{ Вт}$. ($\rho_{\text{зал}} \approx 100 \text{ нОм}\cdot\text{м}$).

24. Спад напруги на двох послідовно з'єднаних провідниках однакового діаметра – мідному завдовжки $l_1 = 2 \text{ м}$ та алюмінієвому $l_2 = 4 \text{ м}$ – становить $U = 1,4 \text{ В}$. Визначити спад напруги на алюмінієвому провіднику.

25. Спад напруги на двох послідовно з'єднаних провідниках однакової довжини – мідному перерізом $S_1 = 0,1 \text{ мм}^2$ і алюмінієвому $S_2 = 0,2 \text{ мм}^2$ – становить $U = 3 \text{ В}$. Визначити спад напруги на мідному провіднику.

26. До джерела ЕРС ($\mathcal{E} = 13 \text{ В}$, $r = 0,5 \text{ Ом}$) підключені паралельно два нагрівачі $R_1 = 15 \text{ Ом}$ і $R_2 = 10 \text{ Ом}$. Визначити загальну потужність P , що виділяється в нагрівачах.

27. До джерела ЕРС з внутрішнім опором $r = 2$ Ом підключені послідовно два нагрівачі з опором $R_1 = 6$ Ом і $R_2 = 4$ Ом. Визначити ЕРС \mathcal{E} джерела, якщо загальна потужність, що виділяється у нагрівачах, становить $P = 40$ Вт.

28. В опорі $R = 20$ Ом, який підключений до джерела ЕРС ($\mathcal{E} = 11$ В), виділяється потужність $P = 5$ Вт. Знайти внутрішній опір джерела.

29. Струм короткого замикання джерела ЕРС становить $I = 3$ А. Визначити потужність, яка буде виділятися в опорі $R = 13,5$ Ом, що під'єднали до джерела, якщо внутрішній опір джерела становить $r = 1,5$ Ом.

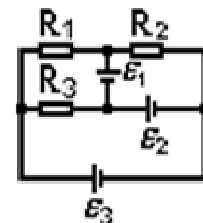
30. При зовнішньому опорі $R_1 = 5$ Ом сила струму в колі становить $I_1 = 0,8$ А, а при опорі $R_2 = 20$ Ом – сила струму $I_2 = 0,3$ А. Визначити силу струму короткого замикання.

31. У зовнішньому колі джерела ЕРС при струмі $I_1 = 2$ А виділяється потужність $P_1 = 20$ Вт, а при струмі $I_2 = 1$ А виділяється потужність $P_2 = 11$ Вт. Визначити ЕРС джерела \mathcal{E} і внутрішній опір r .

32. Сила струму в провіднику змінюється з часом за законом $I = I_0 e^{-\alpha t}$, де $I_0 = 20$ А, $\alpha = 10^2$ с⁻¹. Визначити кількість теплоти, що виділилася у провіднику за час $t = 10^{-2}$ с.

33. Сила струму у провіднику з опором $R = 10$ Ом за час $t = 50$ с рівномірно зростає від $I_1 = 5$ А до $I_2 = 10$ А. Визначити кількість теплоти Q , що виділилася за цей час у провіднику.

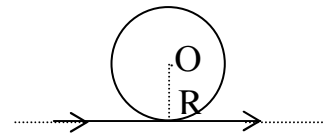
34. На рис. $\mathcal{E}_1 = 10$ В, $\mathcal{E}_2 = 20$ В, $\mathcal{E}_3 = 40$ В, а опори $R_1 = R_2 = R_3 = R = 10$ Ом. Визначити силу струмів, що проходять через опори (I) і через джерела е.р.с. (I'). Внутрішні опори джерел е.р.с. не враховувати.



Магнітне поле постійного струму

35. Визначити індукцію магнітного поля в т. О

для провідника у вигляді петлі. Струм у провіднику $I = 100$ А, ($R = 10$ см).

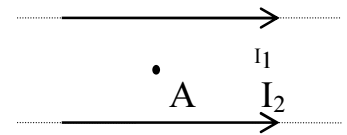


36. Нескінченний провідник зі струмом $I = 50$ А зігнутий у вигляді напівпетлі. Визначити магнітну індукцію в т. О. ($R = 20$ см).

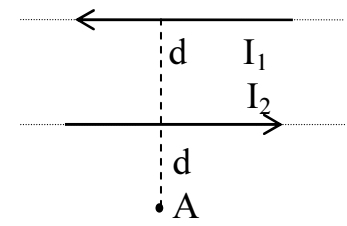
37. Знайти магнітну індукцію B_A на осі тонкого кільця з дроту радіусом $R = 10$ см у точці, розташованій на відстані $d = 20$ см від центру кільця, якщо в центрі кільця $B = 50$ мкТл.



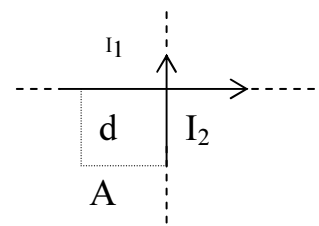
38. По двох нескінченних паралельних провідниках проходять однонаправлені струми $I_1 = 100$ А і $I_2 = 200$ А. Відстань між проводами $d = 10$ см. Знайти індукцію магнітного поля в т. А посередині між проводами.



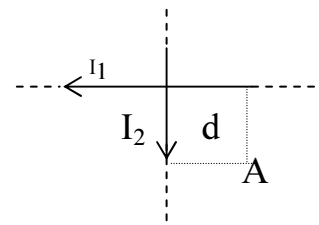
39. По двох нескінченних паралельних провідниках проходять різнонаправлені струми $I_1 = 100$ А і $I_2 = 50$ А. Відстань між проводами $d = 10$ см. Знайти індукцію магнітного поля в т. А.



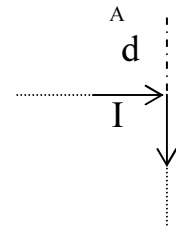
40. По двох нескінченних провідниках проходять струми $I_1 = 100$ А і $I_2 = 200$ А. Знайти індукцію магнітного поля в т. А на відстані $d = 10$ см від провідників.



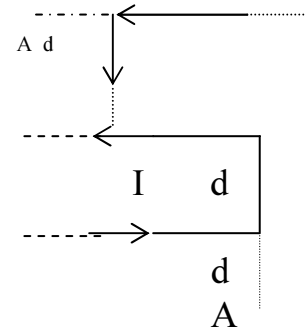
41. По двох нескінченних провідниках проходять струми $I_1 = 200$ А і $I_2 = 100$ А. Знайти індукцію магнітного поля в т. А на відстані $d = 5$ см від провідників.



42. Нескінченний провідник зігнутий під прямим кутом. Струм у провіднику $I = 100$ А, $d = 10$ см. Визначити магнітну індукцію в т. А.

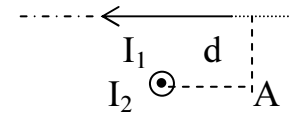


43. Нескінченний провідник зігнутий під прямим кутом. Струм у провіднику $I = 50$ А, $d = 20$ см. Визначити магнітну індукцію в т. А.



44. По нескінченному провіднику, зігнутому у вигляді рамки, тече струм $I = 20$ А. Знайти індукцію магнітного поля в т. А на відстані $d = 10$ см від прямого кута.

45. По двох нескінченних провідниках проходять струми $I_1 = 100$ А і $I_2 = 200$ А. Знайти індукцію магнітного поля в т. А на відстані $d = 10$ см від провідників.



46. Визначити магнітний потік Φ , який пронизує соленоїд, якщо його довжина $l = 50$ см і магнітний момент $p_m = 0,4$ Вб.

Рух зарядів у магнітному полі

47. Електрон пройшов прискорюючу різницю потенціалів $U = 5$ кВ і влетів у поперечне магнітне поле $B = 10$ мТл. Визначити радіус кола R , по якому обертається електрон, і частоту обертання ν .

48. Протон, який пройшов прискорюючу різницю потенціалів $U = 2$ кВ, влетів у поперечне магнітне поле $B = 0,5$ Тл. Визначити радіус кола R , по якому рухається протон, і частоту обертання ν .

49. Протон рухається в однорідному магнітному полі з магнітною індукцією $B = 1$ мТл по колу радіусом $R = 1$ см. Визначити швидкість протона V і період обертання T .

50. Електрон рухається в однорідному магнітному полі з магнітною індукцією $B = 2$ мТл по колу радіусом $R = 5$ мм. Визначити швидкість електрона V і період обертання T .

51. Електрон пройшов прискорюючу різницю потенціалів і влетів у поперечне магнітне поле $B = 20$ мТл. Визначити цю різницю потенціалів U , якщо радіус кола, по якому обертається електрон $R = 10$ мм.

52. Протон пройшов прискорюючу різницю потенціалів і влетів у поперечне магнітне поле $B = 1$ Тл. Визначити цю різницю потенціалів U , якщо радіус кола, по якому обертається протон, $R = 5$ см.

53. Визначити масу альфа-частинки m , якщо вона рухається по колу радіусом $R = 0,5$ см зі швидкістю $V = 10^5$ м/с у поперечному магнітному полі $B = 0,4$ Тл. Заряд альфа-частинки $q=2e$.

54. Визначити масу однозарядного ($q = e$) позитивного іона m , якщо він рухається по колу радіусом $R = 3$ мм зі швидкістю $V = 10^4$ м/с у поперечному магнітному полі $B = 0,1$ Тл.

55. Іони двох ізотопів із масами $m_1 = 6,5 \cdot 10^{-26}$ кг і $m_2 = 6,8 \cdot 10^{-26}$ кг прискорені різницею потенціалів $U = 0,5$ кВ, влітають в однорідне магнітне поле з індукцією $B = 0,5$ Тл перпендикулярно до ліній індукції. Узавши заряд кожного іона таким, що дорівнює елементарному електричному заряду, знайти, на скільки будуть відрізнятися радіуси траєкторії іонів ізотопів у магнітному полі.

56. Іон влітає в перехрещені під прямим кутом електричне і магнітне поле. Напруженість електричного поля $E = 10^3$ В/м, магнітна індукція $B = 5$ мТл. Визначити швидкість іона, якщо він рухається в цих полях прямолінійно із сталою швидкістю.

57. Протон, який рухається зі швидкістю $V = 5 \cdot 10^3$ м/с, влітає в перехрещені під прямим кутом електричне ($E = 10^3$ В/м) і магнітне поле ($B = 0,2$ Тл) таким чином, що сили, які діють на нього з боку електричного і магнітного поля напрямлені в один бік. Знайти прискорення протона в перехрещених полях.

Електромагнітна індукція

58. На котушці намотано $N = 1000$ витків, сила струму в ній $I = 20$ А. Знайти індуктивність котушки, якщо магнітний потік у ній дорівнює $\Phi = 0,5$ мВб.

59. Соленоїд індуктивністю $L = 2$ мГн вміщує $N = 500$ витків. Визначити магнітний потік Φ , якщо сила струму в соленоїді $I = 5$ А.

60. Енергія магнітного поля соленоїда $W = 100$ мДж, коли в його обмотці протікає струм $I = 0,5$ А. Визначити потокозчеплення Ψ .

61. На котушку індуктивності намотано $N = 500$ витків. Сила струму в її витках дорівнює $I = 2$ А, магнітний потік крізь поперечний переріз $\Phi = 0,2$ мВб. Знайти енергію магнітного поля W .

62. У соленоїді з $N = 800$ витків тече струм $I = 2$ А. Визначити потік Φ і потокозчеплення Ψ , якщо індуктивність соленоїда $L = 2$ мГн.

63. Індукція магнітного поля в соленоїді з площею поперечного перерізу $S = 10$ см² становить $B = 10$ мТл при силі струму $I = 0,5$ А. Кількість витків соленоїда $N = 1500$. Визначити його індуктивність.

64. Магнітний потік крізь поперечний переріз котушки індуктивності, яка має $N = 600$ витків, становить $\Phi = 0,8$ мВб при силі струму $I_1 = 3$ А. Визначити енергію магнітного поля котушки W при силі струму $I_2 = 5$ А.

65. Магнітне потокозчеплення котушки індуктивності становить $\Psi = 0,5$ мВб при силі струму в її витках $I = 2$ А. Знайти енергію магнітного поля.

66. Квадратна рамка з дроту зі стороною $a = 5$ см лежить на столі. Який заряд протече по рамці, якщо її перевернути з одного боку на другий, якщо опір рамки $R = 0,5$ Ом. Вертикальна складова магнітного поля Землі $B_{\perp} = 50$ мкТл.

67. Після вимкнення магнітного поля $B = 0,01$ Тл, поперечного до площини витка радіусом $r = 0,1$ м, по цьому витку пройшов заряд $q = 1$ мКл. Визначити опір витка.

68. Рамка, що містить $N = 200$ витків тонкого дроту, може вільно обертатися навколо осі, що лежить у площині рамки. Площа рамки $S = 50$ м².

Вісь рамки перпендикулярна до ліній індукції однорідного магнітного поля ($B = 0,05$ Тл). Визначити максимальну е.р.с. ε_{\max} , що індукується в рамці під час її обертанні з частотою $n = 40$ с⁻¹.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Трофимова Т. И. Курс физики / Т. И. Трофимова – М. : Высш.школа, 1996. – 500 с.
2. Детлаф А. А. Курс физики / А. А. Детлаф, Б. М. Яворский. – М.: Высш. шк., 1989. – 608 с.
3. Дмитриева В. Ф. Основы физики : учеб. пособ. / В. Ф. Дмитриева, В. Л. Прокофьев, П. И. Самойленко. – Москва : Высшая школа, 1997. – 447 с.
4. Савельев И. В. Курс общей физики / И. В. Савельев – М.: Наука, 1987. – Т.1-2.
5. Чертов А. Г. Сборник задач / А. Г. Чертов, А. А. Воробьев. – Москва : Высш. шк., 1981. – 496 с.
6. Мотрій Н. І. Задачі з фізики. Частина друга: Навч. посібник для студентів вищих навчальних закладів / Н. І. Мотрій, В. П. Черепанов, О. В. Сукачов, В. В. Журав – Кременчук: КДПУ, 2008. – 168 с.

ТАБЛИЦІ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН

Таблиця 1 – Деякі фундаментальні фізичні й астрономічні сталі

Фізична стала	Числове значення
Електрична стала	$\varepsilon_0 = (4\pi \cdot 9 \cdot 10^9)^{-1} \text{ Ф/м} \approx 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$
Магнітна стала	$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \text{ Гн/м}$
Елементарний заряд	$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Маса електрона	$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
Маса протона	$m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Швидкість світла у вакуумі	$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$

Таблиця 2 – Основні й додаткові одиниці міжнародної системи СІ

Фізична величина	Одиниця виміру	
	Найменування	Позначення
Основні величини		
Довжина	Метр	м
Маса	Кілограм	кг
Час	Секунда	с
Сила електричного струму	Ампер	А
Термодинамічна температура	Кельвін	К
Кількість речовини	Моль	моль
Сила світла	Кандела	кд
Додаткові величини		
Плоский кут	Радіан	рад
Тілесний кут	Стерадіан	ср

Таблиця 3 – Десяткові множники та префікси до найменувань одиниць

Позначення	Префікс	Множник
Т	тера	10^{12}
Г	гіга	10^9
М	мега	10^6
к	кіло	10^3
г	гекто	10^2
да	дека	10^1
д	деци	10^{-1}
с	санти	10^{-2}
м	мілі	10^{-3}
МК	мікро	10^{-6}
н	нано	10^{-9}
п	піко	10^{-12}

Методичні вказівки до виконання практичних робіт, самостійної роботи та контрольних робіт з навчальної дисципліни «Фізика» (розділ «Основи електродинаміки») для студентів усіх спеціальностей

Укладачі: доц. О. В. Сукачов,
асист. В. В. Журав,
асист. Г. В. Єременко

Відповідальна за випуск доц. О. В. Новохатько

Підп. до др. _____. Формат 60X84 1/16. Папір тип. Друк ризографія.
Ум. друк. арк. _____. Наклад _____ прим. Зам. № _____. Безкоштовно.

Видавничий відділ
Кременчуцького національного університету
імені Михайла Остроградського
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600