

**ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНО-КЕРУЮЧИХ СИСТЕМ  
ТА ТЕХНОЛОГІЙ**

**Кафедра фізики**

**МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ**

**до практичних занять з фізики**

**Частина 2**

**ЕЛЕКТРОСТАТИКА ТА ПОСТІЙНИЙ СТРУМ.  
ЕЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ**

**Харків – 2018**

Методичні вказівки розглянуто і рекомендовано до друку на засіданні кафедри фізики 26 лютого 2018 р., протокол № 7.

Розглянуто методи розв'язування задач з розділів «Електростатика», «Постійний струм», «Електромагнетизм», «Електромагнітна індукція». Наведено задачі для самостійного розв'язування.

Методичні вказівки призначені для студентів всіх спеціальностей денної та заочної форми навчання.

Укладач  
доц. Н. В. Глейзер

Рецензент  
доц. К. А. Котвицька

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ  
до практичних занять з фізики

Частина 2  
ЕЛЕКТРОСТАТИКА ТА ПОСТІЙНИЙ  
СТРУМ. ЕЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

Відповідальний за випуск Глейзер Н. В.

Редактор Третьякова К. А.

---

Підписано до друку 05.04.18 р.

Формат паперу 60x84 1/16. Папір писальний.

Умовн.-друк.арк. 3,0. Тираж 50. Замовлення №

Видавець та виготовлювач Український державний університет  
залізничного транспорту,  
61050, Харків-50, майдан Фейербаха, 7.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 6100 від 21.03.2018 р.

## Тема 1. ЕЛЕКТРОСТАТИКА

Після розгляду даної теми студент повинен **знати поняття і визначення:** електричний заряд, закон квантування заряду, закон збереження заряду, закон взаємодії зарядів, точковий заряд, закон Кулона, електричне поле, напруженість електричного поля, однорідне поле, принцип суперпозиції, силові лінії електростатичного поля, потік вектора напруженості, теорема Гауса для вектора  $\vec{E}$ , теорема про циркуляцію вектора  $\vec{E}$ , потенціал, різниця потенціалів, закон збереження енергії заряду в електростатичному полі, екіпотенціальні поверхні, провідники, полярні та неполярні діелектрики, поляризованість, діелектрична проникність, електроємність провідника, конденсатори.

Студент повинен **вміти** визначати кількість електронів, що зумовлюють заряд тіла; розраховувати силу взаємодії точкових зарядів; розраховувати напруженість електростатичного поля, створеного в даній точці точковим зарядом, нескінченною площиною, рівномірно зарядженою по поверхні, нескінченною ниткою, рівномірно зарядженою по довжині, нескінченим циліндром, рівномірно зарядженим по поверхні, сферою, рівномірно зарядженою по поверхні, кулею, рівномірно зарядженою по об'єму; розраховувати напруженість електростатичного поля, створеного в даній точці системою зарядів, користуючись принципом суперпозиції; розраховувати роботу сил електростатичного поля з переміщення заряду; знаходити різницю потенціалів між двома точками; розраховувати силу взаємодії та напруженість електричного поля в речовині; розраховувати електроємність конденсаторів з різною формою обкладок; розраховувати ємність, заряд і напругу на з'єднаннях конденсаторів; розраховувати енергію електричного поля.

### Основні формули:

- закон квантування заряду

$$q = Ne;$$

- закон збереження заряду

$$\sum_{i=1}^N q_i = \text{const};$$

- закон Кулона

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{|q_1||q_2|}{r^2};$$

- напруженість електричного поля

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q};$$

- принцип суперпозиції

$$\vec{E} = \sum_{i=1}^N \vec{E}_i;$$

- потік вектора напруженості

$$\Phi_E = \int_S \vec{E} d\vec{S};$$

- теорема Гауса для вектора

$$\int_S \vec{E} d\vec{S} = \frac{\sum_{i=1}^N q_i}{\epsilon_0};$$

- напруженість поля точкового заряду

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2};$$

- напруженість поля нескінченної площини, рівномірно зарядженої по поверхні,

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0};$$

- напруженість поля нескінченної нитки, рівномірно зарядженої по довжині,

$$E = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0 r};$$

- напруженість електричного поля нескінченного циліндра, рівномірно зарядженого по поверхні,

$$E = \begin{cases} \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0 r}, & r > R \\ 0, & r < R \end{cases};$$

- напруженість електричного поля сфери, рівномірно зарядженої по поверхні,

$$E = \begin{cases} \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}, & r > R \\ 0, & r < R \end{cases};$$

- напруженість поля кулі, рівномірно зарядженої по об'єму,

$$E = \begin{cases} \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r^2}, & r > R \\ \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R^3} r, & r < R \end{cases};$$

- робота сил електростатичного поля з переміщення електричного заряду

$$A = \int_{(1)}^{(2)} q \vec{E} d\vec{l};$$

$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2);$$

$$A = qU;$$

- теорема про циркуляцію вектора напруженості

$$\oint_L \vec{E} d\vec{l} = 0;$$

- потенціал

$$\varphi = \frac{W_p}{q};$$

- різниця потенціалів (напруга)

$$U = \frac{A}{q};$$

- закон збереження енергії зарядженої частинки в електростатичному полі

$$\frac{mv_1^2}{2} + q\varphi_1 = \frac{mv_2^2}{2} + q\varphi_2;$$

- зв'язок між потенціалом і напруженістю

$$\vec{E} = -grad\varphi;$$

- поляризованість діелектрика

$$\vec{P} = \frac{\sum_{i=1}^N \vec{p}_i}{V};$$

- діелектрична проникність

$$\varepsilon = \frac{E_0}{E};$$

- зв'язок між поляризованістю і напруженістю

$$\vec{P} = \kappa \varepsilon_0 \vec{E};$$

- електроємність провідника

$$C = \frac{q}{\varphi};$$

- електроємність усамітненої кулі

$$C = 4\pi \varepsilon_0 R;$$

- електроємність плоского конденсатора з одним шаром діелектрика

$$C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d};$$

- електроємність плоского конденсатора з кількома шарами діелектрика

$$C = \frac{\varepsilon_0 S}{\sum_{i=1}^N \frac{d_i}{\varepsilon_i}};$$

- електроємність сферичного конденсатора

$$C = 4\pi\epsilon\epsilon_0 \frac{R_1 R_2}{R_2 - R_1};$$

- електроємність циліндричного конденсатора

$$C = \frac{2\pi\epsilon\epsilon_0 l}{\ln \frac{R_2}{R_1}};$$

- закони послідовного з'єднання конденсаторів

$$q = q_1 = q_2 = \dots = q_N ;$$

$$U = \sum_{i=1}^N U_i ;$$

$$\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{C_i} ;$$

- закони паралельного з'єднання конденсаторів

$$q = \sum_{i=1}^N q_i ;$$

$$U = U_1 = U_2 = \dots = U_N ;$$

$$C = \sum_{i=1}^N C_i ;$$

- потенціальна енергія взаємодії двох точкових зарядів

$$W_p = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r};$$

- потенціальна енергія взаємодії системи точкових зарядів



$$W_p = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N q_i \varphi_i;$$

- енергія зарядженого конденсатора

$$W = \frac{q^2}{2C} ;$$

$$W = \frac{CU^2}{2} ;$$

$$W = \frac{qU}{2} ;$$

- об'ємна густина енергії електричного поля

$$w = \frac{W}{V} ;$$

$$w = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 E^2}{2}.$$

### Приклади розв'язування задач

**Задача 1.** На тонкій непровідній нитці висить кулька масою 1 г. Знизу на відстані 1 см розміщують кульку з таким самим за величиною та протилежним за знаком зарядом, внаслідок чого сила натягу нитки збільшилася вдвічі. Визначити величину заряду кожної кульки.

Дано:

$$m = 1\text{г} = 10^{-3}\text{кг}$$

$$r = 1\text{см} = 10^{-2}\text{м}$$

$$q_2 = -q_1$$

$$|q_2| = |q_1| = q$$

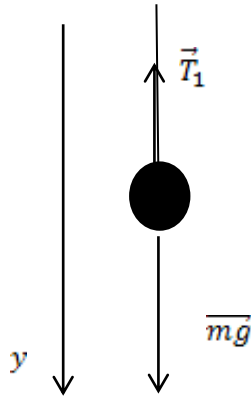
$$T_2 = 2T_1$$

---


$$q_1, q_2 - ?$$

Розв'язання

Коли заряд 1 знаходиться в рівновазі, підвішеним на нитці:



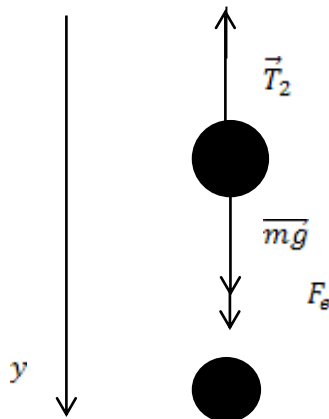
$$\vec{T}_1 + \vec{mg} = 0;$$

$$Oy: -T_1 + mg = 0.$$

Звідси початкова сила натягу нитки

$$T_1 = mg.$$

Коли знизу підносять іншу кульку,



$$\vec{T}_2 + \vec{mg} + \vec{F}_e = 0;$$

$$Oy: -T_2 + mg + F_e = 0;$$

За умовою,  $T_2 = 2T_1 = 2mg$ .

За законом Кулона,

$$F_e = \frac{q_1 q_2}{4\pi \epsilon_0 r^2} = \frac{q^2}{4\pi \epsilon_0 r^2},$$

отже

$$-2mg + mg + \frac{q^2}{4\pi \epsilon_0 r^2} = 0.$$

Звідси заряд кульок

$$q = r \sqrt{4\pi \epsilon_0 mg};$$

$$q = 10^{-2} \sqrt{4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 10^{-3} \cdot 9,8} = 10^{-8} \text{ (Кл)}.$$

Відповідь:  $10^{-8}$  Кл.

**Задача 2.** Два однакових заряди  $q$  заходяться в вершинах гострих кутів прямокутного рівнобедреного трикутника з катетом  $a$ . З якою силою вони діють на заряд  $q_0$ , розміщений у вершині прямого кута.

Дано:  
 $q_1 = q_2 = q$   
 $a$   
 $q_0$

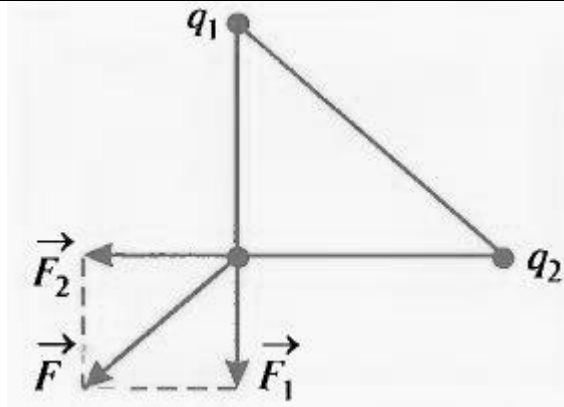
Розв'язання  
Сила, яка діє на заряд  $q_0$

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

де  $\vec{F}_1$  та  $\vec{F}_2$  – сили, які діють на  $q_0$  з боку першого та другого заряду.

Покажемо на малюнку напрямки цих сил:

$F - ?$



$$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2};$$

$$F_1 = \frac{q_1 q_0}{4\pi\epsilon_0 r_1^2} = \frac{q q_0}{4\pi\epsilon_0 a^2};$$

$$F_2 = \frac{q_2 q_0}{4\pi\epsilon_0 r_2^2} = \frac{q q_0}{4\pi\epsilon_0 a^2};$$

$$F = \sqrt{\left(\frac{q q_0}{4\pi\epsilon_0 a^2}\right)^2 + \left(\frac{q q_0}{4\pi\epsilon_0 a^2}\right)^2} = \frac{q q_0}{4\pi\epsilon_0 a^2} \sqrt{2}.$$

Відповідь:  $\frac{q q_0}{4\pi\epsilon_0 a^2} \sqrt{2}$ .

**Задача 3.** Поле утворюється двома позитивними зарядами  $q$  та  $3q$ , які розміщені на відстані  $a$  один від одного. Визначити положення точки, в якій напруженість електричного поля дорівнює нулю.

Дано:

$$q_1 = q$$

$$q_2 = 3q$$

$a$

$$E = 0$$

$r_1 - ?$

Розв'язання

Результуюча напруженість електричного поля в даній точці

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

Визначимо напрямки векторів напруженості.



У скалярному вигляді

$$E = E_2 - E_1.$$

Напруженості полів, створених у даній точці кожним зарядом окремо,

$$E_1 = \frac{q_1}{4\pi\varepsilon_0 r_1^2} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r_1^2};$$

$$E_2 = \frac{q_2}{4\pi\varepsilon_0 r_2^2} = \frac{q_2}{4\pi\varepsilon_0 (a-r_1)^2} = \frac{3q}{4\pi\varepsilon_0 (a-r_1)^2};$$

$$E = \frac{3q}{4\pi\varepsilon_0 (a-r_1)^2} - \frac{q}{4\pi\varepsilon_0 r_1^2} = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0} \left( \frac{3}{(a-r_1)^2} - \frac{1}{r_1^2} \right);$$

За умовою  $E = 0$ , отже

$$\frac{q}{4\pi\varepsilon_0} \left( \frac{3}{(a-r_1)^2} - \frac{1}{r_1^2} \right) = 0;$$

$$\frac{3}{(a-r_1)^2} - \frac{1}{r_1^2} = 0;$$

$$\frac{3r_1^2 - (a-r_1)^2}{r_1^2 (a-r_1)^2} = 0;$$

$$3r_1^2 - (a-r_1)^2 = 0;$$

$$3r_1^2 - a^2 + 2ar_1 - r_1^2 = 0;$$

$$2r_1^2 - a^2 + 2ar_1 = 0;$$

$$D = 4a^2 - 4a^2 = 0;$$

$$r_1 = \frac{-2a}{4} = -\frac{a}{2}$$

Отже, шукана точка знаходиться на відстані  $\frac{a}{2}$  ліворуч від першого заряду.

Відповідь:  $-\frac{a}{2}$ .

**Задача 4.** Куля радіусом 2 см заряджена від'ємно до потенціалу 2 кВ. Знайти масу всіх електронів, що утворюють заряд, наданий кулі.

Дано:

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

$$\varphi = 2 \text{ кВ} = 2 \cdot 10^3 \text{ В}$$

Розв'язання

Електроємність зарядженої кулі

$$C = \frac{q}{\varphi}$$

$m - ?$

З іншого боку,

$$C = 4\pi\epsilon_0 R$$

Звідси потенціал

$$\varphi = \frac{q}{C} = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 R}$$

Заряд кулі

$$q = Ne$$

Отже,

$$\varphi = \frac{Ne}{4\pi\epsilon_0 R}$$

Тоді кількість електронів

$$N = \frac{4\pi\epsilon_0 R\varphi}{e}$$

Маса всіх електронів

$$m = Nm_e = \frac{4\pi\epsilon_0 R\varphi}{e} m_e$$

$$m = \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 2 \cdot 10^{-2} \cdot 2 \cdot 10^3}{1,6 \cdot 10^{-19}} \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} = 2,53 \cdot 10^{-23} \text{ (кг)}$$

Відповідь:  $2,53 \cdot 10^{-23}$  кг.

**Задача 5.** На відстані 5 см від нескінченної довгої зарядженої нитки знаходиться порошинка масою  $10^{-9}$  кг з зарядом  $10^{-10}$  Кл. Електричне поле переміщує її ближче до нитки на 2 см, при цьому здійснюється робота 2 мкДж. Початкова швидкість заряду дорівнює нулю. Визначити густину заряду на нитці та швидкість заряду в кінцевій точці.

Дано:

$$r_1 = 5 \text{ см} = 5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$r_2 = 3 \text{ см} = 3 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$m = 10^{-9} \text{ кг}$$

$$q = 10^{-10} \text{ Кл}$$

$$A = 2 \text{ мкДж} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ Дж}$$

Розв'язання

Робота сил електричного поля з переміщення заряду

$$A' = \int_{r_1}^{r_2} qE dr$$

$\tau$ —?

$v$ —?

Напруженість поля зарядженої нитки

$$E = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0 r}$$

тоді

$$A' = \int_{r_1}^{r_2} q \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0 r} dr = \frac{q\tau}{2\pi\epsilon_0} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} = \frac{q\tau}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{r_2}{r_1}$$

Робота зовнішніх сил

$$A = -A' = -\frac{q\tau}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{r_2}{r_1}.$$

Звідси лінійна густина заряду на нитці

$$\tau = -\frac{2\pi\epsilon_0 A}{q \cdot \ln \frac{r_2}{r_1}},$$

$$\tau = -\frac{2 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 2 \cdot 10^{-6}}{10^{-10} \cdot \ln \frac{3 \cdot 10^{-2}}{5 \cdot 10^{-2}}} = 2,18 \cdot 10^{-8} \left( \frac{\text{Кл}}{\text{м}} \right).$$

За законом збереження енергії,

$$A = W_{k2} - W_{k1} = \frac{mv^2}{2}.$$

Тоді кінцева швидкість частинки

$$v = \sqrt{\frac{2A}{m}};$$

$$v = \sqrt{\frac{2 \cdot 2 \cdot 10^{-6}}{10^{-9}}} = 63,2 \left( \frac{\text{м}}{\text{с}} \right).$$

Відповідь:  $63,2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .

**Задача 6.** Знайти енергію сферичного конденсатора, що складається з двох сфер радіусами 10 см та 10,5 см. Простір між обкладками заповнено діелектриком з діелектричною проникністю 7. Конденсатор під'єднано до джерела з напругою 200 В.



<p>Дано:</p> $R_1 = 10\text{см} = 0,1\text{м}$ $R_2 = 10,5\text{см} = 0,105\text{м}$ $\varepsilon = 7$ $U = 200\text{В}$ <hr/> <p><math>W = ?</math></p>	<p>Розв'язання</p> <p>Енергія зарядженого конденсатора</p> $W = \frac{CU^2}{2}.$ <p>Ємність сферичного конденсатора</p> $C = 4\pi\varepsilon\varepsilon_0 \frac{R_1 R_2}{R_2 - R_1}.$ <p>Отже енергія конденсатора</p> $W = \frac{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 R_1 R_2 U^2}{2(R_2 - R_1)},$ $W = \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 7 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 0,1 \cdot 0,105 \cdot 200^2}{2(0,105 - 0,1)} =$ $= 3,27 \cdot 10^{-5} (\text{Дж})$
---	--

Відповідь:  $3,27 \cdot 10^{-5}$  Дж.

### Задачі для самостійного розв'язування

1 З якою силою притягується електрон до ядра атома водню, якщо діаметр атома водню прийняти рівним  $2 \cdot 10^{-8}$  см? Заряд ядра дорівнює  $1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл.

2 Дві однакові провідні кульки підвішені на нитках однакової довжини в одній точці. Після того як кулькам надали заряд 0,4 мкКл, нитки розійшлися на кут  $50^\circ$ . Яка сила тяжіння діє на кожну з кульок? Діелектрична проникність середовища, в якій знаходяться кульки, дорівнює 2.

3 Дві однакові кульки діаметром 1 см та масою 10 г підвішені в одній точці на шовкових нитках довжиною 19 см. Після того як кулькам надали однакові за величиною та знаком

заряди, нитки розійшлися на кут  $60^\circ$ . Визначити величину заряду кульок.

4 У скільки разів відрізняються сили гравітаційного притягання та кулонівського відштовхування двох протонів?

5 У вершинах квадрата зі стороною  $a$  знаходяться однакові однойменні заряди, що дорівнюють  $q$ . Який заряд слід помістити в центр квадрата, щоб результуюча сила, яка діє на кожен заряд, дорівнювала нулю?

6 Два однакових заряди по  $1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл кожен розташовані на відстані  $2 \cdot 10^{-4}$  мкм. Вздовж перпендикуляра, який проходить через середину відрізка, що з'єднує заряди, рухається електрон. Визначити, у якій точці сила взаємодії електрона з нерухомими зарядами максимальна.

7 На нитках, що утворюють кут  $60^\circ$ , підвішена заряджена кулька масою 1 г. Знизу до неї підносять кульку з таким самим зарядом, внаслідок чого сила натягу нитки збільшується вдвічі. Відстань між кульками 1 см. Визначити величину заряду кульок і силу натягу ниток в обох випадках.

8 З якою силою взаємодіють довга нитка з лінійною густиною заряду  $10^{-8} \frac{\text{Кл}}{\text{м}}$  і точковий заряд 20 нКл, що знаходиться на відстані 3 см від нитки близько до її середини?

9 Як зміниться сила взаємодії двох точкових зарядів при перенесенні їх з масла ( $\epsilon_1 = 5$ ) у воду ( $\epsilon_2 = 81$ ), і одночасному зменшенню відстані між ними у 2 рази?

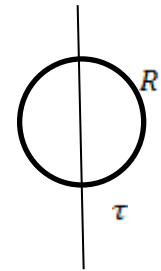
10 З якою силою взаємодіють довга нитка з лінійною густиною заряду  $0,2 \frac{\text{мкКл}}{\text{м}}$  і точковий заряд 20 нКл, який знаходиться на відстані 1 мм від цієї нитки?

11 Дві тонкі нитки мають однакову густину заряду  $10^{-7} \frac{\text{Кл}}{\text{м}}$  та довжину 1 м. Відстань між нитками 10 см. Яка сила взаємодії між нитками?

12 Тонкий стрижень має лінійну густину заряду  $10 \frac{\text{мкКл}}{\text{м}}$ . Яка сила діє на заряд 10 нКл, який знаходиться на відстані 20 см поблизу його середини?

13 На якій відстані від точкового заряду  $10 \text{ нКл}$  напруженість електричного поля виявиться менше  $10 \frac{\text{нВ}}{\text{м}}$ ?

14 Поле утворюється зарядом, рівномірно розподіленим на нескінченній нитці з лінійною густиною  $\tau$ . Розрахувати потік вектора напруженості через сферичну поверхню радіуса  $R$ .



15 Поле утворюється нескінченною зарядженою площиною з поверхневою густиною заряду  $\sigma$ . Визначити відношення напруженості в точках, віддалених від площини на відстані  $r_1$  та  $r_2$ .

16 Електричне поле створюється зарядом  $q$ , розміщеним у центрі куба з ребром  $a$ . Визначити потік вектора напруженості крізь одну з граней куба.

17 Розрахувати енергію електричного поля в об'ємі  $10 \text{ м}^3$ , якщо поле створюється нескінченною зарядженою площиною з поверхневою густиною заряду  $1 \frac{\text{нКл}}{\text{м}^2}$ .

18 Плоский повітряний конденсатор, що має площу обкладок  $200 \text{ см}^2$  і відстань між ними  $0,3 \text{ см}$ , заряджений до різниці потенціалів  $600 \text{ В}$ . Яку роботу слід здійснити, щоб збільшити відстань між пластинами до  $0,5 \text{ см}$ , не від'єднуючи конденсатор від джерела?

19 Плоский повітряний конденсатор має площу обкладок  $400 \text{ см}^2$ . Яку роботу проти сил електричного поля слід здійснити, щоб збільшити відстань між пластинами від  $3 \text{ см}$  до  $7 \text{ см}$ , якщо при цьому підтримувати незмінним заряд конденсатора в  $0,1 \text{ мкКл}$ ?

20 Простір між обкладками плоского конденсатора заповнено двома шарами різних діелектриків товщинами  $d_1 = 2 \text{ мм}$  та  $d_2 = 3 \text{ мм}$ . Діелектричні проникності речовин дорівнюють  $\epsilon_1 = 2$  та  $\epsilon_2 = 6$  відповідно. Площа обкладок  $20 \text{ см}^2$ . Визначити ємність конденсатора.

21 Куля, занурена в гас ( $\epsilon = 2$ ), має потенціал 4,5 кВ та поверхневу густину заряду  $11,3 \frac{\text{мкКл}}{\text{м}^2}$ . Знайти радіус, заряд, ємність та енергію кулі.

22 Площа пластин плоского повітряного конденсатора  $0,01\text{м}^2$ , відстань між ними 5 мм. Яка різниця потенціалів була прикладена до пластин конденсатора, якщо відомо, що під час розрядки конденсатора виділилася кількість теплоти 4,19 мДж?

23 Різниця потенціалів між пластинами плоского конденсатора 280 В. Площа пластин конденсатора  $0,01\text{м}^2$ , поверхнева густина заряду на пластинах  $\sigma = 495 \frac{\text{нКл}}{\text{м}^2}$ . Знайти напруженість поля всередині конденсатора, ємність конденсатора, енергію конденсатора, сили притягання пластин.

24 Яка напруга потрібна для збільшення швидкості зарядженої частинки ( $q, m$ ) з  $v_0$  до  $3v_0$ ?

25 Знайти енергію провідної кулі радіуса  $R$ , яка заряджена до потенціалу  $\varphi$ .

26 Якої кінетичної енергії набуде заряджена частинка з зарядом  $q$ , що рухається зі стану спокою в точці, віддаленій на відстань  $r$  від точкового заряду  $q_0$ , на дуже великій відстані від цього заряду?

27 Потенціал точки, що знаходиться на відстані  $l$  від поверхні зарядженої сфери радіуса  $R$ , дорівнює  $\varphi_1$ . Знайти потенціал  $\varphi_0$  в центрі сфери.

28 Знайти прискорення електрона, що рухається між обкладками плоского конденсатора, відстань між якими дорівнює  $d$ , а напруга дорівнює  $U$ .

29 Потенціал поля точкового заряду в точці 1 на відстані  $r_1$  дорівнює  $\varphi_1$ . Розрахувати потенціал поля в точці 2, яка знаходиться на відстані  $r_2$ .

30 Напруженість поля точкового заряду в точці 1 на відстані  $r_1$  дорівнює  $E_1$ . Знайти потенціал поля в цій точці.

31 Дві нескінченні паралельні площини знаходяться на відстані 1 см одна від одної. Площини несуть рівномірно

розподілені по поверхні заряди з густиною  $\sigma_1 = 0,2 \frac{\text{мкКл}}{\text{м}^2}$  та  $\sigma_2 = 0,5 \frac{\text{мкКл}}{\text{м}^2}$ . Знайти різницю потенціалів площин.

32 Електрон рухається від одної з пластин плоского конденсатора до іншої. Різниця потенціалів між пластинами 300 В, відстань між ними 5 мм. Визначити швидкість, з якою електрон досягне другої пластини та час його руху.

33 Поверхню тонкої нагрітої від'ємно зарядженої нитки залишає електрон зі швидкістю 20 м/с. Яку швидкість він матиме на відстані 2 см від неї? Лінійна густина заряду нитки  $\tau = -2 \cdot 10^{-9} \frac{\text{Кл}}{\text{м}}$ .

34 Електрон з початковою швидкістю  $2 \cdot 10^3 \frac{\text{км}}{\text{с}}$  рухається вздовж однорідного поля плоского конденсатора. Яка різниця потенціалів об'єднаних конденсатора, якщо електрон зупиняється, пройшовши шлях 1,5 см? Відстань між обкладками 5 см. Скільки часу буде рухатися електрон до зупинки?

35 Електрон влітає в плоский конденсатор, маючи швидкість  $10^7 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ , спрямовану паралельно пластинам. У момент вильоту з конденсатора напрямок швидкості електрона утворює кут  $35^\circ$  з початковим напрямком швидкості. Визначити різницю потенціалів між пластинами, якщо довжина пластин 10 см, а відстань між ними 2 см.

36 У деяких двох точках поля точкового заряду напруженості відрізняються в 3 рази. У скільки разів відрізняються потенціали цих точок?

37 Під час прискорення в електричному полі кінетична енергія протона зросла на  $10^{-20}$  Дж. Яку прискорюючу різницю потенціалів пройшов електрон?

38 Визначити мінімальну відстань, на яку заряджена частинка  $(q, m)$  може наблизитися до нерухомого заряду  $Q$ , якщо вона в точці з потенціалом  $\varphi_1$  мала швидкість  $v$ .

39 10 однакових маленьких краплинок ртуті, заряджених до потенціалу 2 мВ кожна, зливаються в одну. Визначити потенціал краплі, що утворилася. Всі краплі вважати кулями.

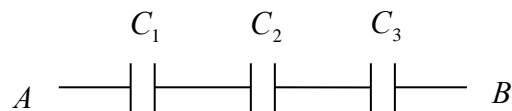
40 Куля, заряджена до потенціалу 792 В, має поверхневу густину заряду  $333 \frac{\text{нКл}}{\text{м}^2}$ . Знайти радіус кулі.

41 Дві маленьких кульки з зарядами 5 нКл та 2 нКл перебувають на відстані 40 см одна від одної. Яку роботу треба виконати, щоб зблизити їх до відстані 20 см?

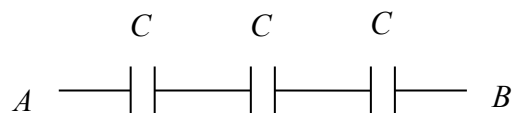
42 Металева куляка радіусом 2 см заряджена до потенціалу 10 В. Знайти роботу, яку необхідно виконати, щоб помістити в точку, яка знаходиться на відстані 3 см від центра кулі, точковий заряд 20 нКл.

43 Розрахувати загальну ємність конденсаторів і напругу між точками А і В, якщо

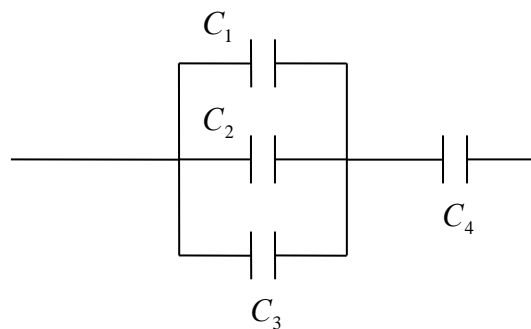
$$C_1 = 1\text{мкФ}, C_2 = 2\text{мкФ}, C_3 = 3\text{мкФ}, U_1 = 300\text{В}.$$



44 Розрахувати загальну ємність батареї конденсаторів, та максимальну допустиму напругу між точками А і В, якщо  $C = 4\text{мкФ} \times 300\text{В}$ .



45 Визначити ємність батареї конденсаторів, якщо  $C_1 = 1\text{мкФ}, C_2 = 2\text{мкФ}, C_3 = 3\text{мкФ}, C_4 = 4\text{мкФ}$ .



## Тема 2. ПОСТІЙНИЙ ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ

Після розгляду даної теми студент повинен **знати поняття і визначення:** електричний струм, умови існування струму, сила струму, густина струму, опір провідника, питомий опір, питома провідність, однорідна ділянка кола, закон Ома для однорідної ділянки кола, закон Ома в диференціальній формі, сторонні сили, ЕРС, неоднорідна ділянка кола, узагальнений закон Ома, закон Ома для неоднорідної ділянки кола, закон Ома для замкненого кола, корисна та повна потужність, ККД джерела струму, закон Джоуля-Ленца, питома теплова потужність, закон Джоуля-Ленца в диференціальній формі.

Студент повинен **вміти** розраховувати силу струму та густину струму; розраховувати опір провідника циліндричної форми; розраховувати розподіл струмів і напруг у розгалуженому колі; знаходити ЕРС джерела струму; визначати струм короткого замикання; знаходити корисну та повну потужності, знаходити ККД джерела струму; визначати кількість теплоти, що виділяється у провіднику зі струмом.

### Основні формули:

- сила струму

$$I = \frac{q}{t};$$

- густина струму

$$j = \frac{I}{S_{\perp}};$$

$$\vec{j} = en\vec{v};$$

- опір провідника циліндричної форми

$$R = \rho \frac{l}{S};$$

- питома провідність

$$\sigma = \frac{1}{\rho};$$

- закон Ома для однорідної ділянки кола

$$R = \rho \frac{l}{S};$$

- закони послідовного з'єднання провідників

$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_N;$$

$$U = \sum_{i=1}^N U_i;$$

$$R = \sum_{i=1}^N R_i ;$$

- закони паралельного з'єднання провідників

$$I = \sum_{k=1}^N I_k ;$$

$$U = U_1 = U_2 = \dots = U_N;$$

$$\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{R_i} ;$$

- закон Ома в диференціальній формі

$$\vec{j} = \sigma \vec{E};$$

- узагальнений закон Ома

$$\vec{j} = \sigma(\vec{E} + \overrightarrow{E_{cm}});$$



- ЕРС джерела струму

$$\varepsilon = \frac{A_{cm}}{q};$$

- закон Ома для неоднорідної ділянки кола

$$IR = \varphi_1 - \varphi_2 + \varepsilon_{12};$$

- закон Ома для замкнутого (повного) кола

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

- корисна робота

$$\begin{aligned} A_k &= I^2 R t; \\ A_k &= U I t; \\ A_k &= \frac{U^2}{R} t ; \end{aligned}$$

- повна робота

$$\begin{aligned} A &= I^2 (R + r) t; \\ A &= \varepsilon I t; \\ A &= \frac{\varepsilon^2}{R + r} t ; \end{aligned}$$

- корисна потужність

$$\begin{aligned} P_k &= I^2 R; \\ P_k &= U I; \\ P_k &= \frac{U^2}{R} ; \end{aligned}$$

- повна потужність

$$P = I^2(R + r);$$

$$P = \varepsilon I;$$

$$P = \frac{\varepsilon^2}{R + r} ;$$

- ККД джерела струму

$$\eta = \frac{A_k}{A} \cdot 100\% = \frac{P_k}{P} \cdot 100\%;$$

$$\eta = \frac{R}{R + r} \cdot 100\% ;$$

- закон Джоуля-Ленца

$$Q = I^2 R t.$$

### Приклади розв'язування задач

**Задача 1.** Батарея з ЕРС 120 В та внутрішнім опором 1 Ом замкнена на зовнішній опір 19 Ом. Знайти повну потужність, корисну потужність та ККД батареї.

Дано:

$$\varepsilon = 120\text{В}$$

$$r = 10\text{Ом}$$

$$R = 190\text{Ом}$$

Розв'язання

За законом Ома для замкненого кола,

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

Корисна потужність

$$P_a - ?$$

$$P - ?$$

$$\eta - ?$$

$$P_a = I^2 R = \left( \frac{\varepsilon}{R+r} \right)^2 R;$$

$$P_a = \left( \frac{120}{19 + 1} \right)^2 \cdot 19 = 684(\text{Вт}).$$

Повна потужність

$$P = \frac{\varepsilon^2}{R+r};$$

$$P = \frac{120^2}{19 + 1} = 720(\text{Вт}).$$

Коефіцієнт корисної дії джерела

$$\eta = \frac{R}{R+r};$$

$$\eta = \frac{19}{19 + 1} = 0,95.$$

Відповідь: 684 Вт, 720 Вт, 0,95.

**Задача 2.** Сила струму в провіднику 0,8 А. Скільки електронів проходить крізь поперечний переріз провідника за 1 мкс?

Дано:

$$I = 0,8\text{А}$$

$$t = 1\text{мкс} = 10^{-6}\text{с}$$

$N$ —?

Розв'язання

За визначенням сили струму,

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

Заряд, який проходить крізь поперечний переріз провідника,

$$q = Ne.$$

тоді

$$I = \frac{Ne}{t}.$$

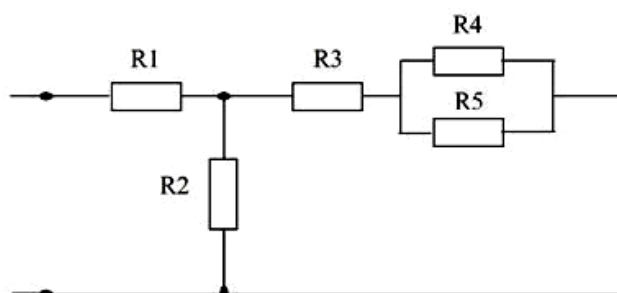
Отже, кількість електронів

$$N = \frac{It}{e}$$

$$N = \frac{0,8 \cdot 10^{-6}}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 5 \cdot 10^{12}$$

Відповідь:  $5 \cdot 10^{12}$ .

**Задача 3.** Знайти розподіл струмів та напруг, якщо  $R_1 = 60\text{Ом}$ ,  $R_2 = 120\text{Ом}$ ,  $R_3 = 60\text{Ом}$ ,  $R_4 = 40\text{Ом}$ ,  $R_5 = 40\text{Ом}$ , а сила струму в третьому резисторі 3 А.



Дано:

$$R_1 = 60\text{Ом}$$

$$R_2 = 120\text{Ом}$$

$$R_3 = 60\text{Ом}$$

$$R_4 = 40\text{Ом}$$

$$R_5 = 40\text{Ом}$$

$$I_3 = 3\text{А}$$

$I_1, I_2, I_4, I_5, I, U_1, U_2, U_3, U_4, U_5, U - ?$

Розв'язання

Напруга на третьому резисторі

$$U_3 = I_3 R_3;$$

$$U_3 = 3 \cdot 6 = 18(\text{В}).$$

Оскільки  $R_4$  та  $R_5$  з'єднані паралельно,  $U_4 = U_5 = U_{45}$ ,

$$U_{45} = I_{45} R_{45};$$

$$I_{45} = I_3 = 3\text{А};$$

$$\frac{1}{R_{45}} = \frac{1}{R_4} + \frac{1}{R_5};$$

$$\frac{1}{R_{45}} = \frac{1}{4} + \frac{1}{4} = \frac{1}{2} \Rightarrow R_{45} = 20\text{м.}$$

$$U_4 = U_5 = U_{45} = 3 \cdot 2 = 6(\text{В}).$$

Струм у резисторі  $R_4$

$$I_4 = \frac{U_4}{R_4};$$

$$I_4 = \frac{6}{4} = 1,5(\text{А}).$$

Струм у резисторі  $R_5$

$$I_5 = \frac{U_5}{R_5};$$

$$I_5 = \frac{6}{4} = 1,5(\text{А}).$$

Напруга на ділянці 3-5

$$U_{3-5} = U_3 + U_{45};$$

$$U_{3-5} = 18 + 6 = 24(\text{В}).$$

Опір  $R_2$  з'єднаний з ділянкою 3-5 паралельно, тому  
 $U_2 = U_{3-5} = 24\text{В}.$

Тоді

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2};$$

$$I_2 = \frac{24}{12} = 2(A).$$

Струм на ділянці 2-5

$$I_{2-5} = I_2 + I_{3-5};$$

$$I_{2-5} = 2 + 3 = 5(A).$$

Струм в першому резисторі

$$I_1 = I_{2-5} = 5A.$$

Напруга на резисторі 1:

$$U_1 = I_1 \cdot R_1;$$

$$U_1 = 5 \cdot 6 = 30(B).$$

Загальна напруга в колі

$$U = U_1 + U_2;$$

$$U = 30 + 24 = 54(B).$$

Загальна сила струму

$$I = I_1 = 5A.$$

Відповідь: 5 А, 2 А, 1,5 А, 1,5 А, 30 В, 24 В, 18 В, 6 В, 6 В, 5 А, 54 В.

**Задача 4.** Два елементи з ЕРС 12 В і внутрішніми опорами 0,5 Ом з'єднані послідовно. Визначити струм короткого замикання.

Дано:	Розв'язання
$\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 12\text{В}$	Сила струму короткого замикання
$r_1 = r_2 = 0,50\text{Ом}$	$I_{\text{кз}} = \frac{\varepsilon}{r}.$
$I_{\text{кз}} - ?$	ЕРС батареї
	$\varepsilon = \varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 12\text{В}.$
	Внутрішній опір батареї однакових паралельно з'єднаних елементів
	$\frac{1}{r} = \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2};$
	$r = \frac{r_1}{2} = \frac{0,5}{2} = 0,25(\text{Ом}).$
	Струм короткого замикання
	$I_{\text{кз}} = \frac{12}{0,25} = 48(\text{А}).$

Відповідь: 48 А.

**Задача 5.** Мідний провід масою 300 г має опір 57 Ом. Знайти довжину та діаметр проводу.

Дано:	Розв'язання
$m = 300\text{г} = 0,3\text{кг}$	Маса проводу
$R = 57\text{Ом}$	
$l, d - ?$	Об'єм проводу
	$m = \rho V.$

$$V = S \cdot l = \frac{\pi d^2}{4} l.$$

Отже

$$m = \rho \frac{\pi d^2}{4} l.$$

Опір провідника

$$R = \rho_0 \frac{l}{S} = \frac{4\rho_0 l}{\pi d^2};$$

$$\frac{m}{R} = \frac{\rho \pi d^2 l \cdot \pi d^2}{4 \cdot 4\rho_0 l} = \frac{\rho \pi^2 d^4}{16\rho_0}.$$

Звідси діаметр проводу

$$d = \sqrt[4]{\frac{16m\rho_0}{\rho\pi^2 R}};$$

$$d = \sqrt[4]{\frac{16 \cdot 0,3 \cdot 1,7 \cdot 10^{-8}}{8900 \cdot 3,14^2 \cdot 57}} = 1,28 \cdot 10^{-3} (\text{м}).$$

Довжина провідника

$$l = \frac{4m}{\rho\pi d^2};$$

$$l = \frac{4 \cdot 0,3}{8900 \cdot 3,14 \cdot (1,28 \cdot 10^{-3})^2} = 0,262 (\text{м}).$$

Відповідь: 0,262 м;  $1,28 \cdot 10^{-3}$  м.



## Задачі для самостійного розв'язування

1 Дві електричні лампочки опорами 100 Ом та 150 Ом ввімкнені в коло паралельно. Яка з лампочок споживає більшу потужність і в скільки разів?

2 Визначити силу струму при короткому замиканні батареї з ЕРС 12 В, якщо при замиканні її на опір 4 Ом сила струму дорівнює 2 А.

3 Визначити опір навантаження, якщо ЕРС джерела 10 В, сила струму в колі 1 А, а струм короткого замикання 10 А.

4 Три провідники опорами  $R_1 = 3 \text{ Ом}$ ,  $R_2 = 60 \text{ Ом}$ ,  $R_3 = 80 \text{ Ом}$  з'єднані паралельно. У першому провіднику виділяється 21 кДж теплоти. Яка кількість теплоти виділиться за той самий час у двох інших провідниках?

5 Скільки елементів з ЕРС  $\varepsilon_0 = 12 \text{ В}$  і внутрішнім опором  $r_0 = 0,2 \text{ Ом}$  кожен слід з'єднати послідовно, щоб сила струму в колі при різниці потенціалів на затискачах батареї 110 В становила 5 А?

6 При підключенні до джерела з внутрішнім опором 2 Ом резистора опором 4 Ом напруга на затискачах джерела падає до 6 В. Якою є повна потужність джерела?

7 Два джерела з однаковою  $\varepsilon_0$  з'єднані паралельно. Розрахувати силу струму короткого замикання, якщо внутрішні опори джерел дорівнюють  $r_1$  та  $r_2$ .

8 Три однакові елементи з внутрішніми опорами 6 Ом кожен замкнули перший раз з'єднавши паралельно, а другий раз послідовно. Сила струму в обох дослідах виявилася однаковою. Визначити опір навантаження.

9 Який опір і як слід приєднати до провідника опором 24 Ом, щоб отримати опір 20 Ом?

10 Якщо джерело замкнути на опір  $R$ , ККД дорівнює 50 %. Як зміниться ККД, якщо опір збільшити в 4 рази?

11 Три однакових гальванічних елементи з'єднані паралельно. Якою буде сила струму короткого замикання цієї батареї, якщо при послідовному з'єднанні цих елементів сила струму короткого замикання дорівнює 10 А? ЕРС кожного елемента 6 В.

12 При протіканні струму через резистор опором 200 Ом через нього за час 4 с пройшов заряд 0,2 Кл. Яка потужність виділяється при цьому в резисторі?

13 До джерела струму з внутрішнім опором 1 Ом приєднано резистор опором 8 Ом. Якщо на резисторі виділяється потужність 2 Вт, яка потужність виділиться на внутрішньому опорі джерела?

14 До якого значення слід підвищити напругу в лінії електропередачі опором 36 Ом, щоб від електростанції потужністю 5 МВт було передано споживачу  $\eta = 0,95$  енергії?

15 Котушка з мідного проводу має опір 10,8 Ом. Маса мідного проводу 3,41 кг. Яка довжина та який діаметр проводу, намотаного на котушку?

16 Скільки витків ніхромового проводу діаметром 1 мм слід навити на картонний циліндр радіусом 2,5 см, щоб отримати піч опором 40 Ом?

17 Знайти падіння потенціалу на мідному проводі довжиною 500 м і діаметром 5 мм, якщо сила струму в ньому 2 А.

18 Елемент з ЕРС 2 В має внутрішній опір 0,5 Ом. Знайти падіння потенціалу всередині елемента при силі струму в колі 0,25 А. Який зовнішній опір за цих умов?

19 Елемент з ЕРС 1,6 В має внутрішній опір 0,5 Ом. Знайти ККД елемента при силі струму в колі 2,4 А.

20 Гальванічний елемент, опір та амперметр з'єднані послідовно. Елемент має ЕРС 2 В і внутрішній опір 0,4 Ом. Амперметр показує струм 1 А. З яким ККД працює елемент?

21 Два послідовно з'єднаних елементи з ЕРС  $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 2\text{В}$  та внутрішніми опорами  $r_1 = 10\text{Ом}$  та  $r_2 = 1,50\text{Ом}$  замкнено на опір 2,5 Ом. Знайти різницю потенціалів на затискачах кожного елемента.

22 Батарея з ЕРС 6 В дає максимальний струм 3 А. Знайти найбільшу кількість теплоти, що може виділитися на зовнішньому опорі за одиницю часу.

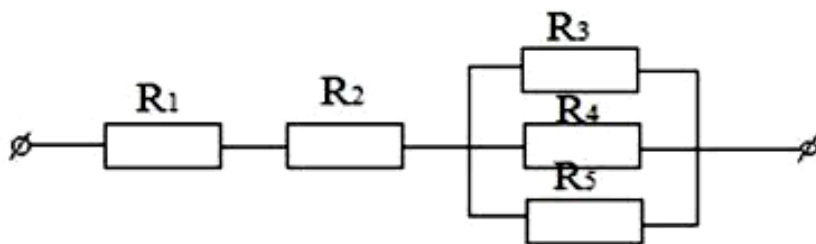
23 Батарея з ЕРС 240 В і внутрішнім опором 1 Ом замкнена на зовнішній опір 23 Ом. Знайти повну потужність, корисну потужність і ККД батареї.

24 Яку потужність споживає нагрівач електричного чайника, якщо 1 л води він нагріває від 12 °С до кипіння за 5 хв? Який опір нагрівача, якщо напруга в мережі 120 В?

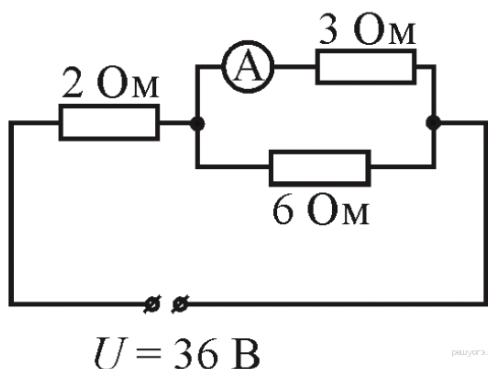
25 Знайти кількість теплоти, що виділяється за одиницю часу в одиниці об'єму мідного провідника при густині струму  $300 \frac{\text{кА}}{\text{м}^2}$ .

26 Знайти розподіл струмів і напруг, вважаючи  $R_1 = 40\text{м}, R_2 = 20\text{м}, R_3 = 10\text{м}, R_4 = 40\text{м}, R_5 = 60\text{м}$ .

Напруга на ділянці кола дорівнює 60 В.

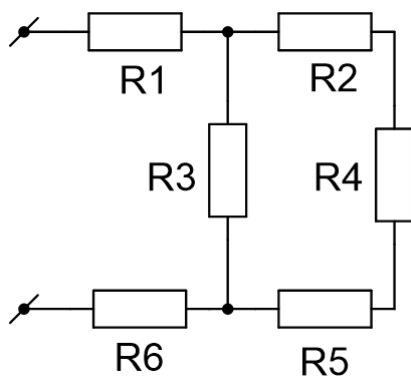


27 Визначити покази амперметра.

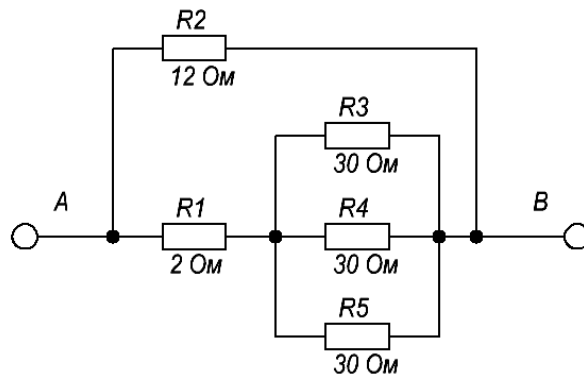


28 Знайти розподіл струмів і напруг, вважаючи  $R_1 = 40\text{м}, R_2 = 20\text{м}, R_3 = 100\text{м}, R_4 = 40\text{м}, R_5 = 60\text{м}, R_6 = 12\text{м}$ .

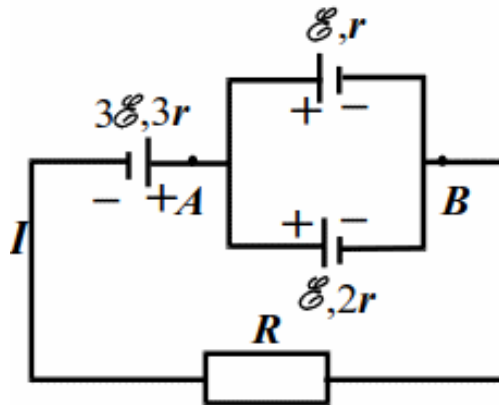
Напруга на ділянці кола дорівнює 120 В.



29 Визначити напругу на ділянці кола, якщо загальний струм на ділянці АВ дорівнює 2 А.



30 Визначити силу струму, який тече крізь опір  $R$ .



### Тема 3. ЕЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

Після розгляду даної теми студент повинен **знати поняття і визначення:** магнітне поле, сила Лоренца, магнітна індукція, напруженість магнітного поля, правило лівої руки, силові лінії магнітного поля, вихрове поле, сила Ампера, позитивна нормаль, магнітний момент контура зі струмом, обертальний момент, що діє на контур зі струмом у магнітному полі, магнітний потік, теорема Гауса для вектора магнітної індукції, теорема про циркуляцію вектора  $\vec{B}$ , закон Біо-Савара-Лапласа, соленоїд, нескінченно довгий соленоїд, гіпотеза Ампера, намагніченість речовини, струми намагнічування, теорема про циркуляцію вектора намагніченості, теорема про циркуляцію вектора

напруженості магнітного поля, магнітна проникність, магнітна сприйнятливість, орбітальний магнітний момент електрона, спіновий магнітний момент електрона, діамагнетика, парамагнетика, феромагнетика, домени, магнітний гістерезис, магнітне насичення, залишкова намагніченість, коерцитивна сила, петля гістерезису, магнітом'які та магнітожорсткі матеріали.

Студент повинен **вміти** розраховувати і визначати напрямок сили Лоренца, що діє на рухомий заряд у магнітному полі; визначати траєкторію руху заряду в магнітному полі; розраховувати і визначати напрямок сили Ампера, що діє на провідник зі струмом у магнітному полі; визначати напрямок вектора магнітної індукції за допомогою рамки зі струмом, магнітної стрілки; розраховувати індукцію та напруженість магнітного поля, створеного струмами різної конфігурації; знаходити результуючий вектор магнітної індукції, користуючись принципом суперпозиції; визначати напрямок силових ліній поля соленоїда, розраховувати індукцію та напруженість магнітного поля соленоїда; розраховувати силу магнітної взаємодії струмів; розраховувати роботу з переміщення контура зі струмом у магнітному полі.

### Основні формули:

- сила Лоренца

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

$$F_L = qvB\sin\alpha;$$

- радіус кола, за яким частинка рухається в магнітному полі,

$$R = \frac{mv}{qB};$$

- період обертання частинки в магнітному полі

$$T = \frac{2\pi m}{B};$$

- сила Ампера

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

$$F_A = IBlsin\alpha;$$

- магнітний момент контура зі струмом

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

- обертальний момент

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

$$M_{вр} = p_m B sin\alpha;$$

- принцип суперпозиції

$$\vec{B} = \sum_{i=1}^N \vec{B}_i;$$

- закон Біо-Савара-Лапласа

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

- поле нескінченного прямолінійного провідника зі струмом

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

$$H = \frac{I}{2\pi r};$$

- поле провідника зі струмом кінцевих розмірів

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

$$H = \frac{I}{4\pi r} (\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2);$$

- поле на осі кругового струму

$$B = \frac{\mu_0 I}{2(R^2 + h^2)^{3/2}};$$

$$H = \frac{I}{2(R^2 + h^2)^{3/2}};$$

- поле в центрі кругового витка

$$B = \frac{\mu_0 I}{2R};$$

$$H = \frac{I}{2R};$$

- магнітний потік

$$\Phi = \int_S \vec{B} d\vec{S};$$

- теорема Гауса для вектора  $\vec{B}$

$$\Phi = \oint_S \vec{B} d\vec{S};$$

- теорема про циркуляцію вектора  $\vec{B}$

$$\oint_L \vec{B} d\vec{l} = \mu_0 \sum_{k=1}^N I_k;$$

- магнітне поле соленоїда кінцевих розмірів

$$B = \frac{\mu_0 n I}{2} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2);$$

$$H = \frac{n I}{2} (\cos \alpha_1 - \cos \alpha_2);$$

- магнітне поле нескінченно довгого соленоїда

$$B = \mu_0 n I;$$

$$H = \mu_0 n I;$$

- сила магнітної взаємодії провідників зі струмом

$$F = \frac{\mu_0 I_1 I_2}{2\pi r} l;$$

- робота з переміщення контура зі струмом у магнітному полі

$$A = \int_{(1)}^{(2)} I d\Phi;$$



- намагніченість речовини

$$\vec{j} = \frac{\sum_{i=1}^N \vec{p}_{mi}}{V};$$

- теорема про циркуляцію вектора нагніченості

$$\oint_L \vec{j} d\vec{l} = I';$$

- зв'язок магнітної індукції та напруженості магнітного поля

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

- теорема про циркуляцію вектора напруженості магнітного поля

$$\oint_L \vec{H} d\vec{l} = I;$$

- зв'язок намагніченості та напруженості магнітного поля

$$\vec{j} = \chi\vec{H};$$

- магнітна проникність речовини

$$\mu = \frac{B}{B_0};$$

- орбітальний магнітний момент електрона

$$p_m = \frac{evr}{2};$$

- спіновий магнітний момент електрона

$$p_{ms} = -\frac{e\hbar}{2m};$$

- гіромагнітне відношення

$$\frac{p_m}{L} = -\frac{e}{2m};$$

- спінове гіромагнітне відношення

$$\frac{p_{ms}}{L_s} = -\frac{e}{m}.$$

### Приклади розв'язування задач

**Задача 1.** Електрон і протон, прискорені однаковою різницею потенціалів, влітають в однорідне магнітне поле. У скільки разів відрізняються радіуси кривини траєкторій частинок?

Дано:	Розв'язання
$U_1 = U_2 = U$	Радіус кола, за яким рухається частинка в магнітному полі,
$\frac{R_p}{R_e} - ?$	$R = \frac{mv}{qB}.$ <p>За законом збереження енергії зарядженої частинки в електростатичному полі,</p> $\frac{mv^2}{2} = qU.$ <p>Звідси швидкість електрона</p>

$$v = \sqrt{\frac{2qU}{m}}$$

Тоді радіус кола

$$R = \frac{m \sqrt{\frac{2qU}{m}}}{qB} = \frac{1}{B} \sqrt{\frac{2mU}{q}}$$

Отже,

$$\frac{R_p}{R_e} = \frac{\frac{1}{B} \sqrt{\frac{2m_p U}{q_p}}}{\frac{1}{B} \sqrt{\frac{2m_e U}{q_e}}} = \sqrt{\frac{m_p q_e}{m_e q_p}}$$

Заряди електрона та протона однакові за величиною, тому

$$\frac{R_p}{R_e} = \sqrt{\frac{m_p}{m_e}}$$

$$\frac{R_p}{R_e} = \sqrt{\frac{1,67 \cdot 10^{-27}}{9,1 \cdot 10^{-31}}} = 42,83.$$

Відповідь: радіус кривини траєкторії протона більше в 42,83 рази.

**Задача 2.** Електрон влітає в однорідне магнітне поле під кутом  $30^\circ$  до його силових ліній і рухається гвинтовою лінією радіусом 10 мм, здійснюючи один оберт за 0,02 мкс. Визначити індукцію магнітного поля та крок гвинтової лінії.

Дано:

$$\alpha = 30^\circ$$

$$R = 10 \text{ мм} = 10^{-2} \text{ м}$$

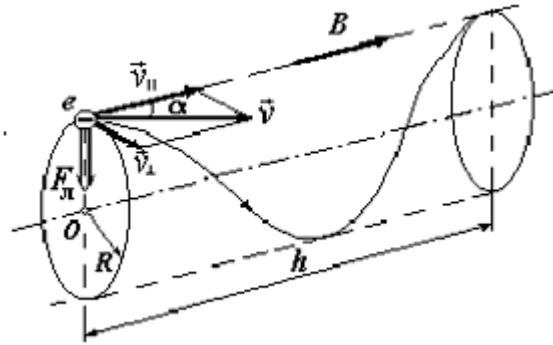
$$T = 0,02 \text{ мкс} = 2 \cdot 10^{-8} \text{ с}$$

Розв'язання

Розкладемо вектор швидкості частинки на дві складові: паралельну силовим лініям і перпендикулярну.

$B$ —?

$h$ —?



Період обертання частинки в магнітному полі

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

Звідси магнітна індукція

$$B = \frac{2\pi m}{qT}$$

$$B = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31}}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 2 \cdot 10^{-8}} = 1,79 \cdot 10^{-3} \text{ (Тл)}.$$

Радіус гвинтової лінії

$$R = \frac{mv_{\perp}}{qB} = \frac{mv \sin \alpha}{qB}$$

Звідси модуль швидкості частинки

$$v = \frac{qBR}{m \sin \alpha}$$

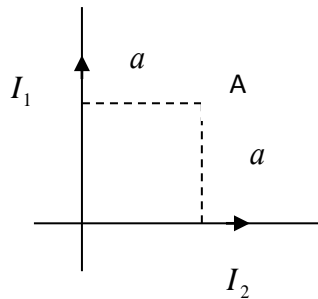
Крок гвинтової лінії

$$h = v_{\parallel} T = v \cos \alpha T = \frac{qBR}{m \sin \alpha} \cos \alpha T = \frac{qBR T}{m} \operatorname{ctg} \alpha;$$

$$h = \frac{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 1,79 \cdot 10^{-3} \cdot 10^{-2} \cdot 2 \cdot 10^{-8}}{9,1 \cdot 10^{-31}} \operatorname{ctg} 30^{\circ} = 0,11(\text{м})$$

Відповідь:  $1,79 \cdot 10^{-3}$  Тл, 0,11 м.

**Задача 3.** Визначити індукцію магнітного поля в точці А, створеного двома перпендикулярними струмами  $I_1$  та  $I_2$ , якщо  $I_1 = I_2 = 10\text{А}$ ,  $a = 1\text{м}$ .



Дано:  
 $I_1 = I_2 = 10\text{А}$   
 $a = 1\text{м}$

Розв'язання

За принципом суперпозиції,

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

$B - ?$

Визначаємо напрямки векторів магнітної індукції полів, створених струмами  $I_1$  та  $I_2$  за правилом правого гвинта:  $\vec{B}_1$  спрямований перпендикулярно до площини рисунка від спостерігача,  $\vec{B}_2$  спрямований перпендикулярно до площини рисунка до спостерігача.

Тоді

$$B = B_2 - B_1;$$

$$B_1 = \frac{\mu_0 I_1}{2\pi r_1} = \frac{\mu_0 I}{2\pi a};$$

$$B_2 = \frac{\mu_0 I_2}{2\pi r_2} = \frac{\mu_0 I}{2\pi a},$$

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi a} - \frac{\mu_0 I}{2\pi a} = 0.$$

Відповідь: 0.

**Задача 4.** Розрахувати індукцію магнітного поля на осі довгого соленоїда, якщо його довжина 1 м, площа поперечного перерізу  $10\text{см}^2$ , магнітний момент  $5\text{А} \cdot \text{м}^2$ .

Дано:

$$l = 1\text{м}$$

$$S = 10\text{см}^2 = 10^{-3}\text{м}^2$$

$$p_m = 5\text{А} \cdot \text{м}^2$$

$B = ?$

Розв'язання

Індукція поля нескінченно довгого соленоїда

$$B = \mu_0 n I.$$

Магнітний момент соленоїда

$$p_m = I S N.$$

Звідси сила струму в соленоїді

$$I = \frac{p_m}{S N}.$$

Густина намотки

$$n = \frac{N}{l}.$$

Отже, індукція поля соленоїда

$$B = \mu_0 \frac{N}{l} \cdot \frac{p_m}{S N} = \frac{\mu_0 p_m}{S l};$$

$$B = \frac{4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 5}{10^{-2} \cdot 1} = 6,28 \cdot 10^{-4} (\text{Тл}).$$

Відповідь:  $6,28 \cdot 10^{-4}$  Тл.

**Задача 5.** В однорідному магнітному полі з індукцією  $79,6 \frac{\text{кА}}{\text{м}}$  вміщена квадратна рамка, площа якої утворює з напрямком магнітного поля кут  $45^\circ$ . Сторона рамки 4 см. Знайти магнітний потік, що пронизує рамку.

Дано:

$$H = 79,6 \frac{\text{кА}}{\text{м}} = 79,6 \cdot 10^3 \frac{\text{А}}{\text{м}}$$

$$\alpha = 45^\circ$$

$$a = 4 \text{ см} = 4 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$\Phi - ?$

Розв'язання

Магнітний потік, що пронизує рамку

$$\Phi = BS \cos \alpha.$$

Індукція магнітного поля

$$B = \mu_0 H.$$

Площа контура

$$S = a^2.$$

Отже

$$\Phi = \mu_0 H a^2 \cos \alpha.$$

$$\Phi = 4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 79,6 \cdot 10^3 \cdot (4 \cdot 10^{-2})^2 \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = 1,13 \cdot 10^{-4} (\text{Вб})$$

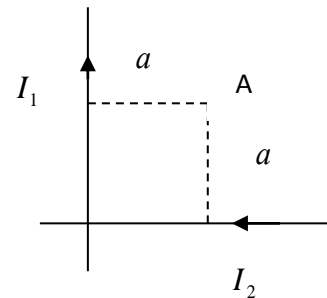
Відповідь:  $1,13 \cdot 10^{-4}$  Вб.

## Задачі для самостійного розв'язування

1 Відстань між двома паралельними струмами однакового напрямку дорівнює 10 см.  $I_1 = 10\text{А}$ ,  $I_2 = 20\text{А}$ . Знайти індукцію магнітного поля в точці, яка знаходиться на відстані 6 см від струму  $I_1$  та 8 см від струму  $I_2$ .

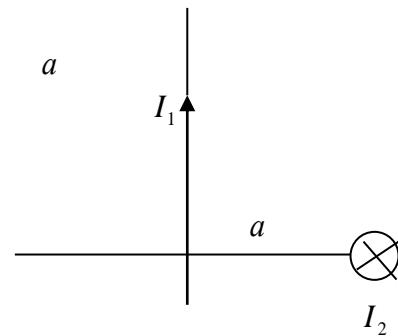
2 Відстань між двома однаковими струмами однакового напрямку дорівнює 10 см.  $I_1 = 10\text{А}$ ,  $I_2 = 30\text{А}$ . На якій відстані від першого струму знаходиться точка, напруженість магнітного поля в якій дорівнює нулю.

3 Магнітне поле в точці А утворюється двома перпендикулярними прямими струмами  $I_1$  та  $I_2$ . Побудувати та розрахувати результуючий вектор магнітної індукції в точці А, якщо  $I_1 = I_2 = 10\text{А}$ ,  $a = 1\text{м}$ .



4 Два колових витки розташовані в двох взаємно перпендикулярних площинах так, що центри цих витків співпадають. Радіус кожного витка 2 см, струми у витках дорівнюють 5 А. Знайти індукцію магнітного поля в центрі цих витків.

5 Магнітне поле в точці А утворюється двома перпендикулярними прямими струмами  $I_1$  та  $I_2$ . Побудувати та розрахувати результуючий вектор магнітної індукції в точці А, якщо  $I_1 = I_2 = 10\text{А}$ ,  $a = 1\text{м}$ .



6 По двох паралельних проводах довжиною 2 м протікають однакові струми 1000 А. Відстань між провідниками 20 см. Розрахувати силу взаємодії струмів. Вказати напрямок цієї сили.

7 Напруженість магнітного поля в центрі колового витка  $H = 200 \frac{\text{А}}{\text{м}}$ . Магнітний момент витка  $p_m = 1\text{А} \cdot \text{м}^2$ . Обчислити силу струму у витку та радіус витка.



8 Два прямолінійних паралельних струми одного напрямку  $I_1 = 20\text{А}$  та  $I_2 = 50\text{А}$  знаходяться на відстані 5 см один від одного. Яку роботу на одиницю довжини провідників слід здійснити, щоб розсунути струми на відстань 20 см?

9 В одній площині з довгим прямолінійним провідником знаходиться квадратна дротова рамка так, що дві її сторони паралельні провіднику. У рамці та провіднику протікають однакові струми силою 1000 А. Визначити силу, що діє на рамку, якщо найближча до провідника сторона рамки знаходиться на відстані, яка дорівнює її довжині.

10 Виток радіусом 20 см, в якому протікає струм 50 А, вільно встановився в однорідному магнітному полі напруженістю  $10^3 \frac{\text{А}}{\text{м}}$ . Виток повернули відносно діаметра на кут  $30^\circ$ . Визначити здійснену при цьому роботу.

11 Прямолінійний провідник, вміщений в однорідне магнітне поле з індукцією 20 Тл перпендикулярно до ліній індукції, висить не падаючи. Визначити силу струму в провіднику, якщо один його метр має вагу 30 Н.

12 Провідник зі струмом вміщений в однорідне магнітне поле з індукцією 20 мТл. Визначити силу, яка діє на провідник, якщо його довжина 0,1 м, сила струму 3 А, а кут між напрямком струму та індукцією  $\alpha = 45^\circ$ .

13 Провідник довжиною 0,5 м та масою 40 г підвішений на тонких дротинках. Під час проходження по ньому струму силою 1 А він відхилився в однорідному вертикальному магнітному полі так, що дротинки утворили кут  $30^\circ$  з вертикаллю. Визначити індукцію магнітного поля.

14 В однорідному магнітному полі з індукцією 0,5 Тл перпендикулярно до силових ліній рухається провідник довжиною 20 см зі швидкістю  $50 \frac{\text{см}}{\text{с}}$ . У провіднику протікає струм 5 А. Знайти потужність, що витрачається на цей рух.

15 Частинка, яка несе один елементарний заряд, влетіла в однорідне магнітне поле з індукцією 500 мТл. Визначити момент імпульсу  $L$ , який мала частинка під час руху в магнітному полі, якщо її траєкторія є колом радіуса 0,1 см.

16 В однорідному магнітному полі, індукція якого 2 Тл та спрямована під кутом  $30^\circ$  до вертикалі, вертикально вгору рухається провідник масою 2 кг, у якому тече струм 4 А. Через 3 с після початку руху провідник має швидкість 10 м/с. Визначити довжину провідника.

17 У провіднику, зігнутому у вигляді квадрата зі стороною 10 см, тече струм 20 А, сила якого підтримується незмінною. Площина квадрата утворює кут  $20^\circ$  з лініями індукції магнітного поля ( $B=0,1$  Тл). Обчислити роботу, яку необхідно здійснити для того, щоб видалити провідник за межі поля.

18 Електрон і протон, прискорені однаковою різницею потенціалів, влітають в однорідне магнітне поле перпендикулярно до ліній магнітної індукції. У скільки разів радіус кривини траєкторії протона більший за радіус кривини траєкторії електрона?

19 Електрон, прискорений різницею потенціалів 100 В, рухається паралельно прямолінійному провіднику на відстані 2 мм від нього. Яка сила подіє на електрон, якщо в провіднику пустити струм 1000 А?

20 Електрон, прискорений різницею потенціалів 100 В, влітає в однорідне магнітне поле з індукцією 100 Тл під кутом  $30^\circ$  до напрямку поля. Розрахувати радіус витка гвинтової лінії.

21 Іон, який несе один елементарний заряд, рухається в однорідному магнітному полі з індукцією 0,015 Тл по колу радіусом 10 см. Визначити імпульс іона.

22 Заряджена частинка рухається в однорідному магнітному полі з індукцією 0,3 Тл зі швидкістю  $10^6 \frac{m}{c}$  по колу радіусом 4 см. Знайти заряд частинки, якщо її енергія дорівнює 12 кеВ.

23 Електрон влітає в однорідне магнітне поле перпендикулярно до силових ліній зі швидкістю  $6000 \frac{km}{c}$ . Індукція магнітного поля дорівнює 1 мкТл. Знайти прискорення, з яким відбувається рух електрона.

24 Електрон в однорідному магнітному полі з індукцією 100 мТл рухається по колу. Знайти величину еквівалентного колового струму, що створюється рухом електрона. Визначити частоту обертання.

25 Електрон, прискорений різницею потенціалів 300 В, рухається паралельно прямолінійному провіднику на відстані 4 мм від нього. Яка сила буде діяти на електрон, якщо в провіднику тече струм 5 А?

26 Розрахувати нормальне та тангенціальне прискорення електрона, який влетів у магнітне поле з індукцією 500 мТл перпендикулярно до ліній магнітної індукції. Електрон був прискорений напругою 10 В.

27 Визначити магнітний потік, який створюється соленоїдом з перерізом  $10\text{см}^2$ , якщо він має 10 витків на кожен сантиметр довжини при силі струму 20 А.

28 Потік магнітної індукції крізь кожен виток соленоїда (без осердя) дорівнює 10000 Вб. Визначити магнітний момент соленоїда, якщо його довжина 20 см.

29 Виток зі струмом 60 А вільно встановився в однорідному магнітному полі ( $B=20$  мТл). Діаметр витка 10 см. Яку роботу слід здійснити, щоб повернути виток відносно осі, яка співпадає з діаметром, на кут  $60^\circ$ .

30 З дроту довжиною 40 см виготовлено коловий контур. Знайти обертальний момент, що діє на контур в однорідному магнітному полі з індукцією 1,2 Тл. Сила струму в колі 2 А. Площина контура утворює кут  $60^\circ$  з напрямком поля.

#### Тема 4. Електромагнітна індукція

Після розгляду даної теми студент повинен **знати поняття і визначення:** електромагнітна індукція, закон Фарадея, правило Ленца, вихрове електричне поле, властивості вихрового електричного поля, ЕРС індукції в рухомих провідниках, потокозчеплення, індуктивність, самоіндукція, ЕРС самоіндукції, енергія магнітного поля.

Студент повинен **вміти** визначати причини появи індукційного струму; розраховувати ЕРС індукції за законом Фарадея; визначати напрямок індукційного струму за правилом Ленца; розраховувати силу індукційного струму, розраховувати заряд, який проходить крізь поперечний переріз провідника під час імпульсу індукційного струму; знаходити роботу сил

вихрового електричного поля; розраховувати ЕРС індукції в рухомих провідниках; розраховувати потокозчеплення, розраховувати індуктивність довгого соленоїда; знаходити ЕРС самоіндукції; знаходити силу струму під час замикання та розмикання кола, знаходити енергію магнітного поля.

### Основні формули

- закон Фарадея для електромагнітної індукції

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt};$$

- закон Ома для індукційного струму

$$I_i = \frac{\varepsilon_i}{R};$$

- заряд, що проходить крізь поперечний переріз провідника під час імпульсу індукційного струму,

$$q = -\frac{\Delta\Phi}{R};$$

- робота сил вихрового електричного поля

$$A = q\varepsilon_i;$$

- ЕРС індукції в рухомих провідниках

$$\varepsilon_i = vBl\sin\alpha;$$

- потокозчеплення

$$\Psi = \sum_{i=1}^N \Phi_i;$$

$$\Psi = LI;$$

- індуктивність нескінченно довгого соленоїда

$$L = \mu\mu_0 n^2 l S = \mu\mu_0 \frac{N^2}{l} S;$$

- ЕРС самоіндукції

$$\varepsilon_{is} = -L \frac{dI}{dt};$$

- сила струму під час замикання кола

$$I = \frac{\varepsilon_0}{R} \left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right);$$

- сила струму під час розмикання кола

$$I = \frac{\varepsilon_0}{R} e^{-\frac{R}{L}t};$$

- енергія магнітного поля

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

### Приклади розв'язування задач

**Задача 1.** Соленоїд з перерізом  $10\text{см}^2$  містить 1000 витків. Індукція магнітного поля всередині соленоїда при силі струму 5 А дорівнює 0,1 Тл. Визначити індуктивність соленоїда.

Дано:	Розв'язання
$S = 10\text{см}^2 = 10^{-3}\text{м}^2$ $N = 1000$ $I = 5\text{А}$ $B = 0,1\text{Тл}$	Індуктивність довгого соленоїда $L = \mu_0 \frac{N^2}{l} S.$
$L - ?$	Індукція поля на осі соленоїда $B = \mu_0 n I = \mu_0 \frac{N}{l} I.$
	Довжина соленоїда $l = \frac{\mu_0 N I}{B}.$
	Тоді $L = \mu_0 \frac{N^2 B}{\mu_0 N I} S = \frac{N B S}{I}.$
	$L = \frac{1000 \cdot 0,1 \cdot 10^{-3}}{5} = 0,02(\text{Гн}).$

Відповідь: 0,02 Гн.

**Задача 2.** З якої кількості витків створена одношарова обмотка котушки, індуктивність якої  $10^3 \text{ Гн}$ . Діаметр котушки 4см, діаметр дротини 0,6мм. Витки щільно прилягають один до одного.

Дано:	Розв'язання
$L = 10^3 \text{ Гн}$ $D = 4\text{см} = 4 \cdot 10^{-2}\text{м}$ $d = 0,6\text{мм} = 6 \cdot 10^{-4}\text{м}$	Індуктивність нескінченно довгого соленоїда $L = \mu_0 \frac{N^2}{l} S.$
$N - ?$	Довжина соленоїда

$$l = Nd.$$

Тоді

$$L = \mu_0 \frac{N}{d} \cdot \frac{\pi D^2}{4}.$$

Звідси кількість витків

$$N = \frac{4dL}{\mu_0 \pi D^2}.$$

$$N = \frac{4 \cdot 6 \cdot 10^{-4} \cdot 10^3}{4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 3,14 \cdot (4 \cdot 10^{-2})^2} = 3,8 \cdot 10^8.$$

Відповідь:  $3,8 \cdot 10^8$ .

### Задачі для самостійного розв'язування

1 Рамка з проводу опором  $0,01 \text{ Ом}$  рівномірно обертається в однорідному магнітному полі, індукція якого  $0,05 \text{ Тл}$ . Вісь обертання лежить у площині рамки та перпендикулярна до ліній індукції. Площа рамки  $100 \text{ см}^2$ . Визначити, яка кількість електрики пройде через рамку за час її повороту від  $0$  до  $30^\circ$  (кут відраховується від напрямку вектора магнітної індукції).

2 В однорідному магнітному полі з індукцією  $1 \text{ Тл}$  розташовано дротяний виток, площа якого  $10 \text{ см}^2$ , а опір  $2 \text{ Ом}$ , таким чином, що його площина перпендикулярна до ліній індукції. Виток замкнено на гальванометр. Під час повороту витка через гальванометр пройшов заряд  $7,5 \cdot 10^{-3} \text{ Кл}$ . На який кут повернули виток?

3 Соленоїд з перерізом  $16 \text{ см}^2$  і довжиною  $1 \text{ м}$  містить  $2000$  витків. Обчислити потокозчеплення при силі струму в обмотці  $10 \text{ А}$ .

4 Магнітним потік крізь поперечний переріз соленоїда дорівнює  $50 \text{ мкВб}$ . Довжина соленоїда  $50 \text{ см}$ . Знайти магнітний

момент соленоїда, якщо витки щільно прилягають один до одного.

5 Яку кількість витків дроту діаметром 0,4 мм з тонкою ізоляцією слід намотати на картонний циліндр діаметром 2 см, щоб отримати одношарову котушку з індуктивністю 1 мГн? Витки щільно прилягають один до одного.

6 На довгий тонкий каркас діаметром 5 см укладена одношарова обмотка виток до витка з дротини діаметром 0,2 мм. Визначити магнітний потік, який створює цей соленоїд при силі струму 2 А.

7 Плоский виток площею  $10\text{см}^2$  вміщений в однорідне магнітне поле перпендикулярно до ліній магнітної індукції. Опір витка 1 Ом. Який струм протікатиме по витку, якщо магнітна індукція поля буде зменшуватися зі швидкістю  $\frac{\Delta B}{\Delta t} = 0,01 \frac{\text{Тл}}{\text{с}}$ .

8 Квадратний контур зі стороною 10 см, у якому протікає струм силою 6 А, знаходиться в магнітному полі з індукцією 0,5 Тл. Яку роботу слід здійснити при незмінній силі струму в контурі, щоб змінити його форму на коло?

9 Котушка довжиною 25 см і діаметром 4 см має 500 витків. В котушці тече струм силою 3 А. Знайти потік магнітної індукції, що пронизує площу його поперечного перерізу.

10 На соленоїд довжиною 25 см і площею поперечного перерізу  $20\text{см}^2$  надіто виток з дроту. Соленоїд має 4000 витків. Сила струму в соленоїді 4 А. Знайти середню ЕРС індукції у витку, яка виникає під час вимкнення струму в соленоїді за 0,01 с.

11 Котушка має опір 5 Ом та індуктивність 0,25 Гн. Через який час після ввімкнення в котушці протікатиме струм, який дорівнює половині усталеного?

12 Коло складається з котушки опором 5 Ом та індуктивністю 0,25 Гн. Джерело струму можна вимкнути, не розриваючи кола. Через який час сила струму зменшиться до 0,01 початкового значення?

13 Потік магнітної індукції в провідному контурі опором 2,5 Ом, що містить 100 витків, змінюється за законом  $\Phi(t) = (2 + 5t) \cdot 10^2 \text{ Вб}$ . Знайти силу струму в колі.



14 З якою кутовою швидкістю слід обертати провідник навколо одного з його кінців в однорідному магнітному полі в площині, перпендикулярній до силових ліній поля, щоб у провіднику виникла ЕРС 0,3 В? Довжина провідника 20 см. Магнітна індукція 0,2 Тл.

15 Котушка діаметром 8 см, яка має 400 витків, знаходиться в магнітному полі. Якою буде середня ЕРС в котушці при збільшенні магнітної індукції від 0,2 Тл до 2 Тл протягом 0,1 с?

16 У замкненому колі опором 20 Ом протікає струм. Протягом 8 с після розмикання кола сила струму зменшилася у 20 разів. Визначити індуктивність кола.

17 В однорідному магнітному полі з індукцією 100 мТл рівномірно з частотою  $10 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$  обертається рамка, яка має 100 витків дроту. Вісь рамки перпендикулярна до напрямку магнітного поля. Площа рамки  $150 \text{ см}^2$ . Знайти миттєве значення ЕРС індукції, яке відповідає куту повороту  $30^\circ$ .

18 Кільце з дроту діаметром 20 см лежить на столі. Який електричний заряд пройде крізь кільце, якщо його перевернути на інший бік? Опір кільця 1 Ом. Вертикальну складову магнітного поля землі вважати рівною 50 мкТл.

19 У котушці, що містить 100 витків, магнітний потік становить 0,001 Вб. Знайти час, протягом якого в котушці зникне магнітний потік при розмиканні кола, якщо в котушці виникне ЕРС самоіндукції 5 В.

20 Скільки витків має котушка, індуктивність якої 200 мГн, якщо при силі струму 2 А потік магнітної індукції дорівнює 4 мкВб.

21 Розрахувати максимальну ЕРС індукції в рамці площею  $5 \text{ см}^2$ , яка має 50 витків і рівномірно обертається в магнітному полі індукцією 0,8 Тл, виконуючи 120 обертів за хвилину.

