

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Київський національний університет будівництва і архітектури

## **ФІЗИКА**

### **ЕЛЕКТРИКА ТА МАГНЕТИЗМ**

Методичні рекомендації  
до розв'язування задач та завдання  
до індивідуальних контрольних робіт  
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
за всіма спеціальностями

Київ 2024

УДК 53(075)

Ф50

Укладачі: В.І. Клапченко, канд. техн. наук, доцент;  
В.І. Тарасевич, канд. техн. наук, доцент;  
О.М. Григорчук, канд. пед. наук, доцент;  
І.О. Кузнецова, асистент

Рецензент В.В. Гайдайчук, д-р техн. наук, професор

Відповідальний за випуск В.А. Глива, д-р техн. наук, професор

*Затверджено на засіданні кафедри фізики, протокол № 4  
від 15 грудня 2023 року.*

В авторській редакції.

**Фізика.** Електрика та магнетизм : методичні рекомендації до  
Ф50 розв’язування задач та завдання до індивідуальних контрольних робіт  
/ уклад.: В.І. Клапченко та ін. – Київ: КНУБА, 2024. – 136 с.

Містять рекомендації для розв’язування задач, короткі  
теоретичні відомості, приклади розв’язування та оформлення задач,  
завдання до індивідуальних контрольних робіт.

Призначено для здобувачів першого (бакалаврського) рівня  
вищої освіти за всіма спеціальностями.

© КНУБА, 2024

## Зміст

---

Загальні положення.....	4
<b>Частина I. Загальні вказівки та методичні рекомендації.....</b>	<b>7</b>
Модуль 3. Електрика та магнетизм (витяг з навчальної програми) .....	8
Електростатика.....	8
Постійний електричний струм.....	8
Магнітостатика.....	9
Електромагнітні явища.....	9
Коротка теоретична довідка.....	10
Електростатика.....	10
Постійний електричний струм.....	12
Магнітостатика.....	13
Електромагнітні явища.....	14
Вказівки до використання літератури.....	15
Методичні рекомендації до розв'язування задач .....	17
Електростатика.....	17
Постійний електричний струм.....	23
Магнітостатика.....	27
Електромагнітні явища.....	31
Вказівки до проведення наближених обчислень .....	35
<b>Частина II. Тематичні підбірки задач</b>	
<b>для самостійної роботи та індивідуальних контрольних робіт .....</b>	<b>37</b>
Електростатика.....	38
Постійний електричний струм.....	62
Магнітостатика.....	84
Електромагнітні явища.....	108
Список літератури.....	131
Додаток.....	132

## Загальні положення

---

Найефективнішим засобом опанування та глибокого закріплення знань з фізики є застосування студентом набутих знань до розв'язування задач. На цьому шляху головну роль відіграють якісно підготовлені методичні матеріали, якими студент може скористатись з максимальною користю. Тому, крім загальних рекомендацій до вивчення теоретичного матеріалу із вказаної дисципліни чи її окремого розділу, необхідно підготувати методичні матеріали, де викладачами проведена робота з підбору груп задач, які відповідають окремій вузькій тематиці дисципліни. Тоді у студента буде сконцентрована увага на правильному застосуванні обмеженого кола необхідних знань для вирішення цілої групи задач. Якраз це і робить самостійну роботу найбільш ефективною.

Власне такими є підготовлені авторами дані методичні рекомендації, в яких загальні вказівки до вивчення дисципліни відповідають вимогам часу. Такими вимогами є орієнтованість на ефективну самостійну роботу, застосовність посібника для дистанційної форми навчання, узгодженість навчальних матеріалів з європейськими та міжнародними стандартами освіти. Зокрема він узгоджений з модульною системою побудови навчальних програм та сучасними методами надання освітніх послуг.

Це стає очевидним зі структури приведених в методичних рекомендаціях матеріалів. Замість застарілих вказівок «звернути увагу на певний розділ, явище чи формулу...» в першій частині даних рекомендацій студент отримує чітко окреслений та оновлений зміст програми *модуля 3* загальної програми з фізики і коротку теоретичну довідку. Вони мають, окрім традиційного поділу на чотири змістовні теми, додатковий поділ на 8 частин, які представлятимуть майбутнє звуження тематичних збірок задач.

Крім того, в першій частині приведені загальні вказівки та методичні рекомендації до розв'язування задач для кожної з восьми тематичних збірок. А в кожній тематичній збірці приведені приклади розв'язання та правильного оформлення типових задач з рекомендаціями по проведенню розрахунків. Окремо для студентів приведені вказівки по джерелам отримання інформації для вивчення дисципліни, які, з урахуванням розвитку

цифрових технологій, знаходяться в миттєвій доступності в будь-який момент часу.

Уся друга частина методичних вказівок також складається з восьми підібраних за вузькими тематиками збірок задач, які дуже ефективно можна використати для засвоєння окремих тем на практичних заняттях, а також для самостійного навчання. Крім того, тематичні підбірки задач зручні для проведення поточного контролю знань. Нарешті, такі підготовлені збірки задач можуть бути використані для формування варіантів індивідуальних контрольних робіт (ІКР). З цією метою укладачі зберегли поділ другої частини вказівок на 8 тематичних підбірок, проте запровадили наскрізну нумерацію задач. При цьому перша цифра номера, відділена крапкою, завжди 3, що вказує на номер змістовного модуля, до якого відноситься та чи інша задача.

Необхідні для розв'язування задач константи та характеристики матеріалів можна отримати з довідкових таблиць, що розміщені в Додатку. Насамкінець, зауважимо, що основою збірки задач були попередні методичні видання членів нашої кафедри, зокрема «Электричество и магнетизм: индивидуальные задания по физике» (1990), авторами-укладачами якого були Кошелева І.Д, Клапченко В.І. та Ткачова Л.І. Для нинішніх методичних вказівок збірку було суттєво оновлено та доповнено, внесено виправлення та уточнення.

Зручність у використанні даних методичних рекомендацій в якості збірника завдань для ІКР полягає в тому, що укладачі зробили всі 8 тематичних збірок задач практично рівновеликими, кожна з них містить приблизно по 100 задач. Тому достатньо студентові призначити лише номер варіанту (наприклад, 32), щоб він безпомилково встановив весь перелік задач свого варіанту: 3.32; 3.132; 3.232; 3.332 ... тощо (нагадаємо, що перша цифра номера (3) вказує на номер змістовного модуля). І це методично виправдано, оскільки при цьому студент гарантовано отримує по одній задачі з кожної групи задач.

Можливий інший спосіб визначення варіантів ІКР: за допомогою формули  $3 \cdot (N_0 + N_{гр} + i \cdot 100)$ . В цій формулі перше число 3 означає номер змістовного модуля, якому присвячена контрольна робота. Постійне для кожної студентської групи число  $N_0$  називають п'єдесталом, воно розділяє

групи між собою. Це число може приймати значення 0; 30; 60; ..., так як повинно бути зручним для розрахунків, але завжди більшим за кількість студентів у групах. Число  $N_{гр}$  – це номер студента у журналі студентської групи. Число 100, наведене в якості прикладу, визначає інтервал між номерами задач в даному варіанті. Викладачем це число може бути обрано дещо іншим, щоб запобігти повному співпадінню варіантів в суміжних потоках. Кількість задач визначає просте число  $i$ : це множник, який діє на інтервал між задачами. Наприклад, якщо  $i = 0; 1; \dots; 7$ , то контрольна робота нараховуватиме 8 задач.

**Частина I**

**ЗАГАЛЬНІ ВКАЗІВКИ  
ТА МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ**

## **Модуль 3. Електрика та магнетизм (витяг з навчальної програми)**

---

### *Електростатика*

**1.** Електризація тіл. Два види електрики. Закон Кулона. Електростатична індукція. Діелектрична проникність середовища. Напруженість електричного поля, принцип суперпозиції. Поле точкового заряду. Силові лінії поля. Однорідне поле. Потік вектора напруженості електростатичного поля. Теорема Гаусса. Застосування теореми Гаусса. Потенціал електростатичного поля. Потенціал точкового заряду. Еквіпотенціальні поверхні. Різниця потенціалів. Робота по перенесенню заряду. Потенціальний характер електростатичного поля. Зв'язок напруженості електростатичного поля з потенціалом.

**2.** Електричний диполь. Диполь в однорідному полі. Диполь в неоднорідному полі. Полярні та неполярні діелектрики. Діелектрики в електричному полі. Характеристики поляризованого стану діелектриків. Вектор електричного зміщення. Особливості сегнетоелектриків. Провідники в електростатичному полі. Електроємність провідника. Ємність конденсатора. З'єднання конденсаторів. Енергія зарядженого конденсатора. Густина енергії електростатичного поля.

### *Постійний електричний струм*

**3.** Сила та густина струму. Постійний електричний струм. ЕРС джерела струму. Закон Ома для однорідної ділянки кола. Опір провідників. З'єднання резисторів. Закон Ома для замкненого кола. Батареї елементів живлення. Розгалужені електричні кола. Правила Кірхгофа. Алгоритм для застосування правил Кірхгофа.

**4.** Робота та потужність електричного струму. Закон Джоуля-Ленца. Струм через електроліти. Закони електролізу. Струм в газах. Типи газових розрядів. Уявлення про плазму. Авто- та термоелектронна емісія. Електровакуумні прилади.

### *Магнітостатика*

5. Магнітне поле та його характеристики. Закон Ампера. Вектор магнітної індукції. Магнітний момент контура зі струмом. Контур зі струмом в однорідному полі. Контур зі струмом в неоднорідному полі. Принцип роботи електродвигунів. Сила Лоренца. Рух заряджених частинок в однорідному полі. Використання магнітних полів.

6. Закон Біо-Савара-Лапласа. Магнітне поле прямолінійного провідника зі струмом. Магнітне поле колового провідника. Взаємодія струмів. Закон повного струму. Застосування закону повного струму. Вихровий характер магнітного поля.

### *Електромагнітні явища*

7. Потік вектора магнітної індукції. Робота по переміщенню контура зі струмом в магнітному полі. Закон Фарадея для явища електромагнітної індукції. Правило Ленца. Генератори електричного струму.

8. Закон Генрі для явища самоіндукції. Індуктивність контура. Процеси в колах з індуктивністю. Взаємоіндукція. Трансформатори. Енергія контура зі струмом. Об'ємна густина енергії магнітного поля. Діа- та парамагнетика. Магнетика в магнітному полі. Характеристики намагніченого стану. Напруженість магнітного поля. Особливості феромагнетиків. Гіпотези Максвелла. Рівняння Максвелла в інтегральній формі. Рівняння Максвелла в диференціальній формі. Диференціальне рівняння електромагнітної хвилі.

## Коротка теоретична довідка

---

### Електростатика

1. Сила електричної взаємодії зарядів визначається *законом Кулона*. Модуль цієї сили  $F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$ , де  $q_1$  та  $q_2$  – точкові заряди,  $r$  – відстань між ними,  $\epsilon$  – діелектрична проникність середовища, у якому знаходяться заряди;  $\epsilon_0$  – електрична стала. Це дає змогу визначити обидві характеристики електростатичного поля – напруженість та потенціал.

*Напруженість електричного поля* визначається силою, що діє з боку поля на одиничний позитивний заряд:  $\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$ . Напруженість електричного поля, що створюється точковим зарядом  $q$ :  $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2}$ . *Потенціал електричного поля*:  $\varphi = \frac{W}{q}$ , де  $W$  – потенціальна енергія точкового позитивного заряду  $q$ , який перебуває у даній точці поля. Потенціал електричного поля, що створюється точковим зарядом  $q$ :  $\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r}$ , де  $r$  – відстань від заряду  $q$  до точки, в якій визначається напруженість і потенціал.

*Принцип суперпозиції*: напруженість електричного поля, яке створюється системою зарядів у даній точці простору, визначається векторною сумою напруженостей електричних полів окремих зарядів у цій точці:  $\vec{E} = \sum \vec{E}_i$ .

Для потенціалів електричного поля притаманна адитивність:  $\varphi = \sum \varphi_i$ , де  $\varphi$  – потенціал поля, що створюється системою зарядів у деякій точці простору,  $\varphi_i$  – потенціал поля у даній точці, що створюється  $i$ -тим зарядом окремо.

*Теорема Гаусса*:  $\oint_S (\vec{E} \cdot \vec{dS}) = \sum \frac{q_i}{\epsilon\epsilon_0}$ , де замкнена поверхня  $S$  охоплює електричні заряди  $q_i$ . За теоремою Гаусса напруженість електричного поля, створеного нескінченною прямою рівномірно зарядженою ниткою або нескінченно довгим циліндром:  $E = \frac{\tau}{2\pi\epsilon\epsilon_0 r}$ , де  $\tau = q/l$  – лінійна густина заряду,  $r$  – відстань від нитки або осі циліндра до точки, у якій визначається напруженість поля. Напруженість електричного поля, яке створюється

нескінченною рівномірно зарядженою площиною:  $E = \frac{\sigma}{2\varepsilon\varepsilon_0}$ , де  $\sigma = q/S$  – поверхнева густина зарядів.

Зв'язок між потенціалом та напруженістю електростатичного поля в загальному випадку визначає градієнт потенціалу  $\vec{E} = -grad\varphi$ , що в декартовій системі координат виглядає так:  $\vec{E} = -\left(\frac{\partial\varphi}{\partial x}\vec{i} + \frac{\partial\varphi}{\partial y}\vec{j} + \frac{\partial\varphi}{\partial z}\vec{k}\right)$ , де  $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$  – орти. Для однорідного поля  $E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d}$ , де  $d$  – відстань вздовж силової лінії поля між точками, потенціали яких дорівнюють  $\varphi_1$  та  $\varphi_2$ .

**2.** Систему двох однакових за величиною та протилежних за знаком точкових зарядів  $q$  (електричний диполь), які знаходяться на відстані  $l$  один від одного, характеризує його *дипольний момент*  $\vec{p} = |q|\vec{l}$ . В електричному полі на диполь діє обертальний момент  $\vec{M} = [\vec{p} \cdot \vec{E}]$ , а диполь набуває додаткової потенціальної енергії  $W = -(\vec{p} \cdot \vec{E})$ .

*Робота сил поля* по переміщенню заряду  $q$  з точки поля з потенціалом  $\varphi_1$  у точку поля з потенціалом  $\varphi_2$ :  $A = (\varphi_1 - \varphi_2)d = Ud$ , де  $U = \varphi_1 - \varphi_2$  – різниця потенціалів.

*Електроємність* відокремленого провідника вводиться як  $C = \frac{q}{\varphi}$ , де  $\varphi$  – потенціал поверхні провідника,  $q$  – наданий йому заряд. Для сферичного провідника радіуса  $R$  електроємність дорівнює  $C = 4\pi\varepsilon\varepsilon_0R$ . Для конденсатора (системи двох провідників, розділених діелектриком) електроємність рівна  $C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{q}{U}$ , де  $U = \varphi_1 - \varphi_2$  – різниця потенціалів між провідниками, а  $q$  – перенесений між провідниками заряд.

Ємність плоского конденсатора  $C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0S}{d}$ , де  $d$  – відстань між пластинами конденсатора,  $S$  – площа кожної з пластин,  $\varepsilon$  – діелектрична проникність речовини, що заповнює простір між обкладинками конденсатора. Ємність батареї конденсаторів при послідовному з'єднанні  $\frac{1}{C} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{C_i}$ , а при паралельному з'єднанні  $C = \sum_{i=1}^N C_i$ , де  $N$  – кількість конденсаторів,  $C_i$  – ємність  $i$ -го конденсатора.

Енергія зарядженого конденсатора  $W = \frac{qU}{2} = \frac{CU^2}{2} = \frac{q^2}{2C}$ , а об'ємна густина енергії електричного поля  $w = \frac{\varepsilon\varepsilon_0E^2}{2}$ .

### *Постійний електричний струм*

**3.** Сила електричного струму провідності вводиться так:  $I = \frac{dq}{dt}$ , де  $dq$  – заряд, що проходить через поверхню провідника за час  $dt$ . За напрям струму прийнято напрям руху позитивних зарядів. Густина струму  $\vec{j} = \frac{I}{S} \vec{n}$ , де  $S$  – площа поперечного перерізу провідника. Її можна виразити через середню швидкість  $\langle \vec{v} \rangle$  упорядкованого руху носіїв струму:  $\vec{j} = qn\langle \vec{v} \rangle$ , де  $q$  – елементарний заряд носія,  $n$  – концентрація носіїв струму.

Закон Ома для однорідної ділянки кола  $I = \frac{U}{R}$ , де  $U$  – різниця потенціалів на кінцях ділянки,  $R$  – електричний опір ділянки; для неоднорідної ділянки кола (з джерелом струму)  $I = \frac{(\varphi_1 - \varphi_2) + \mathcal{E}}{R}$ , де  $\mathcal{E}$  – ЕРС джерела струму,  $R$  – повний електричний опір всієї ділянки. Наприклад, закон Ома для замкненого провідного кола  $I = \frac{\mathcal{E}}{R+r}$ , де  $\mathcal{E}$  – ЕРС джерела струму,  $R$  – зовнішній опір кола,  $r$  – внутрішній опір джерела струму. Диференціальна форма закону Ома  $\vec{j} = \frac{1}{\rho} \vec{E} = \sigma \vec{E}$ , де  $E$  – напруженість електричного поля у даній точці провідника,  $\rho$  – питомий опір,  $\sigma$  – питома провідність.

Електричний опір однорідного провідника  $R = \rho \frac{l}{S}$ , де  $\rho$  – питомий опір матеріалу провідника,  $l$  – довжина провідника,  $S$  – площа поперечного перерізу. Залежність питомого опору металів від температури  $\rho = \rho_0(1 + \alpha t)$ , де  $\rho_0$  – питомий опір при  $t = 0$  °С,  $\alpha$  – температурний коефіцієнт опору.

Опір послідовного з'єднання провідників:  $R = \sum R_i$ ; опір паралельного з'єднання провідників:  $\frac{1}{R} = \sum \frac{1}{R_i}$ , де  $R_i$  – опір  $i$ -го провідника.

*Перше правило Кірхгофа:* алгебраїчна сума сил струмів, що сходяться у вузлі електричного кола дорівнює нулеві  $\sum I_i = 0$ .

*Друге правило Кірхгофа:* у будь-якому замкненому контурі алгебраїчна сума падінь напруг на окремих ділянках контуру дорівнює алгебраїчній сумі діючих у цьому контурі ЕРС  $\sum I_i R_i = \sum \mathcal{E}_j$ , де  $I_i$  – сила струму, що проходить по  $i$ -й ділянці контуру,  $R_i$  – опір цієї ділянки,  $\mathcal{E}_j$  – ЕРС, що діє на  $j$ -ділянці контуру.

4. *Робота електричного струму* по перенесенню вільних електричних зарядів у провіднику визначається так:  $A = IUt = I^2Rt = \frac{U^2}{R}t$ . Тоді потужність струму  $P = IU = I^2R = \frac{U^2}{R}$ . Закон Джоуля-Ленца  $Q = I^2Rt$ , де  $Q$  – кількість теплової енергії, що виділяється ділянкою електричного кола.

При протіканні струму через електроліт на електродах виділяється маса речовини, що визначається законом Фарадея для електролізу  $m = \frac{\mu}{nF}It$ , де  $\mu$  – молярна маса речовини,  $n$  – валентність,  $I$  – сила струму,  $t$  – час протікання струму,  $F$  – стала Фарадея. Густина струму, що протікає через іонізований газ  $j = qn(u_+ + u_-)E$ , де  $q$  – заряд іона,  $n$  – концентрація іонів,  $u_+$ ,  $u_-$  – рухливості іонів відповідного знаку;  $E$  – напруженість електричного поля в газі.

### **Магніостатика**

5. *Закон Ампера* визначає силу, що діє на провідник зі струмом у магнітному полі  $\vec{F}_A = I[\vec{l} \times \vec{B}]$ , або за величиною  $F_A = IBlsin\alpha$ , де  $l$  – довжина провідника,  $\alpha$  – кут між напрямком струму у провіднику та вектором магнітної індукції. Силу, що діє на рухомий заряд в магнітному полі називають *силою Лоренца*  $\vec{F}_L = q[\vec{v} \times \vec{B}]$ , її модуль  $F_L = qvBsin\alpha$ , де  $v$  – швидкість зарядженої частинки,  $\alpha$  – кут між векторами  $\vec{v}$  та  $\vec{B}$ . Сила взаємодії паралельних провідників зі струмом  $F = \mu\mu_0 \frac{I_1I_2}{2\pi d}l$ , де  $d$  – відстань між провідниками.

6. *За законом Біо-Савара-Лапласа* модуль вектора індукції магнітного поля  $d\vec{B}$ , створеного елементом провідника довжиною  $dl$  зі струмом  $I$  можна розрахувати як  $dB = \frac{\mu\mu_0 I sin\alpha}{4\pi r^2} dl$ , де  $\mu$  – магнітна проникність середовища,  $\mu_0$  – магнітна стала,  $r$  – модуль радіус-вектора, спрямованого від елемента провідника до точки, у якій визначається магнітна індукція,  $\alpha$  – кут між радіус-вектором та напрямком струму у елементі провідника. Зв'язок вектора індукції  $\vec{B}$  з напруженістю  $\vec{H}$  магнітного поля  $\vec{B} = \mu\mu_0\vec{H}$ .

Індукція магнітного поля у центрі кругового струму  $B = \mu\mu_0 \frac{I}{2R}$ , де  $R$  – радіус витка. Магнітна індукція, створена відрізком провідника зі струмом,  $B = \frac{\mu\mu_0 I}{4\pi r} (\cos\alpha_1 - \cos\alpha_2)$ , де  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  – кути, під якими спостерігаються кінці відрізка з точки визначення індукції.

За законом повного струму  $\oint_L \vec{H} d\vec{l} = \sum I_i$ , де  $I_i$  – сили струмів у провідниках, охоплених контуром  $L$ . Тоді індукцію поля всередині соленоїда та тороїда визначають так:  $B = \mu\mu_0 nI$ , де  $n$  – кількість витків соленоїда на одиницю довжини.

### Електромагнітні явища

**7.** Явище електромагнітної індукції описується законом Фарадея  $\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt}$ ,  $\Phi$  – магнітний потік, що перетинає контур,  $\Phi = BS\cos\alpha$ , де  $S$  – площа контуру,  $\alpha$  – кут між нормаллю до площини контуру та вектором  $\vec{B}$ . Тоді різниця потенціалів на кінцях провідника, що рухається у магнітному полі,  $U = vBl\sin\alpha$ , де  $v$  – швидкість руху провідника,  $\alpha$  – кут між векторами  $\vec{v}$  та  $\vec{B}$ .

**8.** В замкненому провідному контурі спостерігається явище самоіндукції, яке описує закон Генрі  $\varepsilon_{si} = -L\frac{dI}{dt}$ , де  $L$  – індуктивність контуру. Якщо контур є котушкою з намотаними  $N$  витками, тоді замість магнітного потоку  $\Phi = BS$  його характеризують поняттям потокозчеплення  $\Psi = NBS$ . Крім того, використовують поняття ампер-витків, тобто добутку кількості витків  $N$  на величину струму  $I$ , що протікає в кожному витку. Індуктивність контуру у вигляді довгого соленоїда  $L = n\mu\mu_0 V$ , де  $n$  – кількість витків на одиниці довжини,  $V$  – об'єм соленоїда. В колах з індуктивністю  $L$  та опором  $R$  відбувається поступова зміна струму при замиканні  $I = \frac{\varepsilon}{R} \left(1 - e^{-\frac{R}{L}t}\right)$  та розмиканні  $I = I_0 e^{-\frac{Rt}{L}}$  кіл.

На контур зі струмом в однорідному магнітному полі діє обертальний момент  $\vec{M} = [\vec{p}_m \times \vec{B}]$  (або за величиною  $M = p_m B \sin\alpha$ ), де  $\alpha$  – кут між векторами  $\vec{p}_m$  та  $\vec{B}$ , а  $\vec{p}_m$  є магнітним моментом плоского контуру зі струмом  $\vec{p}_m = IS\vec{n}$ , де  $\vec{n}$  – одиничний вектор нормалі до площини контуру,  $I$  – сила струму,  $S$  – площа контуру.

Робота по переміщенню контуру зі струмом у магнітному полі  $A = I\Delta\Phi$ . Енергія магнітного поля контуру зі струмом  $W = \frac{LI^2}{2}$ , а об'ємна густина енергії магнітного поля  $w_V = \frac{BH}{2}$ , де  $B$  – магнітна індукція,  $H$  – напруженість магнітного поля. Зокрема для соленоїда енергія магнітного поля  $W = \frac{\mu\mu_0 H^2 Sl}{2}$ , де  $S$  – площа поперечного перерізу,  $l$  – довжина соленоїда.

## Вказівки до використання літератури

---

В наш час суцільної цифровізації знаходження інформації для вивчення студентом необхідного обсягу теоретичного матеріалу із запропонованої теми не становить жодних проблем. Тим більше, що тема «Електрика та магнетизм» в інформаційному полі представлена неймовірно великою кількістю різноманітної літератури. Щоб не потонути в такому інформаційному «морі», студентам нашого Університету ми рекомендуємо:

► два підручники-посібники з фізики, в яких розділ «Електрика та магнетизм» представлений в достатньому обсязі:

- *Загальний курс фізики* : навч. посіб. для студ. вищих техн. і пед. закладів освіти: в 3 т. / За ред. І.М. Кучерука. – Т.2. – Київ: Техніка, 1999. – 452 с.;

- *Чолпан П.П. Фізика* : підручник / П.П. Чолпан. – Київ: Вища шк., 2003. – 567 с.;

► посібники та посібники-довідники, підготовлені викладачами кафедри фізики КНУБА:

- *Клапченко В.І. Конспект лекцій з фізики (електрика та магнетизм)* / В.І. Клапченко. – Київ: КНУБА, 1999. – 68 с.;

- *Клапченко В.І. Тлумачник з фізики* : навч. посіб. / В.І. Клапченко. – Київ: КНУБА, 2018. – 168 с.;

- *Фізика в будівництві* : навч. посіб. / В.І. Клапченко та ін. – Київ: КНУБА, 2012. – 252 с.;

- *Фізика. Збірник задач* : навч. посіб. для студ. усіх спеціальностей / В.І. Клапченко та ін.; за заг. ред. В.І. Клапченка. – Київ: КНУБА, 2009. – 252 с.

Всі ці джерела інформації є легкодоступними. Пояснимо, чому ми так вважаємо. Наш Університет для здійснення навчального процесу використовує дві освітні платформи – MOODLE та MICROSOFT TEAMS. Зокрема на платформі MOODLE запроваджено освітній сайт [org2.knuba.edu.ua](http://org2.knuba.edu.ua), на якому представлені розроблені викладачами кафедри фізики КНУБА курси «Фізика» для всіх факультетів та спеціальностей. І кожен студент/ка має право бути зареєстрованим на одному з них.

На цих курсах в електронному вигляді представлені всі названі нами вище підручники та посібники. Тобто у студентів з'являється альтернатива: або скористатись бібліотекою Університету і читати названі джерела в паперовому вигляді, або скачати з сайту і читати їхні електронні копії.

Зазначимо також, що в окремих курсах «Глумачник з фізики...» виконаний в інтерактивному варіанті.

В нашому Університеті лекційні заняття в студентських потоках відбуваються на платформі MICROSOFT TEAMS, куди обов'язково підключені всі студенти. Там також виставлені (у вкладці «Навчальні матеріали») електронні версії всіх названих підручників і посібників, які студенти мають право завантажувати для свого використання. Крім того, вони мають змогу ознайомитись з темою «Електрика та магнетизм» наживо під час лекції. А ще, додатково, завжди здійснюється відео-звіт цих лекцій, що зберігаються в папці Recordings, звідки лекції також можна завантажувати, переглядати, зберігати тощо.

Залишилось лише побажати шановним студентам успіхів у навчанні!

# Методичні рекомендації до розв'язування задач

## Електростатика

### 1. Закон Кулона. Напруженість і потенціал. Теорема Гаусса

Левову частку задач даної теми можна розділити на 2 типи. *Перший тип* пов'язаний із визначенням результуючої напруженості конкретної (часто симетричної) системи зарядів або встановлення умов рівноваги сил, що діють при заданому розподілі зарядів. В будь-якому випадку такі задачі слід супроводжувати рисунком, застосувати (де потрібно) закон Кулона та врахувати принцип суперпозиції. Нагадаємо, що принцип суперпозиції напруженостей є наслідком механічного принципу суперпозиції, тобто векторного додавання сил. Прикладом такої задачі є задача 1.1.

*Другий тип* задач пов'язаний із визначенням потенціалів (або різниці потенціалів) системи певним чином розподілених зарядів. Зокрема, такою системою може бути окрема, симетричної форми, провідна поверхня або система кількох провідних поверхонь. В таких випадках нерідко застосовують теорему Гаусса та часто ставлять питання про величину набутої кінетичної енергії чи величину зміни потенціальної енергії (або визначення роботи по переміщенню заряду). Прикладом може бути задача 1.2.

**Задача 1.1.** У вершинах квадрата перебувають однакові заряди по  $2,33 \cdot 10^{-9}$  Кл. Який негативний заряд треба розташувати у центрі квадрата, щоб сила взаємного відштовхування позитивних зарядів була врівноважена силою притягання негативного заряду?

*Дано:*

$$q_1 = q_2 = q_3 = q_4 = 2,33 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$$

$$q_0 = ?$$

*Розв'язання:*

Перш за все, зліва записуємо всі задані (з їхніми одиницями) та шукані в задачі величини, залишаючи в «Дано» місце для додаткових даних (наприклад, констант).

Після цього виражаємо всі задані величини в СІ.

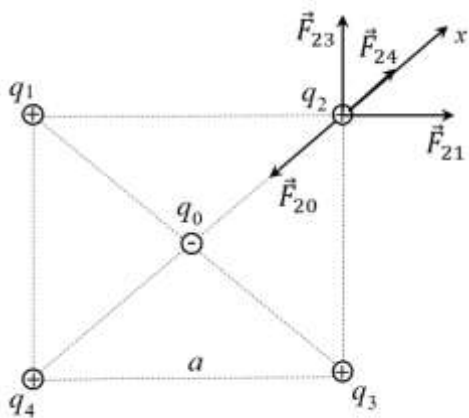


Рис. 1

Тепер креслимо рисунок з позначенням даних задачі. В нашому випадку креслимо квадрат зі стороною  $a$ , в кожній вершині якого поміщаємо позитивні заряди, а в центрі квадрату – шуканий негативний заряд  $q_0$  (рис. 1).

Задачу будемо розв'язувати в загальному вигляді (шукатимемо «робочу формулу»), тобто виражатимемо шукану величину через задані в задачі величини.

Розглянемо сили, що діють на будь-який із зарядів у вершинах, наприклад, на заряд  $q_2$ . З боку зарядів  $q_1, q_3, q_4$  і  $q_0$  на нього діють сили  $F_{21}, F_{23}, F_{24}$  і  $F_{20}$  відповідно. Позначимо через  $q$  однакові заряди:  $q = q_1 = q_2 = q_3 = q_4$ . Тоді

$$F_{21} = F_{23} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{a^2}; \quad F_{24} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{2a^2}; \quad F_{20} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{2q|q_0|}{a^2}.$$

Запишемо умову рівноваги заряду  $q_2$  у векторній формі:

$$\vec{F}_{21} + \vec{F}_{23} + \vec{F}_{24} + \vec{F}_{20} = 0.$$

Запишемо це рівняння у проекції на вибраний напрямок осі  $x$ :

$$F_{21} \cos \frac{\pi}{4} + F_{23} \cos \frac{\pi}{4} + F_{24} - F_{20} = 0,$$

$$2 \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{a^2} \frac{\sqrt{2}}{2} + \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{2a^2} - \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q|q_0|}{a^2} = 0,$$

звідки  $|q_0| = \frac{q}{4} (1 + 2\sqrt{2}) = 0,95q$ . Останній вираз і є робочою формулою, оскільки ми виразили шукану величину  $q_0$  через задану в задачі величину позитивного заряду  $q$ .

Підставивши числові дані, отримуємо:

$$|q_0| = 0,95 \cdot 2,33 \cdot 10^{-9} \text{ Кл} = 2,23 \cdot 10^{-9} \text{ Кл} = 2,23 \text{ нКл}.$$

**Відповідь:** в центрі квадрата необхідно розташувати заряд  $-2,23$  нКл.

**Задача 1.2.** Електричне поле створене довгим циліндром радіусом 1 см, рівномірно зарядженим з лінійною густиною 25 нКл/м. Визначити різницю потенціалів двох точок цього поля, що знаходяться на відстані 0,5 см і 2 см від поверхні циліндра в середній його частині.

*Дано:*

$$R = 1,5 \text{ см} = 1,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$\tau = 25 \text{ нКл/м} = 25 \cdot 10^{-9} \text{ Кл/м}$$

$$a_1 = 1 \text{ см} = 10^{-2} \text{ м}$$

$$a_2 = 2,5 \text{ см} = 2,5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ Ф/м}$$

---


$$\varphi_1 - \varphi_2 = ?$$

*Розв'язання:*

Для визначення різниці потенціалів скористаємось співвідношенням між напруженістю поля і зміною потенціалу:

$$\vec{E} = -\text{grad}\varphi.$$

Для поля з осьовою симетрією, яким є поле циліндра, це можна записати у вигляді:

$$E = -\frac{d\varphi}{dr}, \quad \text{або } d\varphi = -E dr.$$

Інтегруючи останній вираз, знайдемо різницю потенціалів двох точок, віддалених на відстані  $r_1$  і  $r_2$  від осі циліндра:

$$\varphi_2 - \varphi_1 = -\int_{r_1}^{r_2} E dr. \quad (1)$$

Оскільки циліндр довгий і точки взяті поблизу його середньої частини, то напруженість поля може бути знайдена за формулою:  $E = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0 r}$ .

Підставивши цей вираз для напруженості у формулу (1), одержимо:

$$\varphi_2 - \varphi_1 = -\frac{\tau}{2\pi\epsilon_0} \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r} = -\frac{\tau}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{r_2}{r_1}, \quad \text{або } \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{\tau}{2\pi\epsilon_0} \ln \frac{r_2}{r_1}.$$

Перевіряємо одиниці величин, підставивши їх в робочу формулу. Отримана одиниця повинна співпадати з одиницею шуканої в задачі величини. Отже, перевіримо розмірність:  $[\varphi_1 - \varphi_2] = \frac{\text{Кл/м}}{\text{Ф/м}} = \frac{\text{В}\cdot\text{Ф}}{\text{Ф}} = \text{В}$ .

Отже, перевіримо розмірність:  $[\varphi_1 - \varphi_2] = \frac{\text{Кл/м}}{\text{Ф/м}} = \frac{\text{В}\cdot\text{Ф}}{\text{Ф}} = \text{В}$ .

Оскільки величини  $r_1$  і  $r_2$  входять у формулу у вигляді відношення, їх можна виразити у будь-яких однакових одиницях:  $r_1 = R + a_1 = (1,5 + 1) \text{ см} = 2,5 \text{ см}$ ,  $r_2 = R + a_2 = (1,5 + 2,5) \text{ см} = 4 \text{ см}$ .

Підставивши числові дані, отримуємо:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{25 \cdot 10^{-9}}{2\pi \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} \ln \frac{4}{2,5} = 211 \text{ В}.$$

**Відповідь:** різниця потенціалів між заданими точками поля дорівнює 211 В.

## 2. Електроємність. Конденсатори. Енергія електростатичного поля

В цій тематичній збірці задач також можна виділити два основних типи. *Перший тип* задач переважно зорієнтований на визначення ємності конденсаторів, розрахунок різноманітних схем їх з'єднань. Іноді в задачах пропонуються схеми з'єднань, в яких неможливо встановити, паралельним чи послідовним є таке з'єднання. Часто студенти на це не звертають уваги, а тому варто наголосити, що паралельно з'єднаними конденсатори є лише тоді, коли ліва обкладинка одного конденсатора з'єднана провідником з лівою обкладинкою іншого конденсатора, аналогічно права обкладинка одного конденсатора – з правою обкладинкою іншого конденсатора. А послідовними з'єднаннями конденсаторів можна вважати лише ті, при яких між ними відсутнє розгалуження.

Якщо ж цього безпосередньо не видно, то вихід слід шукати в іншому. Тоді важливим є пошук симетрії, що досягається певною перебудовою схеми та визначенням точок з однаковими потенціалами. Приклад такої ситуації приведено в задачі 2.1.

*Другий тип* задач присвячений визначенню енергії конденсатора, змін енергії та необхідної роботи для здійснення цих змін. Зокрема, при заряджанні та перезаряджанні конденсаторів чи збільшенні відстані між обкладинками. Часто в таких задачах застосовують закони збереження. І тут варто зазначити, що при заряджанні чи перезаряджанні конденсаторів половина енергії втрачається на нагрівання провідників. Взагалі дану збірку задач можна ілюструвати цілою низкою прикладів, тим не менше в подальшому з'явиться щось нове, що не стало очевидним при розгляді попередніх прикладів. І тому до подібних задач варто ставитись творчо, як і до всієї фізики. Нижче приведена типова задача 2.2, яка ілюструє сказане нами вище.

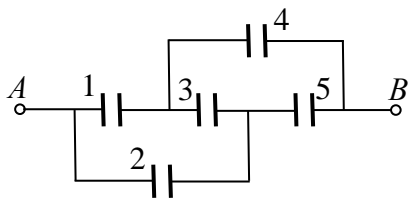


Рис. 2

**Задача 2.1.** П'ять конденсаторів однакової ємності  $10 \text{ мкФ}$  з'єднали між собою у вигляді схеми, показаної на рис. 2. Визначити електроємність цієї системи конденсаторів між точками  $A$  та  $B$ .

Дано:

$$C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = C_5 = 10 \text{ мкФ} = 10^{-5} \text{ Ф}$$

$C_{AB} = ?$

Розв'язання:

Ми обрали найпростішу схему для демонстрації такого типу задач. Головне в них – не помилитись, прийнявши випадково деякі з'єднання сусідніх конденсаторів за послідовні чи паралельні.

Наприклад, часто пару 1 і 2 (чи 3 і 4) вважають паралельним з'єднанням, що зовсім не так. Але симетрія такого з'єднання відчувається. Щоб зробити її очевидною, схему перебудовують, зберігаючи всі місця з'єднання конденсаторів провідниками. Такі схеми називають еквівалентними.

Отримаємо цю схему. В ній симетрія очевидна. Зокрема найкоротші шляхи протікання струму при зарядці цієї батареї від точки  $A$  до точки  $B$  однакові:  $A14B$  та  $A25B$ . Обидва ці шляхи включають проходження через два однакових, послідовно з'єднаних, конденсатори (рис. 3). Вибір будь-яких інших шляхів проходження зарядного струму показує, що завжди сумарний струм через конденсатор 3 дорівнює нулеві. Це означає, конденсатор 3 можна вилучити зі схеми, тому що точки  $a$  та  $b$  завжди матимуть однаковий потенціал. А такі точки можна навіть з'єднувати провідником, це не впливатиме на роботу схеми. Вилучення елемента або з'єднання точок провідником завжди приводять до двох варіантів спрощених еквівалентних схем (рис. 4 та рис. 5).

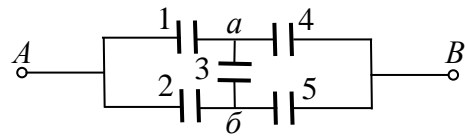


Рис. 3

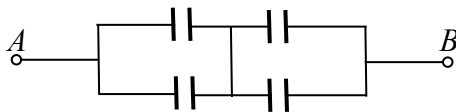


Рис. 4

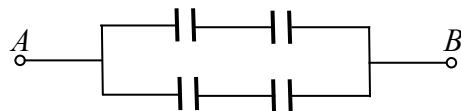


Рис. 5

Доказом справедливості такого розгляду завжди є порівняння результатів розрахунків за цими двома спрощеними еквівалентними схемами. Легко бачити, що обидві схеми дають один і той самий результат:  $C_{AB} = C_1 = 10^{-5} \text{ Ф}$ .

**Відповідь:** електроємність системи конденсаторів між точками  $A$  та  $B$  дорівнює  $10^{-5} \text{ Ф}$ .

**Задача 2.2.** Відстань між пластинами плоского конденсатора 2 мм, різниця потенціалів 400 В. Заряд кожної пластини 30 нКл. Визначити енергію поля конденсатора і силу взаємного притягання пластин.

Дано:

$$d = 2 \text{ мм} = 2 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

$$U = 400 \text{ В}$$

$$q = 30 \text{ нКл} = 30 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

$W - ?$

$F - ?$

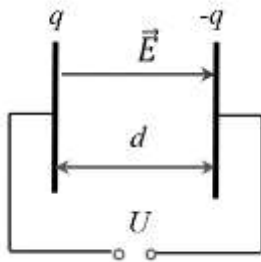


Рис. 6

Розв'язання:

Енергія зарядженого конденсатора описується формулою:

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

Одна з обкладинок конденсатора перебуває в електричному полі іншої (рис. 6), тому сила взаємного притягання  $F = qE_0$ ,

де  $E_0$  – напруженість електричного поля, яке створюється однією з пластин; вона пов'язана з повною напруженістю електричного поля в конденсаторі співвідношенням  $E_0 = E/2$ .

Електричне поле у плоскому конденсаторі визначається формулою

$$E = U/d.$$

$$\text{Таким чином, } F = \frac{qU}{2d}.$$

Перевіримо розмірності:

$$[F] = \frac{\text{Кл} \cdot \text{В}}{\text{м}} = \frac{\text{Кл} \cdot \text{Дж}}{\text{м} \cdot \text{Кл}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{м}} = \text{Н}.$$

Підставивши числові дані, отримуємо:

$$W = \frac{30 \cdot 10^{-9} \cdot 400}{2} = 6 \cdot 10^{-6} \text{ Дж} = 6 \text{ мкДж},$$

$$F = \frac{30 \cdot 10^{-9} \cdot 400}{2 \cdot 2 \cdot 10^{-3}} = 3 \cdot 10^{-3} \text{ Н} = 3 \text{ мН}.$$

**Відповідь:** енергія поля конденсатора дорівнює 6 мкДж, сила взаємного притягання пластин становить 3 мН.

## Постійний електричний струм

### 3. Закони Ома. Опір провідників. Правила Кірхгофа

Для розрахунку електричного кола, тобто знаходження сили струму, падіння напруги на відповідних опорах та знаходження самих опорів, застосовують закони Ома. Наприклад, як в задачі 3.1.

Задача розрахунку складного розгалуженого кола постійного струму значно спрощується при застосуванні правил Кірхгофа. Прикладом може бути задача 3.2.

**Задача 3.1.** Акумулятор з ЕРС 12 В заряджається від мережі постійного струму з напругою 15 В. Визначити напругу на клеммах акумулятора. Розглянути випадки, коли опір з'єднання між акумулятором і мережею дорівнює нулеві і коли цей опір дорівнює внутрішньому опору акумулятора 10 Ом.

Дано:

$$\varepsilon = 12 \text{ В}$$

$$U = 15 \text{ В}$$

$$r = 10 \text{ Ом}$$

---

$$U_a = ?$$

Розв'язання:

Запишемо закон Ома для неоднорідної ділянки кола:

$$I = \frac{U - \varepsilon}{R + r}, \quad (2)$$

де  $I$  – сила струму у колі;  $U$  – напруга на кінцях ділянки кола, що містить ЕРС; значення

ЕРС взято зі знаком "-" тому, що акумулятор увімкнений у режимі зарядки, тобто напрямки струмів, які створюються зовнішнім джерелом та акумулятором, протилежні;  $r$  – внутрішній опір акумулятора;  $R$  – опір зовнішньої ділянки кола (опір з'єднання).

Напругу на клеммах акумулятора  $U_a$  можна знайти як різницю між напругою в мережі та спадом напруги на зовнішній ділянці кола:

$$U_a = U - IR. \quad (3)$$

Підставивши вираз (2) у рівність (3), знаходимо:

$$U_a = U - \frac{U - \varepsilon}{R + r} R = \frac{UR + Ur - UR + \varepsilon R}{R + r} = \frac{Ur + \varepsilon R}{R + r}.$$

У випадку, коли  $R = 0$ ,  $U_a = U = 15 \text{ В}$ ; коли ж  $R = r$ :  $U_a = \frac{U + \varepsilon}{2}$ .

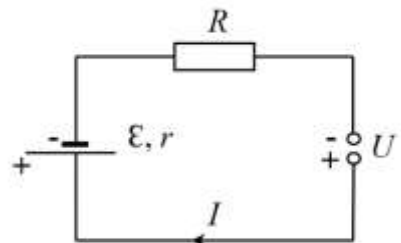


Рис. 7

Підставивши числові дані, отримуємо:  $U_a = \frac{15+12}{2} = 13,5$  В.

**Відповідь:** напруга на клеммах акумулятора, коли опір з'єднання між акумулятором і мережею дорівнює нулеві, дорівнює 15 В; коли ж цей опір дорівнює внутрішньому опору акумулятора, напруга становить 13,5 В.

**Задача 3.2.** Визначити силу струму, що її показує амперметр у схемі на рисунку. Батареї мають ЕРС 110 В і 220 В відповідно. Опори першого й другого резисторів однакові та дорівнюють 100 Ом, а опір третього резистора – 500 Ом.

Дано:

$$\mathcal{E}_1 = 110 \text{ В}$$

$$\mathcal{E}_2 = 220 \text{ В}$$

$$R_1 = R_2 = 100 \text{ Ом}$$

$$R_3 = 500 \text{ Ом}$$

$I = ?$

Розв'язання:

Виберемо й розглянемо два контури  $abcd$  та  $abmn$  (рис. 8), для кожного з них виберемо напрямок обходу. Довільно визначимо напрямки струмів у кожному резисторі. Згідно з першим правилом Кірхгофа для вузла  $m$ :

$$I_3 = I_1 + I_2. \quad (4)$$

Запишемо друге правило Кірхгофа для замкнених контурів  $abcd$  та  $abmn$ :

$$abcd: \quad I_2 R_2 - I_1 R_1 = \mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1, \quad (5)$$

$$abmn: \quad I_1 R_1 + I_3 R_3 = \mathcal{E}_1. \quad (6)$$

Перед доданком  $I_1 R_1$  у рівнянні (5) стоїть знак "-" тому, що обраний напрямок обходу контуру протилежний до напрямку струму  $I_1$ .

Із рівняння (6) визначаємо струм  $I_3$ :

$$I_3 = \frac{\mathcal{E}_1 - I_1 R_1}{R_3},$$

а із рівняння (5) струм  $I_2$ :

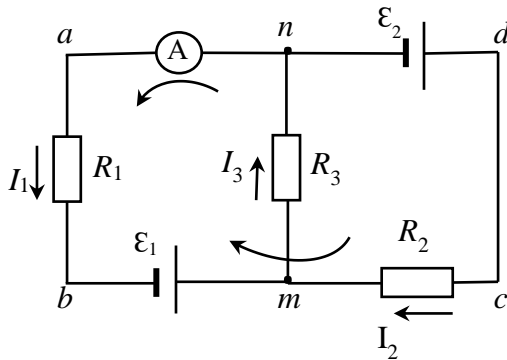


Рис. 8

$$I_2 = \frac{\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1 + I_1 R_1}{R_2}.$$

Амперметр покаже струм, що протікає через резистор  $R_1$ , тобто  $I_1$ , який визначаємо із рівняння (4):

$$I_1 = I_3 - I_2 = \frac{\mathcal{E}_1 - I_1 R_1}{R_3} - \frac{\mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_1 + I_1 R_1}{R_2},$$

або остаточно:

$$I = I_1 = \frac{\mathcal{E}_1 R_2 - \mathcal{E}_2 R_3 + \mathcal{E}_1 R_3}{R_2 R_3 + R_1 R_2 + R_1 R_3}.$$

Підставивши числові дані, отримуємо:

$$I = \frac{110 \cdot 100 - 220 \cdot 500 + 110 \cdot 500}{100 \cdot 500 + 100 \cdot 100 + 100 \cdot 500} = -0,4 \text{ А}.$$

Знак "-" означає, що ми помилились у визначенні напрямку струму  $I_1$ , тобто він тече в протилежному напрямку.

**Відповідь:** амперметр покаже струм силою в 0,4 А.

#### 4. Закон Джоуля-Ленца. Робота та потужність струму

**Задача 4.1.** Акумулятор з електрорушійною силою 12 В та невідомим внутрішнім опором замикають спочатку на зовнішній опір 4 Ом, а потім на зовнішній опір 9 Ом. В обох випадках потужність, яка виділяється на зовнішньому опорі, виявилась однаковою. Чому дорівнюватиме струм короткого замикання такого акумулятора?

*Дано:*

$$\mathcal{E} = 12 \text{ В}$$

$$R_1 = 4 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 9 \text{ Ом}$$

$$N_1 = N_2$$

---


$$I_{\text{кз}} = ?$$

*Розв'язання:*

Показана на рис. 9 схема формально застосована в даній задачі тричі. Перший раз зовнішній опір  $R$  був рівний  $R_1$ , другий –  $R_2$ , а у третьому випадку зовнішній опір був рівний нулеві. Останній випадок і називають коротким замиканням, тобто у випадку короткого замикання  $R_{\text{кз}} = 0$ .

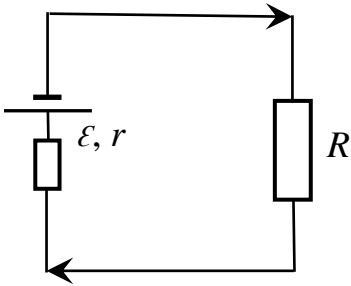


Рис. 9

В кожному з цих випадків застосовний закон Ома для замкненого кола:

$$I = \frac{\varepsilon}{R + r}. \quad (7)$$

У випадку короткого замикання це дасть змогу з формули (7) визначити струм короткого замикання:

$$I_{\text{кз}} = \frac{\varepsilon}{r}. \quad (8)$$

Проте нам невідомий внутрішній опір акумулятора. Але відомо, що потужність  $N = I^2 R$ , яка виділяється на зовнішніх опорах в першому та другому випадках, однакова. Тобто

$$N_1 = \left( \frac{\varepsilon}{R_1 + r} \right)^2 R_1 = \left( \frac{\varepsilon}{R_2 + r} \right)^2 R_2 = N_2. \quad (9)$$

Розв'язавши рівняння (9), отримаємо вираз для розрахунку внутрішнього опору:

$$r = \sqrt{R_1 R_2}.$$

Підставимо останній вираз у формулу (8) і отримаємо вираз для розрахунку сили струму короткого замикання:

$$I_{\text{кз}} = \frac{\varepsilon}{\sqrt{R_1 R_2}}.$$

Підставивши числові дані, отримуємо:

$$I_{\text{кз}} = \frac{12}{\sqrt{4 \cdot 9}} = 2 \text{ А}.$$

**Відповідь:** струм короткого замикання акумулятора дорівнює 2 А.

## Магнітостатика

### 5. Закон Ампера. Сила Лоренца. Дія магнітного поля на контури зі струмом та рухомі заряди

**Задача 5.1.** Прямий провідник, по якому протікає електричний струм, довжиною 40 см та масою 100 г підвішено горизонтально на двох однакових пружинах жорсткістю 50 Н/м. Якщо включити горизонтальне магнітне поле індукцією 300 мТл, то видовження пружин дорівнюватиме 4 см. Яка сила струму протікає по провіднику?

*Дано:*

$$g = 9,8 \text{ м/с}^2 \approx 10 \text{ м/с}^2$$

$$l = 40 \text{ см} = 0,4 \text{ м}$$

$$m = 100 \text{ г} = 0,1 \text{ кг}$$

$$k = 50 \text{ Н/м}$$

$$x = 4 \text{ см} = 0,04 \text{ м}$$

$$B = 300 \text{ мТл} = 0,3 \text{ Тл}$$

$$\alpha = 90^\circ$$

$I = ?$

*Розв'язання:*

На прямий провідник зі струмом, який підвішений на однакових пружинах, у магнітному полі будуть діяти: сила Ампера  $\vec{F}_A$ , сила тяжіння  $m\vec{g}$  та сили пружності  $2\vec{T}$  з боку пружин, як показано на рис. 10.

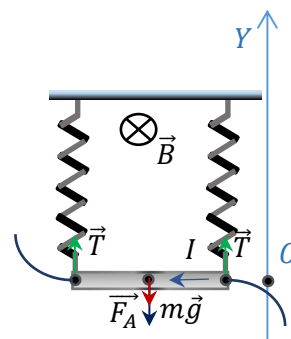


Рис. 10

Запишемо рівняння другого закону Ньютона у векторному вигляді та у проекції на вісь ординат, оскільки вказані сили діють лише вздовж вертикалі:

$$m\vec{g} + \vec{F}_A + 2\vec{T} = 0; \quad \text{OY: } 2T - F_A - mg = 0.$$

Модуль сили пружності  $\vec{T}$  знайдемо із закону Гука:  $T = kx$ .

Модуль сили Ампера  $\vec{F}_A$ :  $F_A = IBl \sin \alpha = IBl$ , оскільки  $\alpha = 90^\circ$ .

Після підстановки маємо:  $2kx = IBl + mg$ . Отже, сила струму, що протікає по провіднику:

$$I = \frac{2kx - mg}{Bl}.$$

Перевіримо розмірність:  $[I] = \frac{\text{Н}}{\text{Тл}\cdot\text{м}} = \frac{\text{Тл}\cdot\text{А}\cdot\text{м}}{\text{Тл}\cdot\text{м}} = \text{А}.$

Підставивши числові дані, отримуємо:  $I = \frac{2\cdot 50\cdot 0,04 - 0,1\cdot 10}{0,3\cdot 0,4} = 25 \text{ А}.$

**Відповідь:** сила струму, що протікає по провіднику, дорівнює 25 А.

**Задача 5.2.** Електрон, прискорений електричним полем з різницею потенціалів 400 В, потрапив у однорідне магнітне поле напруженістю 1 кА/м. Визначити радіус кривини траєкторії електрона у магнітному полі. Вектор швидкості перпендикулярний до ліній поля.

Дано:

$$U = 400 \text{ В}$$

$$H = 1 \text{ кА/м} = 10^3 \text{ А/м}$$

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

$R = ?$

Розв'язання:

Якщо заряджена частинка проходить різницю потенціалів  $U$ , то при цьому сили електричного поля виконують роботу  $A = qU$ , де  $q$  – заряд частинки. Ця робота витрачається на зміну кінетичної енергії частинки, тому

$$A = qU = \frac{mv^2}{2},$$

де  $m$  – маса частинки,  $v$  – її кінцева швидкість (якщо початкова швидкість  $v_0 = 0$ ). Звідси випливає, що швидкість електрона у момент часу, коли він влетів в магнітне поле:

$$v = \sqrt{\frac{2qU}{m}}. \quad (10)$$

Радіус кривини електрона визначається з таких міркувань: на електрон, що рухається у магнітному полі, діє сила Лоренца  $\vec{F}_L = q[\vec{v} \times \vec{B}]$ . Модуль сили Лоренца дорівнює  $F_L = qvB \sin \alpha$ , де  $\alpha$  – кут між векторами  $\vec{v}$  і  $\vec{B}$  (згідно з умовою задачі  $\alpha = 90^\circ$ ,  $\sin \alpha = 1$ ). Сила Лоренца перпендикулярна вектору швидкості і надає електрону нормальне прискорення (рис. 11).

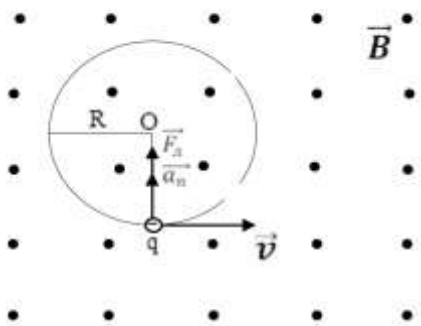


Рис. 11

Відповідно до другого закону Ньютона  $F = ma_n$ , де  $m$  – маса електрона,  $a_n = \frac{v^2}{R}$  – його нормальне прискорення. Отже,  $evB = \frac{mv^2}{R}$ , де  $e$  – заряд електрона,  $R$  – радіус кривини траєкторії,  $v$  – швидкість електрона.

Звідси

$$R = \frac{mv}{eB}. \quad (11)$$

Індукція магнітного поля зв'язана з напруженістю за формулою:

$$B = \mu_0 H. \quad (12)$$

Підставляючи вирази (10) та (12) в формулу (11), матимемо:

$$R = \frac{\sqrt{2meU}}{\mu_0 eH}$$

Перевіримо розмірність:

$$\begin{aligned} [R] &= \frac{\sqrt{\text{кг} \cdot \text{Кл} \cdot \text{В}}}{\text{Гн} \cdot \text{м} \cdot \text{Кл} \cdot \text{А} / \text{м}} = \frac{\text{м}^2}{\text{Гн} \cdot \text{А} \cdot \text{Кл}} \sqrt{\text{кг} \cdot \text{Кл} \cdot \text{В}} = \frac{\text{м}^2}{\text{Гн} \cdot \text{А} \cdot \text{Кл}} \sqrt{\frac{\text{кг} \cdot \text{Кл} \cdot \text{Дж}}{\text{Кл}}} = \frac{\text{А} \cdot \text{м}^2}{\text{Вб} \cdot \text{А} \cdot \text{Кл}} \sqrt{\text{кг} \cdot \text{Дж}} = \\ &= \frac{1}{\text{Тл} \cdot \text{Кл}} \sqrt{\text{кг} \cdot \text{Н} \cdot \text{м}} = \frac{\text{А} \cdot \text{м}}{\text{Н}} \frac{1}{\text{А} \cdot \text{с}} \sqrt{\text{кг} \cdot \text{Н} \cdot \text{м}} = \frac{\text{м}}{\text{с}} \sqrt{\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{Н}^2}} = \frac{\text{м}}{\text{с}} \sqrt{\frac{\text{кг} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2}{\text{кг} \cdot \text{м}}} = \text{м}. \end{aligned}$$

Підставивши числові дані, отримуємо:

$$R = \frac{\sqrt{2 \cdot 9,11 \cdot 10^{-31} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 400}}{4\pi \cdot 10^{-7} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^3} = 5,37 \cdot 10^{-2} \text{ м} = 5,37 \text{ см}.$$

**Відповідь:** радіус кривини траєкторії електрона у магнітному полі становить 5,37 см.

## 6. Закон Біо-Савара-Лапласа. Закон повного струму

Для розрахунку характеристик магнітного поля різних систем струмів (прямого, кругового та інших) застосовують закон Біо-Савара-Лапласа разом з принципом суперпозиції магнітного поля. Прикладом може бути задача 6.1. Магнітні поля соленоїда та тороїда розраховують користуючись законом повного струму.

**Задача 6.1.** Площина кругового витка радіусом 20 см зі струмом силою 2,5 А паралельна прямому нескінченно довгому провіднику зі струмом силою 3 А. Нормаль до площини витка, проведена з центра витка, перпендикулярна осі прямого струму. Відстань від центра витка до прямого провідника 15 см. Знайти індукцію магнітного поля в центрі витка.

*Дано:*

$$I_1 = 3 \text{ А}$$

$$I_2 = 2,5 \text{ А}$$

$$r = 20 \text{ см} = 0,2 \text{ м}$$

$$d = 15 \text{ см} = 0,15 \text{ м}$$

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

$$B = ?$$

*Розв'язання:*

Згідно з принципом суперпозиції магнітних полів, індукція магнітного поля в центрі кругового витка визначається векторною сумою індукцій магнітних полів струмів прямого та кругового провідників в цій точці:

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

де  $\vec{B}_1$  – індукція магнітного поля, що створюється прямим струмом, а  $\vec{B}_2$  – індукція магнітного поля, що створюється круговим струмом в даній точці.

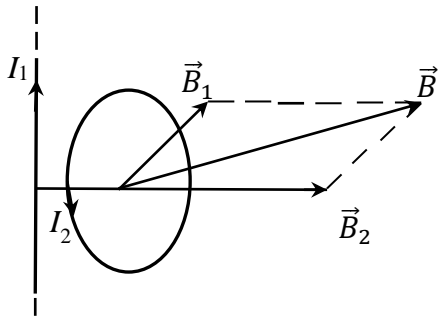


Рис. 12

Вважаючи, що прямолінійний провідник лежить у площині рис. 12, а площина кругового провідника перпендикулярна до неї, то відповідно до правила буравчика, вектор магнітної індукції прямолінійного струму буде перпендикулярним до площини рисунку і напрямленим за рисунок, а вектор магнітної індукції в центрі кругового струму буде знаходитись

у площині рисунку. Отже, вектори  $\vec{B}_1$  і  $\vec{B}_2$  є взаємно перпендикулярними. Тоді модуль результуючого вектора  $\vec{B}$  можна знайти за теоремою Піфагора:

$$B = \sqrt{B_1^2 + B_2^2}.$$

За законом Біо-Савара-Лапласа:

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

Таким чином, індукція результуючого поля  $B$  дорівнює:

$$B = \frac{\mu_0}{2} \sqrt{\frac{I_1^2}{\pi^2 d^2} + \frac{I_2^2}{r^2}}.$$

Перевіримо розмірність:

$$[B] = \frac{\text{Гн}}{\text{м}} \sqrt{\frac{\text{А}^2}{\text{м}^2}} = \frac{\text{Гн} \cdot \text{А}}{\text{м}^2} = \frac{\text{Вб} \cdot \text{А}}{\text{А} \cdot \text{м}^2} = \frac{\text{Тл} \cdot \text{м}^2}{\text{м}^2} = \text{Тл}.$$

Підставивши числові дані, отримуємо:

$$B = \frac{4\pi \cdot 10^{-7}}{2} \sqrt{\frac{3^2}{\pi^2 0,15^2} + \frac{2,5^2}{0,2^2}} = 9 \cdot 10^{-6} \text{ Тл} = 9 \text{ мкТл}.$$

**Відповідь:** індукція магнітного поля в заданій точці дорівнює 9 мкТл.

## Електромагнітні явища

### 7. Закон Фарадея для явища електромагнітної індукції. Магнітний потік. Робота при переміщенні провідника зі струмом у магнітному полі

При визначенні ЕРС індукції в провідних системах різної форми (прямий провідник або кругової, квадратної та прямокутної форми) при їх переміщенні у магнітному полі (при будь-яких змінах у часі магнітного потоку крізь поверхню контуру) застосовують закон Фарадея. Прикладом може бути задача 7.1. Прикладом для розрахунку роботи при переміщенні провідника зі струмом в магнітному полі може бути задача 7.2.

**Задача 7.1.** У магнітному полі, що має індукцію 0,05 Тл, обертається стрижень довжиною 1 м з кутовою швидкістю 20 рад/с. Вісь обертання проходить через кінець стрижня та паралельна магнітному полю. Знайти ЕРС індукції, що виникає на кінцях стрижня.

Дано:

$$B = 0,05 \text{ Тл}$$

$$l = 1 \text{ м}$$

$$\omega = 20 \text{ рад/с}$$

---

$$\mathcal{E}_i = ?$$

Розв'язання:

ЕРС індукції визначається за законом Фарадея:

$$\mathcal{E}_i = - \frac{\Delta\Phi}{\Delta t},$$

де зміна магнітного потоку  $\Delta\Phi = B\Delta S \sin\alpha$ , або  $\Delta\Phi = B\Delta S$ , оскільки  $\alpha = 90^\circ$ ,  $\sin\alpha = 1$ .

За один оберт стрижень перетинає площу  $\Delta S = \pi l^2$  за час  $\Delta t = T$ . Тоді магнітний потік, що перетинається стрижнем за один оберт,  $\Delta\Phi = B \pi l^2$ , а ЕРС індукції, що виникає на кінцях стрижня, дорівнює

$$\mathcal{E}_i = \frac{B\pi l^2}{T} = B\pi l^2 n = \frac{Bl^2\omega}{2}.$$

Підставивши числові дані, отримуємо:

$$\mathcal{E}_i = \frac{0,05 \cdot 1^2 \cdot 20}{2} = 0,5 \text{ В.}$$

**Відповідь:** ЕРС індукції, що виникає на кінцях стрижня, дорівнює 0,5 В.

**Задача 7.2.** У однорідному магнітному полі з індукцією 0,5 Тл рівномірно рухається провідник завдовжки 10 см. По провіднику протікає струм силою 2 А. Швидкість руху провідника становить 20 см/с і напрямлена перпендикулярно до напрямку магнітного поля. Знайти роботу переміщення провідника за 10 с та потужність, що витрачена на це переміщення.

<p><i>Дано:</i>  <math>B = 0,5 \text{ Тл}</math>  <math>l = 10 \text{ см} = 0,1 \text{ м}</math>  <math>I = 2 \text{ А}</math>  <math>v = 20 \text{ см/с} = 0,2 \text{ м/с}</math>  <math>t = 10 \text{ с}</math></p> <hr/> <p><math>A - ?</math>  <math>P - ?</math></p>	<p><i>Розв'язання:</i>  Робота по переміщенню провідника зі струмом у магнітному полі визначається формулою:  <math display="block">A = I\Delta\Phi.</math> Магнітний потік, який перетинається провідником при його переміщенні, визначається співвідношенням:  <math display="block">\Delta\Phi = BS\cos\alpha,</math></p>
---	--

де  $S = lvt$  – площа, яку вкриває провідник за час  $t$ ,  $\alpha = 0^\circ$  – кут між напрямком магнітного поля та нормаллю до площини  $S$ , отже,  $\cos\alpha = 1$ .

Тоді

$$A = IBlvt.$$

З означення потужності маємо

$$P = \frac{A}{t} = \frac{IBlvt}{t} = IBlv.$$

Підставивши числові дані, отримуємо:

$$A = 2 \cdot 0,5 \cdot 0,1 \cdot 0,2 \cdot 10 = 0,2 \text{ Дж},$$

$$P = 2 \cdot 0,5 \cdot 0,1 \cdot 0,2 = 0,02 \text{ Вт}.$$

**Відповідь:** робота по переміщенню провідника становить 0,2 Дж, а потужність дорівнює 0,02 Вт.

## 8. Закон Генрі для явища самоіндукції. Індуктивність. Магнітні властивості речовини. Енергія магнітного поля

**Задача 8.1.** При зміні струму від 5 до 10 А за 0,1 с у котушці виникає ЕРС самоіндукції, що дорівнює 10 В. Визначити індуктивність котушки й енергію магнітного поля при струмі силою 10 А.

*Дано:*

$$I_1 = 5 \text{ A}$$

$$I_2 = 10 \text{ A}$$

$$\Delta t = 0,1 \text{ c}$$

$$\mathcal{E}_s = 10 \text{ В}$$

$$I = 10 \text{ A}$$

---

$$L - ?$$

$$W - ?$$

*Розв'язання:*

Величина ЕРС самоіндукції визначається за законом Генрі:

$$\mathcal{E}_s = L \frac{|\Delta I|}{\Delta t}.$$

Звідси

$$L = \mathcal{E}_s \frac{\Delta t}{I_2 - I_1}.$$

Енергію магнітного поля визначимо за формулою:

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

Підставивши числові дані, отримуємо:

$$L = \frac{10 \cdot 0,1}{10 - 5} = 0,2 \text{ Гн},$$

$$W = \frac{0,2 \cdot 10^2}{2} = 10 \text{ Дж}.$$

**Відповідь:** індуктивність котушки становить 0,2 Гн, енергія магнітного поля котушки складає 10 Дж.

**Задача 8.2.** Соленоїд має довжину 0,6 м і поперечний переріз площею 10 см<sup>2</sup>. При деякій силі струму, що протікає в обмотці, у соленоїді створюється магнітний потік 0,1 мВб. Чому дорівнює енергія магнітного поля соленоїда? Осердя виготовлене з немагнітного матеріалу, а магнітне поле в усьому об'ємі соленоїду однорідне.

*Дано:*

$$l = 0,6 \text{ м}$$

$$S = 10 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$$

$$\Phi = 0,1 \cdot 10^{-3} \text{ Вб}$$

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

---

$$W - ?$$

*Розв'язання:*

Енергія магнітного поля соленоїда може бути розрахована за формулою:

$$W = \frac{LI^2}{2}, \quad (13)$$

де  $I$  – сила струму у соленоїді,  $L$  – індуктивність соленоїда.

Індуктивність соленоїда

$$L = \mu\mu_0 N^2 \frac{S}{l}, \quad (14)$$

де  $\mu$  – магнітна проникність осердя; для немагнітного матеріалу  $\mu = 1$ ;  $N$  – кількість витків,  $S$  та  $l$  – площа поперечного перерізу та довжина соленоїда відповідно.

Потокозчеплення для соленоїда визначається формулою:  $\Psi = LI$ .  
Звідси

$$I = \frac{\Psi}{L} = \frac{N\Phi}{L}. \quad (15)$$

Підставляючи вирази (14) та (15) в формулу (13), матимемо:

$$W = \frac{1}{2} L \frac{N^2 \Phi^2}{L^2} = \frac{N^2 \Phi^2}{2L} = \frac{N^2 \Phi^2}{2\mu\mu_0} \frac{l}{N^2 S} = \frac{\Phi^2 l}{2\mu\mu_0 S}$$

Перевіримо розмірність:

$$[W] = \frac{\text{Вб}^2 \cdot \text{м}}{\text{Гн} \cdot \text{м}^{-1} \cdot \text{м}^2} = \frac{\text{Вб}^2}{\text{Гн}} = \frac{(\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{А}^{-1})^2}{\text{м}^2 \cdot \text{кг} \cdot \text{с}^{-2} \text{А}^{-2}} = \text{кг} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^{-2} = \text{Дж}.$$

Підставивши числові дані, отримуємо:

$$W = \frac{(10^{-4})^2 \cdot 0,6}{2 \cdot 1 \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 10^{-3}} \approx 2,4 \text{ Дж}.$$

**Відповідь:** енергія магнітного поля соленоїда становить 2,4 Дж.

## Вказівки до проведення наближених обчислень

---

Числові значення величин, із якими доводиться мати справу під час розв'язування фізичних задач, є переважно наближеними. Такими величинами є, зокрема, багато констант, що наводяться у довідниках. Наприклад, прискорення вільного падіння  $g = 9,81 \text{ м/с}^2$ ; відношення довжини кола до діаметру  $\pi = 3,14$ ; маса електрона  $m = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$  тощо. При більш точному обчисленні чи вимірі числові значення цих величин будуть містити більше значущих цифр:  $g = 9,80685 \text{ м/с}^2$ ,  $\pi = 3,1416$ ,  $m = 9,106 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$ . Однак і ці значення, у свою чергу, наближені або через недостатню точність вимірювання, або через те, що отримані шляхом округлення ще більш точних значень.

Часто недосвідчені студенти намагаються при обчисленнях отримати результати такої точності, яка зовсім не виправдовується точністю використаних даних, що призводить до марних витрат праці та часу.

При розв'язуванні задач необхідно розрізняти, які дані точні, а які – наближені. До точних чисел відносять значення перевідних і масштабних множників, умовні значення величин, коефіцієнти і показники степенів. Наближені числа отримують в результаті вимірювання, округлювання або обчислення.

Округленням числа називають зменшення кількості цифр шляхом відкидання однієї або декількох останніх цифр. Основне правило заокруглення – це заокруглення з поправкою: якщо перша відкинута цифра рівна 5 або більше 5, то останню із збережених цифр збільшують на одиницю; якщо перша відкинута цифра менше 5, то останню із збережених цифр залишають без змін.

Значущими цифрами числа називають всі його цифри, окрім нулів, які стоять лівіше першої відмінної від нуля цифри, і нулів, які стоять в кінці числа, якщо вони стоять замість невідомих або відкинутих цих цифр.

Наближені обчислення слід вести з дотриманням таких правил:

1) при додаванні та обчисленні наближених чисел остаточний результат заокруглюють так, щоб він не мав значущих цифр у тих розрядах, які відсутні хоча б в одному із доданків. Наприклад,  $2,315 + 1,81 + 4,5678 \approx 8,69$ ;

2) при множенні слід округлити співмножник так, щоб кожен із них містив стільки значущих цифр, скільки їх має співмножник із найменшим числом таких цифр. Наприклад, замість обчислення виразу  $3,723 \cdot 2,4 \cdot 5,18646$  треба обчислювати вираз  $3,7 \cdot 2,4 \cdot 5,2$ .

В остаточному результаті необхідно залишати таку кількість значущих цифр, яка є у співмножниках після їх округлення. У проміжних результатах слід зберегти на одну значущу цифру більше. Таке правило є справедливим також при діленні наближених чисел;

3) при зведенні в степінь (зокрема піднесенні до квадрата чи кубу) треба брати стільки значущих цифр, скільки їх є в основі степеня. Наприклад,  $1,32^2 \approx 1,74$ ;

4) при взятті квадратного або кубічного кореня в результаті слід залишати стільки значущих цифр, скільки їх є у підкореневому виразі. Наприклад,  $\sqrt{7,61} \approx 2,76$ ;

5) при обчисленні складних виразів необхідно застосовувати ці правила у відповідності до виду дій, що здійснюються.

## **Частина II**

# **ТЕМАТИЧНІ ПІДБІРКИ ЗАДАЧ для самостійної роботи та індивідуальних контрольних робіт**

## *Електростатика*

### **1. Закон Кулона. Напруженість і потенціал. Теорема Гаусса**

**3.1.** Відстань між зарядами  $100 \text{ нКл}$  і  $-50 \text{ нКл}$  дорівнює  $10 \text{ см}$ . Відстань від заряду  $1 \text{ мкКл}$  до першого заряду становить  $12 \text{ см}$ , а до другого –  $10 \text{ см}$ . Визначити силу, що діє на заряд  $1 \text{ мкКл}$ .

**3.2.** Три точкові заряди по  $2 \text{ нКл}$  кожний знаходяться у вершинах рівностороннього трикутника зі стороною  $10 \text{ см}$ . Визначити значення та напрямки сили, що діє на один із зарядів з боку двох інших.

**3.3.** Два точкових заряди  $100 \text{ нКл}$  і  $-50 \text{ нКл}$  знаходяться на відстані  $20 \text{ см}$ . Визначити силу, що діє на третій заряд –  $10 \text{ нКл}$ , віддалений від усіх інших зарядів на однакову відстань.

**3.4.** Два точкових заряди  $30 \text{ нКл}$  і  $-10 \text{ нКл}$  знаходяться в просторі на відстані  $10 \text{ см}$  один від одного. Визначити напруженість поля, яке створюється цими зарядами в точці, що віддалена на  $9 \text{ см}$  від позитивного заряду і на  $7 \text{ см}$  від негативного заряду.

**3.5.** Точкові заряди  $20 \text{ мкКл}$  і  $-10 \text{ мкКл}$  знаходяться на відстані  $5 \text{ см}$  один від одного. Точковий заряд  $1 \text{ мкКл}$  розташований в точці, віддаленій на  $3 \text{ см}$  від першого і  $4 \text{ см}$  від другого заряду. Визначити силу, що діє на точковий заряд  $1 \text{ мкКл}$ .

**3.6.** Точкові заряди  $20 \text{ мкКл}$  і  $-10 \text{ мкКл}$  знаходяться на відстані  $5 \text{ см}$  один від одного. Визначити напруженість поля в точці, віддаленій на  $3 \text{ см}$  від першого і  $4 \text{ см}$  від другого заряду.

**3.7.** Два точкових заряди  $1 \text{ нКл}$  і  $2 \text{ нКл}$  знаходяться в повітрі на відстані  $10 \text{ см}$  один від одного. Визначити напруженість і потенціал поля, створеного цими зарядами в точці, віддаленій на  $9 \text{ см}$  від першого заряду і на  $7 \text{ см}$  від другого заряду.

**3.8.** Відстань між двома нескінченно довгими паралельними металевими нитками, які мають однойменні заряди з лінійною густиною  $6 \cdot 10^{-5} \text{ Кл/м}$ , складає  $5 \text{ см}$ . Знайти напруженість поля у точці, яка віддалена на  $5 \text{ см}$  від кожної нитки.

**3.9.** Дві паралельно розташовані площини заряджені з поверхневою густиною  $0,4 \cdot 10^{-6}$  Кл/м<sup>2</sup> і  $0,6 \cdot 10^{-6}$  Кл/м<sup>2</sup> відповідно. Визначити напруженість поля між площинами.

**3.10.** Дві паралельні площини однойменно заряджені з поверхневою густиною заряду  $0,5 \cdot 10^{-6}$  Кл/м<sup>2</sup> і  $1,5 \cdot 10^{-6}$  Кл/м<sup>2</sup> відповідно. Визначити напруженість поля: а) між площинами; б) поза площинами.

**3.11.** Є дві металеві порожні концентричні заряджені кулі. Діаметр більшої кулі 0,08 м, на ній знаходиться заряд – 40 нКл, діаметр меншої кулі 0,04 м, заряд на ній 20 нКл. Заряди рівномірно розподілені по поверхні куль. Визначити напруженість поля в центрі куль і на відстанях: а) 0,03 м; б) 0,05 м від центру.

**3.12.** Тонке кільце радіусом  $r$  заряджене рівномірно з лінійною густиною  $\tau$ . Визначити напруженість в центрі кільця і на висоті  $h$  над кільцем по осі симетрії.

**3.13.** Тонке півкільце радіусом  $r$  заряджене рівномірно з лінійною густиною  $\tau$ . Визначити напруженість в центрі кривизни напівкільця.

**3.14.** Відстань між двома нескінченно довгими паралельними металевими нитками складає 10 см. Одна нитка заряджена з лінійною густиною –  $3 \cdot 10^{-5}$  Кл/м, а інша  $6 \cdot 10^{-5}$  Кл/м. Визначити напруженість поля в точці, яка відділена на 10 см від кожної нитки.

**3.15.** В центрі металеві порожньої сфери, що має радіус 0,04 м розташований точковий заряд 10 нКл. Заряд 40 нКл рівномірно розподілений по поверхні сфери. Визначити напруженість поля у точках, що віддалені від центру сфери на відстанях: а) 2 см; б) 8 см.

**3.16.** Два точкових однойменних заряди по  $2,7 \cdot 10^{-8}$  Кл знаходяться в повітрі на відстані 5 см один від одного. Визначити напруженість поля, що створюється цими зарядами в точці, віддаленій на відстань 3 см від одного заряду і 4 см від іншого.

**3.17.** Обкладинки плоского конденсатора з площею 100 см<sup>2</sup> взаємодіють із силою 120 мН. Відстань між обкладинками становить 3 мм. Визначити різницю потенціалів між обкладинками.

**3.18.** Обкладинки плоского конденсатора взаємодіють із силою 100 мН. Відстань між обкладинками становить 2 мм, різниця потенціалів між ними 500 В. Знайти заряд на обкладинках конденсатора.

**3.19.** Вузький пучок електронів зі швидкістю  $20 \cdot 10^6$  м/с проходить у вакуумі посередині між обкладинками плоского конденсатора. Яку найменшу різницю потенціалів потрібно прикласти до пластин, щоб електрони не вийшли з конденсатора? Відстань між пластинами становить 1 см, їхня довжина 3 см.

**3.20.** Порошинка, заряд якої  $6,4 \cdot 10^{-18}$  Кл і маса  $10^{-14}$  кг, утримується в рівновазі в плоскому конденсаторі з відстанню між обкладинками, що становить 4 мм. Визначити різницю потенціалів між обкладинками.

**3.21.** Порошинка, заряд якої містить 50 електронів, знаходиться в рівновазі в плоскому конденсаторі. Відстань між обкладинками становить 5 мм, різниця потенціалів між ними 75 В. Визначити масу порошинки.

**3.22.** Два точкові однойменні заряди 20 нКл і 50 нКл знаходяться в повітрі на відстані 1 м. Визначити роботу, яку потрібно здійснити, щоб зблизити їх до відстані 0,5 м.

**3.23.** Плоский конденсатор поміщено у спирт. Площа обкладинок становить  $200 \text{ см}^2$ , відстань між ними 5 мм. Обкладинки заряджені до різниці потенціалів 200 В. Визначити силу взаємодії між обкладинками.

**3.24.** Два точкові заряди  $9q$  і  $-q$  закріплені на відстані 50 см один від одного. Третій заряд  $q_0$  може переміщуватись тільки вздовж прямої, яка проходить через заряди. Визначити: а) положення заряду  $q_0$ , при якому він перебуватиме в рівновазі; б) знак цього заряду, щоб рівновага була стійкою.

**3.25.** Три точкові заряди по 1 нКл кожний розташовані у вершинах рівностороннього трикутника. Визначити заряд, який потрібно помістити в центрі трикутника, щоб зазначена система зарядів знаходилась в рівновазі.

**3.26.** На тонкому стрижні довжиною 20 см рівномірно розподілено заряд. На продовженні осі стрижня на відстані 10 см від найближчого кінця знаходиться точковий заряд 40 нКл, який взаємодіє із стрижнем з силою 6 мкН. Визначити лінійну густину заряду на стрижні.

**3.27.** Тонкий довгий стрижень рівномірно заряджений із лінійною густиною  $1,5 \text{ нКл/см}$ . На продовженні осі стрижня на відстані  $12 \text{ см}$  від його кінця знаходиться точковий заряд  $0,2 \text{ мкКл}$ . Визначити силу взаємодії зарядженого стрижня та точкового заряду.

**3.28.** Точковий заряд  $25 \text{ нКл}$  знаходиться в полі, яке створене прямим нескінченим циліндром радіусом  $1 \text{ см}$ . Циліндр рівномірно заряджений з поверхневою густиною  $0,2 \text{ нКл/см}^2$ . Відстань від точкового заряду до осі циліндра дорівнює  $10 \text{ см}$ . Визначити силу, що діє на заряд.

**3.29.** На обкладинках плоского повітряного конденсатора знаходиться заряд  $10 \text{ нКл}$ . Площа кожної обкладинки конденсатора становить  $100 \text{ см}^2$ . Визначити силу, з якою притягуються обкладинки. Поле між пластинами вважати однорідним.

**3.30.** Дві кульки масою  $1 \text{ г}$  кожна підвішені на нитках, верхні кінцівки яких з'єднані разом. Довжина кожної нитки становить  $10 \text{ см}$ . Визначити заряд, який треба надати кожній кульці, щоб нитки розійшлися на кут  $60^\circ$ . Заряди, які надаються кулькам, вважати однаковими.

**3.31.** Дві однакові заряджені кульки підвішені в одній точці на нитках однакової довжини. При цьому нитки розійшлися на кут  $\alpha$ . Кульки занурюють в трансформаторне масло. Визначити густину масла, якщо кут розходження ниток при зануренні кульок в масло залишається незмінним. Густина матеріалу кульок  $1,5 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ .

**3.32.** На довгому прямому тонкому дроті рівномірно розподілено заряд. Напруженість поля на відстані  $0,5 \text{ м}$  від дроту проти його середини становить  $2 \text{ В/см}$ . Обчислити лінійну густину заряду на дроті.

**3.33.** Визначити, з якою силою, що припадає на одиницю площі, відштовхуються дві однойменно заряджені нескінченні площини з однаковою поверхневою густиною заряду  $2 \text{ мкКл/м}^2$ .

**3.34.** За певної різниці потенціалів електрон набуває швидкості  $8 \cdot 10^6 \text{ м/с}$ . Знайти цю різницю потенціалів.

**3.35.** Заряд рівномірно розподілений по нескінченній площині з поверхневою густиною  $10 \text{ нКл/м}^2$ . Визначити різницю потенціалів між двома точками

поля, одна з яких знаходиться на площині, а інша віддалена від неї на відстань 10 см.

**3.36.** Електрон з початковою швидкістю  $3 \cdot 10^6$  м/с влетів у однорідне електричне поле напруженістю 150 В/м. Вектор початкової швидкості перпендикулярний до ліній напруженості електричного поля. Знайти: а) силу, що діє на електрон; б) швидкість електрона через 0,1 мкс.

**3.37.** Два позитивні точкові заряди  $q$  і  $9q$  закріплені на відстані 100 см один від одного. Визначити, в якій точці на прямій, що проходить через ці заряди, слід помістити третій заряд, щоб він перебував у рівновазі. Вказати, який знак повинен мати цей заряд, щоб рівновага була стійкою. Переміщення третього заряду можливі лише вздовж прямої, що проходить через закріплені заряди.

**3.38.** Чотири однакові заряди по 40 нКл кожний закріплені у вершинах квадрата зі стороною 10 см. Знайти силу, що діє на один із цих зарядів з боку трьох інших.

**3.39.** У вершинах квадрата знаходяться однакові заряди по  $8 \cdot 10^{-10}$  Кл кожний. Визначити величину негативного заряду, який потрібно помістити у центрі квадрата, щоб сила взаємного відштовхування позитивних зарядів була врівноважена силою притягання негативного заряду.

**3.40.** Два точкових заряди 2 нКл і 4 нКл закріплені на відстані 60 см. Визначити точку, в якій потрібно розташувати третій заряд так, щоб система зарядів знаходилась в рівновазі. Визначити значення та знак заряду.

**3.41.** На тонкому кільці рівномірно розподілений заряд з лінійною густиною 0,2 нКл/см. Радіус кільця становить 15 см. На перпендикулярі до площини кільця, який проходить через центр кільця, знаходиться точковий заряд 10 нКл. Визначити силу, що діє на цей точковий заряд з боку зарядженого кільця, якщо він віддалений від центру кільця на: а) 20 см; б) 10 м.

**3.42.** По тонкій нитці, вигнутій по дузі кола радіусом 10 см, рівномірно розподілений заряд 20 нКл. Визначити напруженість поля, створеного цим зарядом у точці, що збігається з центром кривизни дуги. Довжина нитки дорівнює чверті довжини кола.

**3.43.** Визначити напруженість поля, створюваного зарядом, рівномірно розподіленим по тонкому прямому стрижню з лінійною густиною  $200 \text{ нКл/м}$ , у точці, яка лежить на продовженні осі стрижня на відстані  $20 \text{ см}$  від найближчого кінця. Довжина стрижня становить  $40 \text{ см}$ .

**3.44.** На продовженні осі тонкого прямого стрижня, рівномірно зарядженого з лінійною густиною  $15 \text{ нКл/см}$ , на відстані  $40 \text{ см}$  від кінця стрижня знаходиться точковий заряд  $10 \text{ мкКл}$ . Другий кінець стрижня прямує в нескінченність. Визначити силу, що діє на точковий заряд.

**3.45.** По тонкому кільцю радіусом  $10 \text{ см}$  рівномірно розподілений заряд  $20 \text{ нКл}$ . Визначити напруженість поля в точці, що знаходиться на осі кільця на відстані  $20 \text{ см}$  від центру кільця.

**3.46.** Тонке півкільце радіусом  $20 \text{ см}$  несе рівномірно розподілений заряд  $2 \text{ мкКл}$ . Визначити силу, що діє на точковий заряд  $40 \text{ нКл}$ , розташований у центрі кривизни півкільця.

**3.47.** Два довгі тонкі стрижні рівномірно заряджені з лінійною густиною  $1 \text{ мкКл/м}$  і розташовані перпендикулярно один до одного так, що точка перетину їхніх осей знаходиться на відстані  $10 \text{ см}$  і  $15 \text{ см}$  від найближчих кінців стрижнів. Знайти силу, що діє на заряд  $10 \text{ нКл}$ , поміщений в точку перетину осей стрижнів.

**3.48.** Визначити напруженість поля, створюваного тонким довгим стрижнем, рівномірно зарядженим з лінійною густиною  $20 \text{ мкКл/м}$ , у точці, що знаходиться на відстані  $2 \text{ см}$  від стрижня поблизу його середини.

**3.49.** Паралельно до нескінченної площини, зарядженої з поверхневою густиною  $4 \text{ мкКл/м}^2$ , розташована нескінченно довга пряма нитка, заряджена з лінійною густиною  $100 \text{ нКл/м}$ . Визначити силу, що діє з боку площини на відрізок нитки довжиною  $1 \text{ м}$ .

**3.50.** Дві однакові круглі пластини площею  $400 \text{ см}^2$  кожна розташовані паралельно. Заряд однієї пластини становить  $-200 \text{ нКл}$ , а іншої  $400 \text{ нКл}$ . Визначити силу взаємного притягання пластин, якщо відстань між ними  $3 \text{ мм}$ .

**3.51.** На нескінченному тонкостінному циліндрі діаметром 20 см рівномірно розподілений заряд із поверхневою густиною  $4 \text{ мкКл/м}^2$ . Визначити напруженість поля в точці, що віддалена від поверхні циліндра на 15 см.

**3.52.** Визначити силу (на одиницю площі) взаємодії двох нескінченних паралельних площин, заряджених з однаковою поверхневою густиною  $5 \text{ мкКл/м}^2$ .

**3.53.** Дві довгі прямі паралельні нитки знаходяться на відстані 5 см одна від одної. На нитках рівномірно розподілені заряди з лінійною густиною  $5 \text{ нКл/см}$  і  $10 \text{ нКл/см}$  відповідно. Визначити напруженість електричного поля в точці, віддаленій від першої нитки на відстань 3 см і від другої – на відстань 4 см.

**3.54.** До нескінченної рівномірно зарядженої вертикальної площини підвішена на нитці однойменно заряджена кулька масою 50 мг та зарядом  $0,6 \text{ нКл}$ . Натяг нитки, на якій висить кулька, становить  $0,7 \text{ мН}$ . Знайти поверхневу густину заряду на площині.

**3.55.** Визначити силу (на одиницю довжини) взаємодії двох заряджених нескінченно довгих паралельних ниток з однаковою лінійною густиною заряду  $20 \text{ мкКл/м}$ , що знаходяться на відстані 10 см одна від одної.

**3.56.** Поверхнева густина заряду нескінченної вертикальної площини становить  $400 \text{ мкКл/м}^2$ . До площини на нитці підвішена заряджена кулька масою 10 г. Визначити заряд кульки, якщо нитка утворює з площиною кут  $30^\circ$ .

**3.57.** Дві паралельні площини, які заряджені з поверхневою густиною заряду  $2 \text{ мкКл/м}^2$  і  $-0,8 \text{ мкКл/м}^2$ , знаходяться на відстані 0,6 см одна від одної. Визначити різницю потенціалів між площинами.

**3.58.** Електричне поле утворене нескінченно довгою ниткою, зарядженою з лінійною густиною заряду  $20 \text{ пКл/м}$ . Визначити різницю потенціалів двох точок поля, віддалених від нитки на відстані 8 см і 12 см.

**3.59.** Поле утворене нескінченною рівномірно зарядженою площиною з поверхневою густиною заряду  $40 \text{ нКл/м}^2$ . Визначити різницю потенціалів двох точок поля, що віддалені від площини на відстані 15 см і 20 см.

**3.60.** Чотири однакові краплі ртуті, заряджені до потенціалу 10 В, зливаються в одну. Яким буде потенціал краплі, що утворилася?

- 3.61.** Тонкий стрижень зігнутий у кільце радіуса 10 см. Він рівномірно заряджений з лінійною густиною 600 нКл/м. Визначити потенціал у точці, розташованій на осі кільця на відстані 10 см від центру.
- 3.62.** Поле утворене точковим диполем з електричним моментом 200 пКл·м. Визначити різницю потенціалів двох точок поля, розташованих симетрично відносно диполя на його осі на відстані 40 см від центру диполя.
- 3.63.** Тонка квадратна рамка рівномірно заряджена з лінійною густиною заряду 200 пКл/м. Визначити потенціал поля в точці перетину діагоналей.
- 3.64.** Визначити потенціальну енергію системи двох точкових зарядів 400 нКл і 20 нКл, що знаходяться на відстані 5 см один від одного.
- 3.65.** Порошинка масою 20 мкг, що несе на собі заряд 40 нКл, влетіла в електричне поле у напрямку силових ліній. Після проходження різниці потенціалів 200 В порошинка мала швидкість 10 м/с. Визначити її швидкість до того, як вона влетіла в поле.
- 3.66.** Електрон, що має кінетичну енергією 10 еВ, влетів у однорідне електричне поле в напрямку силових ліній поля. Яку швидкість матиме електрон, пройшовши в цьому полі різницю потенціалів 8 В?
- 3.67.** Знайти відношення швидкостей іонів  $\text{Cu}^{++}$  і  $\text{K}^+$ , що пройшли однакову різницю потенціалів.
- 3.68.** Електрон з енергією 400 еВ (у нескінченності) рухається вздовж силової лінії у напрямку поверхні металевої зарядженої сфери радіуса 10 см. Визначити мінімальну відстань, на яку наблизиться електрон до поверхні сфери, якщо її заряд становить – 10 нКл.
- 3.69.** Знайти силу притягання між ядром атома водню та електроном. Радіус атома водню  $0,5 \cdot 10^{-8}$  см, заряд ядра дорівнює за величиною та протилежний за знаком заряду електрона.
- 3.70.** Два точкові заряди, перебуваючи в повітрі на відстані 20 см один від одного, взаємодіють з деякою силою. На якій відстані потрібно помістити ці заряди в маслі, щоб вони взаємодіяли з тією самою силою?

**3.71.** Побудувати графік залежності сили взаємодії між двома точковими зарядами від відстані  $r$  між ними в інтервалі  $2 \leq r \leq 10$  см через кожні 2 см. Заряди дорівнюють  $2 \cdot 10^{-8}$  Кл і  $3 \cdot 10^{-8}$  Кл.

**3.72.** У скільки разів сила ньютонівського тяжіння між двома протонами менша за силу їх кулонівського відштовхування? Заряд протона чисельно рівний заряду електрона.

**3.73.** Обчислити силу електростатичного відштовхування між ядром атома натрію і протоном, що його бомбардує, вважаючи, що протон підійшов до ядра атома натрію на відстань  $6 \cdot 10^{-12}$  см. Заряд ядра натрію в 11 разів більший за заряд протона. Впливом електронної оболонки атома натрію знехтувати.

**3.74.** Дві однакові металеві заряджені кульки вагою 2 Н кожна знаходяться на певній відстані одна від одної. Знайти заряд кульок, якщо відомо, що на цій відстані їхня електростатична енергія в мільйон разів більша від їхньої взаємної гравітаційної енергії.

**3.75.** У скільки разів енергія електростатичної взаємодії двох частинок із зарядом  $q$  і масою  $m$  більша за енергію їх гравітаційної взаємодії? Задачу розв'язати для електронів та протонів.

**3.76.** Побудувати графік залежності потенціальної енергії двох точкових зарядів від відстані  $r$  між ними в інтервалі  $2 \leq r \leq 10$  см через кожні 2 см. Заряди дорівнюють  $10^{-9}$  Кл і  $3 \cdot 10^{-9}$  Кл;  $\epsilon = 1$ .

**3.77.** Знайти напруженість електростатичного поля в точці, що лежить посередині між точковими зарядами  $8 \cdot 10^{-9}$  Кл і  $6 \cdot 10^{-9}$  Кл. Відстань між зарядами дорівнює 10 см;  $\epsilon = 1$ .

**3.78.** В центр квадрата, у вершинах якого знаходиться по заряду  $7 \cdot 10^{-9}$  Кл, вміщено негативний заряд. Знайти цей заряд, якщо результуюча сила, що діє на кожен заряд, дорівнює нулю.

**3.79.** У вершинах правильного шестикутника розташовані три позитивні і три негативні заряди. Знайти напруженість електричного поля в центрі шестикутника при різних комбінаціях у розташуванні цих зарядів. Величина кожного заряду становить  $4,5 \cdot 10^{-9}$  Кл. Сторона шестикутника дорівнює 3 см.

- 3.80.** У вершинах правильного шестикутника розташовані позитивні заряди. Знайти напруженість електричного поля в центрі шестикутника. Величина кожного заряду становить  $4,5 \cdot 10^{-9}$  Кл. Сторона шестикутника дорівнює 3 см.
- 3.81.** Відстань між двома точковими зарядами  $22,5 \cdot 10^{-9}$  Кл і  $-44 \cdot 10^{-9}$  Кл дорівнює 5 см. Знайти напруженість електричного поля в точці, що знаходиться на відстані 3 см від позитивного заряду і 4 см від негативного.
- 3.82.** Дві кульки однакового радіусу та ваги підвішені на нитках так, що їхні поверхні стикаються. Після надання кулькам заряду  $4 \cdot 10^{-9}$  Кл вони відштовхнулися одна від одної і розійшлися на кут  $60^\circ$ . Знайти масу кульок, якщо відстань від точки підвісу до центру кульки дорівнює 20 см.
- 3.83.** Дві кульки однакового радіусу та ваги підвішені на двох нитках так, що їхні поверхні стикаються. Який заряд потрібно їм надати, щоб натяг ниток дорівнював 0,98 Н? Відстань від точки підвісу до центру кульки становить 10 см. Вага кожної кульки дорівнює 0,05 Н.
- 3.84.** Дві кульки однакового радіусу та ваги підвішені на нитках так, що їхні поверхні стикаються. Після надання кулькам заряду  $4 \cdot 10^{-9}$  Кл вони відштовхнулися одна від одної і розійшлися на кут  $60^\circ$ . Знайти густину матеріалу кульок, якщо відомо, що при зануренні їх у гас кут розходження ниток став рівним  $54^\circ$ .
- 3.85.** Дві заряджені кульки однакового радіусу і ваги, підвішені на нитках однакової довжини, опускаються в рідкий діелектрик, густина якого  $\rho_1$  і діелектрична проникність  $\epsilon$ . Якою має бути густина  $\rho$  матеріалу кульок, щоб кути розходження ниток у повітрі та в діелектрику були однаковими?
- 3.86.** Знайти силу, що діє на заряд у  $2 \cdot 10^{-9}$  Кл, якщо заряд розміщений на відстані 2 см від зарядженої нитки з лінійною густиною заряду  $2 \cdot 10^{-9}$  Кл/см. Діелектрична проникність середовища дорівнює 6.
- 3.87.** Знайти силу, що діє на заряд у  $2 \cdot 10^{-9}$  Кл, якщо заряд розміщений у полі зарядженої площини з поверхневою густиною заряду  $2 \cdot 10^{-9}$  Кл/см<sup>2</sup>. Діелектрична проникність середовища дорівнює 6.
- 3.88.** Визначити напруженість електричного поля на відстані  $2 \cdot 10^{-8}$  см від одновалентного іона. Заряд іона вважати точковим.

**3.89.** Зобразити на одному графіку залежності напруженості електричного поля від відстані  $r$  в інтервалі  $1 \leq r \leq 5$  см через кожний 1 см, якщо поле утворене: а) нескінченно довгою зарядженою ниткою з лінійною густиною заряду  $1,67 \cdot 10^{-8}$  Кл/см, б) нескінченно протяжною зарядженою площиною з поверхневою густиною заряду в  $2,5 \cdot 10^{-9}$  Кл/см<sup>2</sup>.

**3.90.** З якою силою електричне поле зарядженої нескінченної площини діє на кожен метр зарядженої нескінченно довгої нитки, вміщеної в це поле? Лінійна густина заряду на нитці  $3 \cdot 10^{-8}$  Кл/см, поверхнева густина заряду на площині  $2 \cdot 10^{-9}$  Кл/см<sup>2</sup>.

**3.91.** З якою силою (на одиницю довжини) відштовхуються дві однойменно заряджені нескінченно довгі нитки з однаковою лінійною густиною заряду  $3 \cdot 10^{-8}$  Кл/см, що знаходяться на відстані 2 см одна від одної? Яку роботу (на одиницю довжини) слід здійснити, щоб наблизити ці нитки до відстані 1 см?

**3.92.** З якою силою (на одиницю довжини) відштовхуються дві однойменно заряджені нескінченно протяжні площини з однаковою поверхневою густиною заряду  $3 \cdot 10^{-8}$  Кл/см<sup>2</sup>?

**3.93.** Дві довгі однойменно заряджені нитки розташовані на відстані 10 см одна від одної. Лінійна густина заряду на них  $10^{-7}$  Кл/см. Знайти величину і напрямок напруженості сумарного електричного поля в точці, що знаходиться на відстані 10 см від кожної нитки.

**3.94.** Мідна куля діаметром 1 см поміщена в масло густиною  $800$  кг/м<sup>3</sup>. Чому дорівнює заряд кулі, якщо в однорідному електричному полі куля виявилася завислою в маслі? Електричне поле спрямоване вертикально вгору та його напруженість  $36$  кВ/см.

**3.95.** У плоскому горизонтально розташованому конденсаторі заряджена крапелька ртуті знаходиться в рівновазі при напруженості електричного поля  $600$  В/см. Заряд краплі дорівнює  $2,4 \cdot 10^{-9}$  Кл. Знайти радіус краплі.

**3.96.** У точці  $A$ , розташованій на відстані 5 см від нескінченно довгої зарядженої нитки, напруженість електричного поля дорівнює  $1500$  В/см. При якій граничній довжині нитки знайдене значення напруженості буде вірним з точністю до 2%, якщо точка  $A$  розташована на перпендикулярі до середини

нитки? Чому дорівнюватиме напруженість електричного поля в точці  $A$ , якщо довжина нитки 20 см?

**3.97.** Кільце з дроту радіусом 10 см має негативний заряд  $-5 \cdot 10^{-9}$  Кл. Знайти напруженість електричного поля на осі кільця в точках, розташованих від центру кільця на відстані 0,5 см; 8 см; 10 см і 15 см. Накреслити графік  $E = f(r)$ . На якій відстані від центру кільця напруженість електричного поля буде максимальною?

**3.98.** Напруженість електричного поля на осі зарядженого кільця має максимальне значення на відстані  $r = r_{\max}$  від центру кільця. У скільки разів напруженість електричного поля у точці, розташованій на відстані  $r = 0,5r_{\max}$  від центру кільця, буде менша за максимальну напруженість?

**3.99.** Кулька масою в 40 мг, заряджена позитивним зарядом  $10^{-9}$  Кл, рухається зі швидкістю 10 см/с. На яку відстань може наблизитися кулька до позитивного точкового заряду, що дорівнює  $4 \cdot 10^{-9}$  Кл?

**3.100.** Електрон рухається в плоскому горизонтальному конденсаторі паралельно до його пластин зі швидкістю  $3,6 \cdot 10^4$  км/с. Напруженість поля всередині конденсатора 37 В/см. Довжина пластин конденсатора 20 см. На скільки зміститься електрон у вертикальному напрямку під дією електричного поля за час його руху в конденсаторі?

**3.101.** Протон влітає в плоский горизонтальний конденсатор паралельно його обкладинкам зі швидкістю  $1,2 \cdot 10^5$  м/с. Напруженість поля усередині конденсатора 30 В/см; довжина пластин конденсатора 10 см. У скільки разів швидкість протона при вильоті з конденсатора буде більшою за його початкову швидкість?

**3.102.** Між обкладинками плоского конденсатора, що знаходяться на відстані 5 мм одна від одної, прикладена різниця потенціалів 150 В. До однієї з обкладинок прилягає плоскопаралельна пластина порцеляни товщиною 3 мм. Знайти напруженість поля у повітрі та у порцеляні.

## 2. Електроємність. Конденсатори. Енергія електростатичного поля

**3.103.** Визначити відстань, на яку можуть наблизитися два електрони, якщо вони рухаються назустріч один одному з відносною швидкістю  $10^8$  см/с.

**3.104.** Протон (ядро атома водню) рухається зі швидкістю  $7,7 \cdot 10^8$  см/с. Визначити, на яку найменшу відстань може наблизитись цей протон до ядра атома алюмінію. Заряд ядер атомів алюмінію  $q = z \cdot e$ , де  $z$  – порядковий номер атома в таблиці Менделєєва;  $e$  – заряд протона, чисельно рівний заряду електрона. Маса протона вважати рівною масі атома водню. Протон і ядро алюмінію вважати точковими зарядами. Впливом електронної оболонки атома алюмінію знехтувати.

**3.105.** При бомбардуванні нерухомого ядра натрію  $\alpha$ -частинкою сила відштовхування між ними досягла 140 Н. Визначити, на яку найменшу відстань наблизилася  $\alpha$ -частинка до ядра атома натрію і яку швидкість вона мала. Впливом електронної оболонки атома натрію знехтувати.

**3.106.** Дві кульки із зарядами  $2 \cdot 10^{-8}$  Кл і  $4 \cdot 10^{-8}$  Кл знаходяться на відстані 40 см. Визначити, яку роботу слід здійснити, щоб зблизити їх до відстані 25 см.

**3.107.** Куля радіусом 1 см, що має заряд  $4 \cdot 10^{-8}$  Кл, поміщена в масло. Накреслити графік залежності  $U = f(x)$  для точок поля, що знаходяться на відстанях 1 см, 2 см, 3 см, 4 см і 5 см від поверхні кулі.

**3.108.** Визначити потенціал точки поля, що знаходиться на відстані 10 см від центру зарядженої кулі радіусом 1 см. Задачу розв'язати для таких умов: а) задана поверхнева густина заряду на кулі  $10^{-11}$  Кл/см<sup>2</sup>, б) заданий потенціал кулі, що дорівнює 300 В.

**3.109.** Визначити, яка робота здійснюється при перенесенні точкового заряду  $2 \cdot 10^{-8}$  Кл з нескінченності в точку, що знаходиться на відстані 1 см від поверхні кулі радіусом 1 см з поверхневою густиною заряду  $10^{-9}$  Кл/см<sup>2</sup>.

**3.110.** Куля масою 1 г і зарядом  $10^{-8}$  Кл переміщається з точки  $A$ , потенціал якої дорівнює 600 В, в точку  $B$ , потенціал якої дорівнює нулю. Визначити, чому дорівнювала її швидкість в точці  $A$ , якщо в точці  $B$  вона стала дорівнювати 20 см/с.

- 3.111.** Знайти швидкість електрона, що пройшов різницю потенціалів, рівну 1 В; 5 В; 10 В; 100 В і 1000 В.
- 3.112.** При радіоактивному розпаді з ядра атома полонію вилітає  $\alpha$ -частинка зі швидкістю  $1,6 \cdot 10^9$  см/с. Знайти кінетичну енергію цієї  $\alpha$ -частинки і різницю потенціалів поля, в якому можна розігнати нерухому  $\alpha$ -частинку до такої самої швидкості.
- 3.113.** На відстані 4 см від нескінченно довгої зарядженої нитки знаходиться точковий заряд  $2 \cdot 10^{-9}$  Кл. Під дією поля заряд переміщується до відстані 2 см; при цьому здійснюється робота  $5 \cdot 10^{-6}$  Дж. Знайти лінійну густину заряду на нитці.
- 3.114.** Електричне поле утворене позитивно зарядженою нескінченно довгою ниткою. Рухаючись під дією цього поля від точки, що знаходиться на відстані 1 см від нитки, до точки, яка знаходиться на відстані 4 см від нитки,  $\alpha$ -частинка змінила свою швидкість з  $2 \cdot 10^5$  м/с до  $3 \cdot 10^5$  м/с. Знайти лінійну густину заряду на нитці.
- 3.115.** Електричне поле утворене позитивно зарядженою нескінченною ниткою з лінійною густиною заряду  $2 \cdot 10^{-9}$  Кл/см. Визначити, якої швидкості набуде електрон під дією поля, наблизившись до нитки з відстані 1 см до 0,5 см.
- 3.116.** Біля зарядженої нескінченно протягнутої площини знаходиться точковий заряд  $2 \cdot 10^{-9}$  Кл. Під дією поля заряд переміщується по силовій лінії на відстань 2 см, при цьому виконується робота  $5 \cdot 10^{-6}$  Дж. Знайти поверхневу густину заряду на площині.
- 3.117.** Електрон, пройшовши в плоскому конденсаторі шлях від однієї обкладки до іншої, набув швидкості  $10^5$  м/с. Відстань між обкладками 8 мм. Знайти різницю потенціалів між обкладками та поверхневу густину заряду на пластинах.
- 3.118.** Порошинка масою 5 нг, що несе на собі 10 електронів, була прискорена електричним полем з різницею потенціалів 1 МВ. Визначити, якою є кінетична енергія порошинки та якої швидкості вона набула. Вважати, що середовище – вакуум.

**3.119.** Іон атома літію  $\text{Li}^+$  пройшов різницю потенціалів 400 В, іон атома натрію  $\text{Na}^+$  – різницю потенціалів 300 В. Знайти відношення швидкостей цих іонів.

**3.120.** При бомбардуванні нерухомого ядра калію  $\alpha$ -частинкою сила відштовхування між ними досягла 100 Н. Визначити, на яку найменшу відстань наблизилася  $\alpha$ -частинка до ядра атома калію та яку швидкість мала  $\alpha$ -частинка далеко від ядра. Впливом електронної оболонки калію знехтувати.

**3.121.** Відстань між обкладками плоского конденсатора 2 мм, різниця потенціалів 600 В, заряд кожної обкладки 40 нКл. Визначити енергію поля конденсатора та силу взаємного притягання обкладок.

**3.122.** Два однакові плоскі повітряні конденсатори ємністю 100 пФ кожен послідовно з'єднані в батарею. Визначити, наскільки зміниться ємність батареї, якщо простір між обкладками одного з конденсаторів заповнити парафіном.

**3.123.** Два конденсатори ємністю 5 мкФ і 8 мкФ з'єднані послідовно і приєднані до батареї з ЕРС 80 В. Визначити заряд кожного конденсатора і різницю потенціалів між його обкладками.

**3.124.** Плоский конденсатор складається з двох круглих пластин радіусом 10 см кожна. Відстань між пластинами 2 мм. Конденсатор приєднаний до джерела напруги 80 В. Визначити заряд і напруженість поля конденсатора, якщо діелектриком є: а) повітря; б) скло.

**3.125.** Два однакових плоских повітряних конденсатора з'єднані послідовно в батарею, яка підключена до джерела струму з ЕРС 12 В. Визначити, на скільки зміниться напруга на одному з конденсаторів, якщо інший занурити в трансформаторне масло.

**3.126.** Дві металеві кульки радіусів 5 см і 10 см мають заряди 40 нКл і – 20 нКл відповідно. Знайти енергію, яка виділиться при розряді, якщо кулі з'єднати провідником.

**3.127.** Простір між обкладками плоского конденсатора заповнено двома шарами діелектриків: шаром скла завтовшки 0,2 см і шаром парафіну завтовшки

0,3 см. Різниця потенціалів між обкладками 300 В. Визначити напруженість поля та падіння потенціалу в кожному із шарів.

**3.128.** Плоский конденсатор з площею пластин  $200 \text{ см}^2$  кожна заряджений до різниці потенціалів 2 кВ. Відстань між пластинами 2 см. Діелектрик – скло. Визначити енергію поля конденсатора та густину енергії поля.

**3.129.** Визначити роботу, що здійснюється при розсуванні обкладок плоского конденсатора площею  $100 \text{ см}^2$  кожна на відстань 1,5 см, за умови, що обкладки мають заряд  $0,4 \text{ мкКл}$  і  $-0,4 \text{ мкКл}$ .

**3.130.** Визначити енергію та силу притягання обкладок плоского конденсатора за умови, що різниця потенціалів між обкладками 5 кВ, заряд кожної обкладки  $0,1 \text{ мкКл}$ , відстань між обкладками 1 см.

**3.131.** Об'ємна густина енергії електричного поля всередині зарядженого конденсатора з твердим діелектриком становить  $3 \text{ Дж/м}^3$ . Визначити тиск, створюваний обкладками конденсатора на діелектрик.

**3.132.** Два конденсатори з однаковою електроємністю  $6 \text{ мкФ}$  кожний були заряджені один до 100 В, інший – до 200 В. Потім конденсатори з'єднали паралельно. Визначити напругу батареї після з'єднання та зміну енергії системи.

**3.133.** Два конденсатори з однаковою електроємністю  $6 \text{ мкФ}$  кожний були заряджені один до 100 В, інший – до 200 В. Потім конденсатори з'єднали послідовно. Визначити зміну енергії системи.

**3.134.** Тиск, що створюється обкладками плоского конденсатора на твердий діелектрик між ними, дорівнює 1,5 Па. Визначити енергію електричного поля конденсатора та об'ємну густину енергії, якщо площа обкладок  $100 \text{ см}^2$ , відстань між ними 0,5 см.

**3.135.** Знайти напруженість поля плоского конденсатора і об'ємну густину енергії, якщо відстань між обкладками конденсатора 0,05 м. Конденсатор заряджений до різниці потенціалів 600 В і має енергію  $3,2 \text{ мкДж}$ .

**3.136.** Плоский конденсатор з площею обкладок  $150 \text{ см}^2$  і відстанню між ними 6 мм заряджений до 400 В. Визначити, як зміняться електроємність і

енергія конденсатора, якщо паралельно його обкладкам внести металеву пластину товщиною 1 мм.

**3.137.** Дві металеві кульки (перша із зарядом  $10^{-8}$  Кл і радіусом 3 см і друга радіусом 2 см і потенціалом 9 кВ) з'єднані дротом, ємністю якого можна знехтувати. Знайти потенціал першої кульки до та після розряду; енергію кожної кульки до розряду.

**3.138.** Дві металеві кульки (перша із зарядом  $10^{-8}$  Кл і радіусом 3 см і друга радіусом 2 см і потенціалом 9 кВ) з'єднані дротом, ємністю якого можна знехтувати. Знайти енергію з'єднаних провідником кульок та роботу розряду.

**3.139.** Дві металеві кульки (перша із зарядом  $10^{-8}$  Кл і радіусом 3 см і друга радіусом 2 см і потенціалом 9 кВ) з'єднані дротом, ємністю якого можна знехтувати. Знайти заряд та потенціал кожної кульки після розряду.

**3.140.** Визначити різницю потенціалів, яку має пройти в електричному полі електрон, що має швидкість  $10^6$  м/с, щоб його швидкість зросла вдвічі.

**3.141.** Конденсатор ємністю 3 мкФ заряджений до різниці потенціалів 40 В. Після відключення від джерела струму конденсатор був з'єднаний паралельно з іншим незарядженим конденсатором ємністю 5 мкФ. Визначити, яка енергія витрачається на утворення іскри у момент приєднання другого конденсатора.

**3.142.** До батареї з ЕРС 300 В підключені два плоскі конденсатори ємністю 2 пФ і 3 пФ. Визначити заряд і напругу на обкладках конденсатора при послідовному або паралельному з'єднанні.

**3.143.** Конденсатор ємністю 600 см зарядили до різниці потенціалів 1,5 кВ та відключили від джерела напруги. Потім до конденсатора паралельно приєднали другий, незаряджений конденсатор ємністю 400 см. Визначити, скільки енергії, накопиченої в першому конденсаторі, було витрачено на утворення іскри, що проскочила при з'єднанні конденсаторів.

**3.144.** Усередині між обкладками плоского конденсатора порошок знаходилася в рівновазі при різниці потенціалів 900 В. Відстань між обкладками конденсатора 10 мм. При зменшенні напруги порошок через 0,5 с досягла нижньої обкладки. Визначити цю напругу.

**3.145.** Відстань між двома однойменними точковими зарядами  $0,5$  нКл та  $3$  нКл дорівнює  $5$  см. Визначити, яку роботу здійснює поле, якщо другий заряд, відштовхуючись від першого, пройде шлях  $4$  см.

**3.146.** Припустимо, що електрон рухається навколо протона по коловій орбіті. Визначити відношення потенціальної енергії електрона до його кінетичної енергії.

**3.147.** Конденсатор, заряджений до напруги  $200$  В, з'єднаний з незарядженим конденсатором такої самої електроємності паралельно або послідовно. Визначити, яка напруга встановиться між обкладками конденсатора в обох випадках.

**3.148.** Визначити, як потрібно з'єднати три конденсатори, електроємністю  $3$  мкФ,  $6$  мкФ і  $9$  мкФ, щоб електроємність батареї була: а) мінімальною; б) максимальною.

**3.149.** Визначити, як саме потрібно з'єднати три конденсатори електроємністю  $2$  мкФ,  $4$  мкФ і  $6$  мкФ, щоб електроємність батареї була більшою за  $2$  мкФ, але меншою за  $12$  мкФ. Розглянути усі можливі випадки.

**3.150.** Кулі радіусом  $R_1$  надали заряд  $q_1$ , а кулі радіусом  $R_2$  – заряд  $q_2$ . Відстань між кулями набагато більша за їхній радіус. Знайти відношення поверхневої густини зарядів на кулях до їхніх радіусів, якщо кулі з'єднати тонким металевим дротом.

**3.151.** Паралельно обкладкам плоского конденсатора введено металеву пластинку товщиною  $6$  мм. Визначити електроємність конденсатора, якщо площа кожної з обкладок  $100$  см<sup>2</sup>, відстань між ними  $8$  мм.

**3.152.** Один конденсатор заряджений до напруги  $60$  В, інший конденсатор такої ж ємності – до напруги  $160$  В. Визначити, яка напруга встановиться між обкладками конденсатора, якщо їх з'єднати: а) однойменно зарядженими обкладками; б) різнойменно зарядженими обкладками.

**3.153.** Конденсатор складається із трьох смужок станиолю площею  $3$  см<sup>2</sup> кожна, розділених двома шарами слюди товщиною  $0,05$  мм. Крайні смужки станиоля з'єднані між собою. Визначити електроємність такого конденсатора.

**3.154.** Два конденсатори електроємністю 3 мкФ і 5 мкФ з'єднані послідовно і приєднані до джерела постійної напруги 12 В. Визначити заряд кожного конденсатора і різницю потенціалів між його обкладками.

**3.155.** Між обкладками плоского конденсатора знаходиться металева пластинка товщиною 4 мм. Визначити, як зміниться електроємність конденсатора, якщо цю пластинку прибрати. Відстань між обкладками 6 мм, площа обкладинок 100 см<sup>2</sup>.

**3.156.** Знайти напругу на кожному з двох конденсаторів, якщо вони з'єднані послідовно, їхня електроємність 4 мкФ і 6 мкФ і вони приєднані до джерела постійної напруги 100 В.

**3.157.** Плоский конденсатор, відстань між обкладками якого 2 см, а площа кожної обкладки 200 см<sup>2</sup>, зарядили до різниці потенціалів 200 В і відключили від джерела напруги. Визначити, яку роботу потрібно виконати, щоб збільшити відстань між обкладками до 6 см.

**3.158.** Напруженість поля всередині плоского повітряного конденсатора з площею обкладок 100 см<sup>2</sup> кожна дорівнює 120 кВ/м. Напруга на конденсаторі 600 В. Визначити енергію, поверхневу густину зарядів та електроємність конденсатора.

**3.159.** Електроємність плоского повітряного конденсатора 1 нФ, відстань між обкладками 4 мм. На розміщений між обкладками конденсатора заряд 4,9 нКл діє сила 98 мкН. Площа обкладок 100 см<sup>2</sup>. Визначити напруженість поля і різницю потенціалів між обкладками.

**3.160.** Електроємність плоского повітряного конденсатора 1 нФ, відстань між обкладками 4 мм. На розміщений між обкладками конденсатора заряд 4,9 нКл діє сила 98 мкН. Площа обкладок 100 см<sup>2</sup>. Визначити енергію поля конденсатора та об'ємну густину енергії.

**3.161.** Знайти, як змінюється електроємність та енергія плоского повітряного конденсатора, якщо паралельно його обкладкам ввести металеву пластину завтовшки 1 мм. Площа обкладки конденсатора та пластини 150 см<sup>2</sup>, відстань між обкладками 6 мм. Конденсатор заряджений до 400 В та відключений від батареї.

**3.162.** Площа обкладинок плоского повітряного конденсатора  $100 \text{ см}^2$  кожна і відстань між ними  $5 \text{ мм}$ . До обкладинок прикладена різниця потенціалів  $300 \text{ В}$ . Після відключення конденсатора від джерела напруги простір між обкладинками заповнюється ебонітом. Визначити, якою буде різниця потенціалів між обкладинками після заповнення; яка ємність конденсатора до та після заповнення; яка поверхнева густина заряду на обкладинках до і після заповнення.

**3.163.** Площа обкладинок плоского повітряного конденсатора  $100 \text{ см}^2$  кожна і відстань між ними  $5 \text{ мм}$ . До обкладинок прикладена різниця потенціалів  $300 \text{ В}$ . Простір між обкладинками заповнюється ебонітом при включеному джерелі напруги. Визначити, якою буде різниця потенціалів між обкладинками після заповнення; яка ємність конденсатора до та після заповнення; яка поверхнева густина заряду на обкладинках до і після заповнення.

**3.164.** Між обкладинками плоского конденсатора, що знаходяться на відстані  $1 \text{ см}$  одна від одної, прикладена різниця потенціалів  $300 \text{ В}$ . У просторі між обкладинками поміщаються плоскопаралельні пластинки зі скла завтовшки  $0,5 \text{ см}$  і парафіну завтовшки  $0,5 \text{ см}$ . Знайти: напруженість електричного поля в кожному шарі; падіння потенціалу у кожному шарі; ємність конденсатора, якщо площа обкладинок  $100 \text{ см}^2$ ; поверхневу густину заряду на обкладинках.

**3.165.** Між обкладками плоского конденсатора, що знаходяться на відстані  $1 \text{ см}$  одна від одної, прикладена різниця потенціалів  $100 \text{ В}$ . До однієї з обкладок прилягає плоскопаралельна пластинка кристалічного бромистого талію ( $\epsilon = 173$ ) товщиною  $9,5 \text{ мм}$ . Після відключення конденсатора від джерела напруги пластинку кристала виймають. Визначити, якою буде після цього різниця потенціалів між обкладками конденсатора.

**3.166.** Коаксіальний електричний кабель складається з центральної жили і концентричної по відношенню до неї циліндричної оболонки, між якими знаходиться ізоляція. Знайти ємність одиниці довжини такого кабелю (у мікрофарадах на метр), якщо радіус жили  $1,3 \text{ см}$ , радіус оболонки  $3,0 \text{ см}$  і діелектрична проникність ізоляції  $3,2$ .

**3.167.** Радіус центральної жили коаксіального кабелю 1,5 см, радіус оболонки 3,5 см. Між центральною жилою та оболонкою прикладена різниця потенціалів 2300 В. Обчислити напруженість електричного поля на відстані 2 см від осі кабелю.

**3.168.** Повітряний циліндричний конденсатор має радіус внутрішнього циліндра 1,5 см, радіус зовнішнього циліндра 3,5 см. Між циліндрами прикладена різниця потенціалів 2300 В. Визначити, якої швидкості набуде електрон під дією поля цього конденсатора, рухаючись від відстані 2,5 см до відстані 2 см від осі циліндра.

**3.169.** Циліндричний конденсатор складається з внутрішнього циліндра радіусом 3 мм, двох шарів діелектрика і зовнішнього циліндра радіусом 2 см. Перший шар діелектрика товщиною 3 мм примикає до внутрішнього циліндра. Знайти відношення падінь потенціалу у цих шарах.

**3.170.** Знайти ємність земної кулі. Радіус земної кулі прийняти рівним 6400 км. Визначити, на скільки зміниться потенціал земної кулі, якщо надати їй кількість електрики, що дорівнює 1 Кл.

**3.171.** Кулька радіусом 2 см заряджається негативно до потенціалу 2 кВ. Знайти масу всіх електронів, що становлять заряд, наданий кульці при заряджанні.

**3.172.** Вісім заряджених водяних крапель радіусом 1 мм та зарядом  $10^{-10}$  Кл кожна зливаються в одну водяну краплю. Знайти потенціал великої краплі.

**3.173.** Дві кульки однакового радіусу (1 см) та ваги ( $4 \cdot 10^{-4}$  Н) підвішені на нитках однакової довжини так, що їхні поверхні стикаються. Коли кульки зарядили, нитки розійшлися на деякий кут і натяг ниток став дорівнювати  $4,9 \cdot 10^{-4}$  Н. Знайти потенціал заряджених кульок, якщо відомо, що відстань від точки підвісу до центру кожної кульки дорівнює 10 см.

**3.174.** Кулька, заряджена до потенціалу 792 В, має поверхневу густину заряду  $3,33 \cdot 10^{-7}$  Кл/м<sup>2</sup>. Визначити, чому дорівнює радіус кульки.

**3.175.** Знайти: а) співвідношення між радіусом кулі і максимальним потенціалом, до якого вона може бути заряджена у повітрі, якщо при нормальному

тиску розряд у повітрі настає при напруженості електричного поля 30 кВ/см;  
б) максимальний потенціал кулі, діаметр якої дорівнює 1 м.

**3.176.** Дві кульки однакового радіусу (1 см) і ваги (1,5 Н) заряджені до однакового потенціалу 3 кВ та перебувають на деякій відстані  $r_1$  одна від одної. При цьому їхня взаємна гравітаційна енергія становить  $10^{-11}$  Дж. Кульки зближуються, поки відстань між ними стане  $r_2$ . Робота, необхідна для зближення кульок,  $2 \cdot 10^{-6}$  Дж. Знайти електростатичну енергію кульок після їх зближення.

**3.177.** Площа кожної обкладки плоского повітряного конденсатора  $1 \text{ м}^2$ , відстань між ними 1,5 мм. Знайти ємність цього конденсатора.

**3.178.** Площа кожної обкладки плоского повітряного конденсатора  $1 \text{ м}^2$ , відстань між ними 1,5 мм. Конденсатор заряджено до потенціалу 300 В. Знайти поверхневу густину заряду на його обкладках.

**3.179.** Потрібно виготовити конденсатор ємністю  $2,5 \cdot 10^{-4}$  мкФ. Для цього на парафінований папір товщиною 0,05 мм наклеюють з обох боків кружки станіоля. Визначити, яким має бути діаметр цих кружків.

**3.180.** При вивченні фотоелектричних явищ використовується сферичний конденсатор, що складається з центрального катода (металевої кульки діаметром 1,5 см) і анода (внутрішньої поверхні посрібленої зсередини сферичної колби діаметром 11 см). Повітря з колби відкачується. Знайти ємність такого конденсатора.

**3.181.** Знайти, чому дорівнюватиме потенціал кулі радіусом 3 см, якщо: надати їй заряд 1 нКл; оточити її іншою кулею радіусом 4 см, концентричною з першою і з'єднаною із землею.

**3.182.** Знайти ємність сферичного конденсатора, що складається з двох концентричних сфер радіусами 10 см і 10,5 см. Простір між сферами заповнений маслом. Визначити, який радіус повинна мати куля, поміщена в масло, щоб мати таку саму ємність.

**3.183.** Радіус внутрішньої кулі повітряного сферичного конденсатора 1 см, радіус зовнішньої кулі 4 см. Між кулями прикладена різниця потенціалів 3 кВ. Знайти напруженість електричного поля на відстані 3 см від центру куль.

**3.184.** Радіус внутрішньої кулі повітряного сферичного конденсатора 1 см, радіус зовнішньої кулі 4 см. Між кулями прикладена різниця потенціалів 3 кВ. Знайти, якої швидкості набуде електрон, наблизившись до центру від відстані 3 см до відстані 2 см.

**3.185.** Знайти ємність системи конденсаторів (рис. 13). Ємність кожного конденсатора дорівнює 0,5 мкФ.

**3.186.** За допомогою електрометра порівнювали ємності двох конденсаторів. Для цього заряджали їх до різних потенціалів 300 В і 100 В і з'єднували обидва конденсатори паралельно. Виміряна при цьому електрометром різниця потенціалів між обкладинками виявилася 250 В. Знайти відношення ємностей  $C_1/C_2$ .

**3.187.** Різниця потенціалів між точками  $A$  та  $B$  (рис. 14) дорівнює 6 В. Ємність першого конденсатора 2 мкФ та ємність другого 4 мкФ. Знайти заряд і різницю потенціалів на обкладинках кожного конденсатора.

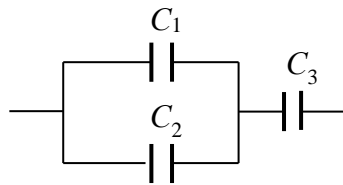


Рис. 13



Рис. 14

**3.188.** У яких межах може змінюватися ємність системи, що складається з двох конденсаторів, якщо ємність одного з них постійна і дорівнює 3,33 нФ, а ємність іншого може змінюватися від 22,2 пФ до 555,5 пФ?

**3.189.** У яких межах може змінюватися ємність системи, що складається з двох конденсаторів змінної ємності, якщо ємність кожного з них може змінюватися від 10 пФ до 450 пФ?

**3.190.** Конденсатор ємністю 20 мкФ заряджений до різниці потенціалів 100 В. Знайти енергію цього конденсатора.

**3.191.** Куля радіусом 1 м заряджена до потенціалу 30 кВ. Знайти енергію цієї кулі.

- 3.192.** Занурена в гас куля має потенціал 4,5 кВ і поверхневу густину заряду  $11,3 \text{ мкКл/м}^2$ . Знайти радіус, заряд, ємність та енергію кулі.
- 3.193.** Заряджена куля  $A$  радіуса 2 см стикається з незарядженою кулею  $B$ , радіус якої 3 см. Після того як кулі роз'єднали, енергія кулі  $B$  дорівнювала 0,4 Дж. Визначити, який заряд був на кулі  $A$  до їх дотику.
- 3.194.** Обкладинки плоского конденсатора площею  $100 \text{ см}^2$  кожна притягуються одна до одної з силою  $3 \cdot 10^{-2} \text{ Н}$ . Простір між обкладинками заповнено слюдою. Знайти напруженість поля між обкладинками, густину енергії поля.
- 3.195.** Між обкладинками плоского конденсатора вкладена тонка слюдяна пластинка. Визначити, якого тиску зазнає ця пластинка при напруженості електростатичного поля  $10 \text{ кВ/см}$ .
- 3.196.** Площа обкладинок плоского повітряного конденсатора  $100 \text{ см}^2$  та відстань між ними 5 мм. Знайти, яка різниця потенціалів була прикладена до обкладинок конденсатора, якщо відомо, що при його розряді виділилося  $4,19 \cdot 10^{-3} \text{ Дж}$  теплоти.
- 3.197.** Плоский повітряний конденсатор, відстань між обкладинками якого 2 см, заряджений до потенціалу 3000 В. Визначити, якою буде напруженість поля конденсатора, якщо, не відключаючи джерела напруги, обкладинки розсунути на відстань 5 см. Обчислити енергію конденсатора до і після розсування. Площа обкладинок  $100 \text{ см}^2$ .
- 3.198.** Плоский повітряний конденсатор, відстань між обкладинками якого 2 см, заряджений до потенціалу 3000 В. Визначити, якою буде напруженість поля конденсатора, якщо після відключення джерела напруги обкладинки розсунути на відстань 5 см. Обчислити енергію конденсатора до і після розсування. Площа обкладинок  $100 \text{ см}^2$ .
- 3.199.** Плоский повітряний конденсатор з площею обкладинок  $100 \text{ см}^2$  кожна і відстанню між ними 1 мм заряджений до 100 В. Потім обкладки розсуваються до відстані 35 см. Знайти енергію конденсатора до і після розсування обкладинок, якщо джерело напруги перед розсуванням: а) не відключається; б) відключається.

**3.200.** Плоский конденсатор заповнений діелектриком і на його обкладинки подана деяка різниця потенціалів. Його енергія при цьому становить  $2 \cdot 10^{-5}$  Дж. Після того як конденсатор відключили від джерела напруги, діелектрик вийняли з конденсатора. Робота, яку треба було здійснити проти сил електричного поля, щоб вийняти діелектрик, дорівнює  $7 \cdot 10^{-5}$  Дж. Знайти діелектричну проникність діелектрика.

**3.201.** Різниця потенціалів між обкладинками плоского конденсатора площею  $100 \text{ см}^2$  кожна становить 280 В. Поверхнева густина заряду на обкладинках  $4,95 \cdot 10^{-11}$  Кл/см<sup>2</sup>. Знайти: а) напруженість поля усередині конденсатора; б) відстань між обкладинками.

**3.202.** Різниця потенціалів між обкладинками плоского конденсатора площею  $100 \text{ см}^2$  кожна становить 280 В. Поверхнева густина заряду на обкладинках  $4,95 \cdot 10^{-11}$  Кл/см<sup>2</sup>. Знайти швидкість, яку отримає електрон, пройшовши у конденсаторі шлях від однієї обкладинки до іншої.

**3.203.** Різниця потенціалів між обкладинками плоского конденсатора площею  $100 \text{ см}^2$  кожна становить 280 В. Поверхнева густина заряду на обкладинках  $4,95 \cdot 10^{-11}$  Кл/см<sup>2</sup>. Визначити енергію та ємність конденсатора.

**3.204.** Різниця потенціалів між обкладинками плоского конденсатора площею  $100 \text{ см}^2$  кожна становить 280 В. Поверхнева густина заряду на обкладинках  $4,95 \cdot 10^{-11}$  Кл/см<sup>2</sup>. Визначити силу притягання обкладинок конденсатора.

### *Постійний електричний струм*

#### **3. Закони Ома. Опір провідників. Правила Кірхгофа**

**3.205.** По вольфрамовій нитці лампи розжарювання протікає струм 0,1 А. Напруженість електричного поля в нитці 1,8 В/см. Визначити температуру нитки, якщо її діаметр 0,02 мм. Для вольфраму температурний коефіцієнт опору  $0,0045 \text{ К}^{-1}$ .

**3.206.** По вольфрамовій нитці лампи розжарювання протікає струм 0,125 А. Визначити напруженість електричного поля в нитці лампи, якщо діаметр нитки 0,02 мм, а температура  $2400 \text{ }^\circ\text{C}$ .

**3.207.** Який струм протікає у вольфрамовій нитці лампи розжарювання, якщо напруженість електричного поля в нитці лампи 26 В/см, її діаметр становить 0,03 мм, а температура 2000 °С?

**3.208.** Електрична лампа напругою 120 В має волосок з діаметром поперечного перерізу 0,44 мм. Визначити напруженість поля у волоску за температури 2400 °С, якщо опір лампи у робочому стані 10 Ом.

**3.209.** Визначити густину струму в залізному дроті завдовжки 1 м, якщо різниця потенціалів на кінцях дроту 8 В, а температура дроту 600 °С. Температурний коефіцієнт опору заліза 0,006 K<sup>-1</sup>.

**3.210.** Визначити швидкість упорядкованого руху електронів у залізному провіднику, якщо напруженість електричного поля в ньому 4 В/см, температура провідника 50 °С. Концентрацію електронів провідності прийняти рівною  $2 \cdot 10^{23}$  см<sup>-3</sup>.

**3.211.** Залізний провідник має довжину 10 м та температуру 140 °С. Визначити різницю потенціалів, прикладену до кінців провідника, якщо густина струму у провіднику 5 А/мм<sup>2</sup> та швидкість упорядкованого руху електронів за цих умов. Концентрацію електронів провідності прийняти рівною  $1,7 \cdot 10^{23}$  см<sup>-3</sup>.

**3.212.** По мідному дроту із поперечним перерізом 1 мм<sup>2</sup> протікає струм 1 А. Визначити швидкість упорядкованого руху електронів. Концентрацію електронів провідності прийняти рівною  $10^{23}$  см<sup>-3</sup>.

**3.213.** Під кінець зарядки акумуляторної батареї струмом 3 А вольтметр, приєднаний до неї, показував напругу 4,25 В. На початку розрядки тієї ж батареї струмом 4 А вольтметр показував напругу 3,9 В. Визначити ЕРС і внутрішній опір батареї. Струмом, що протікає через вольтметр, знехтувати.

**3.214.** Батарея акумуляторів з ЕРС 24 В виробляє струм 3,35 А на зовнішньому опорі 10 Ом. Якою має бути напруга мережі для заряджання такої батареї акумуляторів струмом 7 А? Чому дорівнює кількість теплоти, що виділяється при зарядці в такій батареї за 2 год?

**3.215.** Визначити густину струму в залізному дроті завдовжки 1 м, якщо різниця потенціалів на кінцях дроту 16 В та температура дроту 600 °С. Температурний коефіцієнт опору заліза 0,006 К<sup>-1</sup>.

**3.216.** По провіднику з поперечним перерізом 1 мм<sup>2</sup> протікає струм 1 А. Визначити швидкість упорядкованого руху електронів. Концентрацію електронів провідності прийняти рівною 10<sup>23</sup> см<sup>-3</sup>.

**3.217.** Міліамперметр зі шкалою від 0 до 15 мА має опір, що дорівнює 5 Ом. Як повинен бути включений прилад у комбінації з опором (і яким) для вимірювання різниці потенціалів від 0 до 150 В?

**3.218.** Амперметр, опір якого 0,16 Ом, зашунтований опором 0,04 Ом. Амперметр показує 8 А. Визначити силу струму в колі.

**3.219.** Для вимірювання струмів до 10 А є амперметр з внутрішнім опором 0,18 Ом, шкала якого розділена на 100 поділок. Який опір треба взяти та як його включити, щоб цим амперметром можна було виміряти силу струму до 10 А? Як зміниться ціна поділки?

**3.220.** Для вимірювань різниці потенціалів до 30 В є вольтметр опором у 2000 Ом, шкала якого розділена на 150 поділок. Який опір треба взяти і як його включити, щоб цим вольтметром можна було вимірювати різницю потенціалів до 75 В? Як зміниться при цьому ціна поділки вольтметра?

**3.221.** Міліамперметр зі шкалою від 0 до 15 мА має опір 5 Ом. Як має бути включений прилад у комбінації з опором (і яким) для вимірювання сили струму від 0 до 0,15 А?

**3.222.** Є лампочка на 120 В потужністю 40 Вт. Який додатковий опір необхідно включити послідовно з лампочкою, щоб вона давала нормальне свічення при напрузі в мережі 220 В? Скільки метрів ніхромового дроту діаметром 0,3 мм треба взяти, щоб отримати такий опір?

**3.223.** Потужності трьох електричних лампочок, розрахованих на напругу 110 В кожна, рівні відповідно 40 Вт, 40 Вт і 80 Вт. Як треба включити ці лампочки, щоб вони давали нормальне свічення при напрузі в мережі 220 В? Знайти силу струму, що протікає через лампочки при нормальному розжаренні. Накреслити схему.

**3.224.** У лабораторії, віддаленій від генератора на 100 м, включили електричний нагрівальний прилад, що споживає 10 А. На скільки знизилася напруга на затискачах електричної лампочки, що горить у цій лабораторії? Переріз мідних проводів дорівнює  $5 \text{ мм}^2$ .

**3.225.** Сила струму у провіднику змінюється з часом за рівнянням  $I = 4 + 2t$ , де  $I$  виражено в амперах,  $t$  – у секундах. Яка кількість електрики проходить через поперечний переріз провідника за час від 2 с до 6 с? При якій силі постійного струму через поперечний переріз провідника за цей самий час проходить така сама кількість електрики?

**3.226.** Ламповий реостат складається з п'яти електричних лампочок, включених паралельно. Знайти опір реостату, коли горять усі лампочки та коли вимикаються одна, дві, три чи чотири лампочки. Опір кожної лампочки дорівнює 350 Ом.

**3.227.** Скільки витків ніхромового дроту діаметром 1 мм треба навити на фарфоровий циліндр радіуса 2,5 см, щоб отримати нагрівач опором 40 Ом?

**3.228.** Котушка з мідного дроту має опір 10,8 Ом. Вага мідного дроту дорівнює 34,1 Н. Скільки метрів дроту і якого діаметра намотано на котушці?

**3.229.** Знайти опір залізного стрижня діаметром 1 см, якщо вага цього стрижня 10 Н.

**3.230.** Два циліндричні провідники (один з міді, а інший з алюмінію) мають однакову довжину і однаковий опір. У скільки разів мідний провід важчий за алюмінієвий?

**3.231.** Опір вольфрамової нитки електричної лампочки при  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  дорівнює 35,8 Ом. Якою буде температура нитки лампочки, якщо при включенні у мережу напругою в 120 В по нитці протікає струм 0,33 А?

**3.232.** Реостат із залізного дроту, міліамперметр та генератор струму включені послідовно. Опір реостату при  $0 \text{ }^\circ\text{C}$  дорівнює 120 Ом, опір міліамперметра 20 Ом. Міліамперметр показує 22 мА. Що показуватиме міліамперметр, якщо реостат нагріється на  $50 \text{ }^\circ\text{C}$ ? Температурний коефіцієнт опору заліза  $6 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ . Опором генератора знехтувати.

**3.233.** Обмотка котушки з мідного дроту за температури  $14\text{ }^{\circ}\text{C}$  має опір  $10\text{ }\Omega$ . Після пропускання струму опір обмотки став рівним  $12,2\text{ }\Omega$ . До якої температури нагрілася обмотка? Температурний коефіцієнт опору міді дорівнює  $4,15 \cdot 10^{-3}\text{ K}^{-1}$ .

**3.234.** Знайти падіння потенціалу на мідному дроті довжиною  $500\text{ м}$  і діаметром  $2\text{ мм}$ , якщо по ньому протікає струм силою  $2\text{ А}$ .

**3.235.** Визначити падіння потенціалу на резисторах (рис. 15), якщо амперметр показує  $3\text{ А}$ ; опори резисторів відповідно  $4\text{ }\Omega$ ,  $2\text{ }\Omega$  і  $4\text{ }\Omega$ . Знайти сили струму через другий та третій резистори.

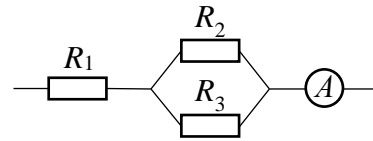


Рис. 15

**3.236.** Елемент з ЕРС  $1,1\text{ В}$  та внутрішнім опором  $1\text{ }\Omega$  замкнено на зовнішній опір  $9\text{ }\Omega$ . Знайти силу струму у колі; падіння потенціалу у зовнішньому колі; падіння потенціалу на елементі; ККД з яким працює елемент.

**3.237.** Знайти силу струму в окремих ділянках містка Уінстона (рис. 16) за умови, що сила струму, що йде через гальванометр, дорівнює нулю. ЕРС генератора  $2\text{ В}$ , опори резисторів відповідно  $30\text{ }\Omega$ ,  $45\text{ }\Omega$  і  $200\text{ }\Omega$ . Опором генератора знехтувати.

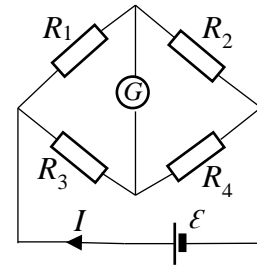


Рис. 16

**3.238.** На схемі (рис. 17) ЕРС елементів відповідно  $2,1\text{ В}$  і  $1,9\text{ В}$ , опори резисторів відповідно  $45\text{ }\Omega$ ,  $10\text{ }\Omega$  і  $10\text{ }\Omega$ . Знайти силу струму на всіх ділянках кола. Внутрішнім опором елементів знехтувати.

**3.239.** Яка різниця потенціалів на затискачах двох елементів, включених паралельно, якщо їхні ЕРС рівні відповідно  $1,4\text{ В}$  і  $1,2\text{ В}$ , а їхні внутрішні опори  $0,6\text{ }\Omega$  і  $0,4\text{ }\Omega$ ?

**3.240.** Прилад з опором  $6\text{ }\Omega$  підключений до двох паралельно з'єднаних джерел струму з ЕРС  $2,2\text{ В}$  і  $2,4\text{ В}$  та внутрішніми опороми  $0,8\text{ }\Omega$  і  $0,2\text{ }\Omega$ . Визначити силу струму, що протікає через прилад, і падіння напруги на клеммах другого джерела струму.

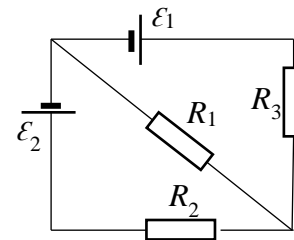


Рис. 17

**3.241.** Визначити силу струму в кожному елементі і падіння напруги на клеммах реостату опором 20 Ом (рис. 18), якщо ЕРС елементів 12 В і 6 В, а внутрішні опори 1 Ом і 1,5 Ом.

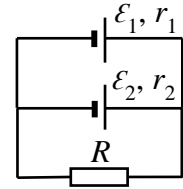


Рис. 18

**3.242.** Визначити силу струму на усіх ділянках електричного кола (рис. 17), якщо ЕРС елементів 8 В і 12 В, опори резисторів відповідно 1 Ом, 1 Ом і 4 Ом. Внутрішнім опором джерел струму знехтувати.

**3.243.** Два джерела струму з ЕРС, що дорівнюють 12 В і 8 В, та внутрішніми опорами 4 Ом і 2 Ом, а також реостат з опором 20 Ом з'єднані, як показано на рис. 18. Визначити силу струму на всіх ділянках кола.

**3.244.** Два джерела струму з ЕРС, що дорівнюють 12 В і 24 В, та внутрішніми опорами 2 Ом і 6 Ом, а також реостат з опором 16 Ом з'єднані, як показано на рис. 18. Визначити силу струму на всіх ділянках кола.

**3.245.** Три резистори з опорами відповідно 6 Ом, 3 Ом і 2 Ом, а також джерело струму з ЕРС 2,2 В з'єднані, як показано на рис. 19. Визначити ЕРС джерела, яке необхідно підключити до кола між точками *A* і *B*, щоб через третій резистор протікав струм силою 1 А у напрямку, вказаному стрілкою. Опором джерел струму знехтувати.

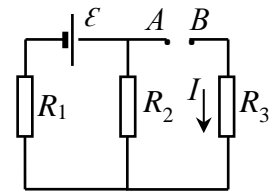


Рис. 19

**3.246.** Визначити різницю потенціалів між точками *A* і *B* (рис. 19), якщо елемент має ЕРС, що дорівнює 8 В; опори резисторів відповідно 4 Ом, 6 Ом і 8 Ом. Внутрішнім опором джерела струму знехтувати.

**3.247.** Визначити силу струму через третій резистор (рис. 19) та падіння напруги на цьому резисторі, якщо ЕРС джерела струму 6 В; опори резисторів відповідно 4 Ом, 8 Ом і 6 Ом. Внутрішнім опором джерела струму знехтувати.

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

**3.249.** ЕРС елемента дорівнює 1,6 В, а його внутрішній опір 0,5 Ом. Визначити ККД елемента при силі струму 2,4 А.

**3.250.** ЕРС елемента дорівнює 6 В. При зовнішньому опорі 1,1 Ом сила струму в колі дорівнює 3 А. Знайти падіння потенціалу всередині елемента та його опір.

**3.251.** Яку частку ЕРС елемента становить різниця потенціалів на його клеммах, якщо опір елемента в  $n$  разів менше від зовнішнього опору. Розв'язати задачу для  $n = 0,1$  та  $n = 10$ .

**3.252.** Елемент, реостат та амперметр включені послідовно. Елемент має ЕРС 2 В і внутрішній опір 0,4 Ом. Амперметр показує силу струму 1 А. Визначити, з яким ККД працює елемент.

**3.253.** Є два однакових елементи з ЕРС 2 В і внутрішнім опором 0,3 Ом. Як треба з'єднати ці елементи (послідовно або паралельно), щоб отримати більшу силу струму, якщо зовнішній опір дорівнює 0,2 Ом або 16 Ом? Обчислити силу струму у кожному з цих випадків.

**3.254.** Вважаючи опір вольтметра нескінченно великим, визначають опір резистора за показаннями амперметра і вольтметра в схемі на рис. 20. Знайти відносну похибку знайденого опору, якщо насправді опір вольтметра дорівнює 1000 Ом. Розв'язати задачу для випадків, коли опір резистора 10 Ом або 1000 Ом.

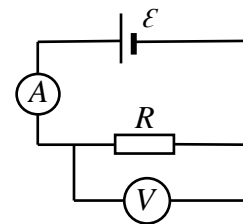


Рис. 20

**3.255.** Вважаючи опір амперметра нескінченно малим, визначають опір резистора за показаннями амперметра і вольтметра в схемі на рис. 21. Знайти відносну похибку знайденого опору, якщо насправді опір амперметра дорівнює 0,2 Ом. Розв'язати задачу для випадків, коли опір резистора 1 Ом, 10 Ом, 100 Ом.

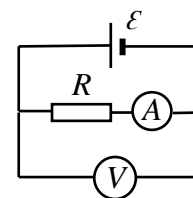


Рис. 21

**3.256.** Електричне коло складається з двох гальванічних елементів, трьох резисторів і гальванометра (рис. 22). Опори резисторів відповідно 100 Ом, 50 Ом і 20 Ом, ЕРС елемента 2 В. Гальванометр реєструє струм 50 мА, що йде в напрямку, вказаному стрілкою. Визначити ЕРС другого елемента. Опором гальванометра і внутрішніми опорами елементів знехтувати.

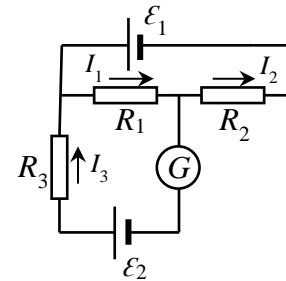


Рис. 22

**3.257.** Потенціометр із опором 100 Ом підключений до батареї, ЕРС якої 150 В та внутрішній опір 50 Ом. Визначити показання вольтметра з опором 500 Ом, з'єднаного з однією з клем потенціометра і рухомим контактом, встановленим посередині потенціометра. Яка різниця потенціалів між тими самими точками потенціометра при відключенні вольтметра?

**3.258.** Резистор з опором 5 Ом, вольтметр і джерело струму з'єднані паралельно. Вольтметр показує напругу 10 В. Якщо замінити опір на 12 Ом, то вольтметр покаже напругу 12 В. Визначити ЕРС і внутрішній опір джерела струму. Струмом через вольтметр знехтувати.

**3.259.** Визначити заряд, що пройшов дротом із опором 3 Ом при рівномірному наростанні напруги на кінцях дроту від 2 В до 4 В протягом 20 с.

**3.260.** Визначити силу струму в колі, що складається з двох елементів з ЕРС 1,6 В і 1,2 В та внутрішніми опорами 0,6 Ом і 0,4 Ом, з'єднаних однойменними полюсами.

**3.261.** Три батареї з ЕРС відповідно 8 В, 3 В і 4 В і внутрішнім опором 2 Ом кожна, з'єднані однойменними полюсами. Нехтуючи опором з'єднувальних провідників, визначити струми, що протікають через батареї.

**3.262.** Визначити падіння напруги на резисторі опором 3 Ом (рис. 23), якщо ЕРС елементів 5 В і 23 В, внутрішні опори 1 Ом і 0,5 Ом.

**3.263.** Визначити падіння напруги на резисторах з опорами відповідно 2 Ом, 4 Ом, 4 Ом і 2 Ом, увімкнених у колі, як показано на рис. 24, якщо ЕРС елементів 10 В та 4 В. Внутрішнім опором джерел струму знехтувати.

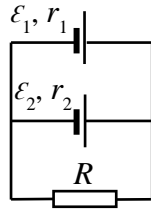


Рис. 23

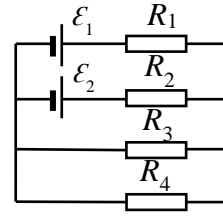


Рис. 24

**3.264.** Котушка і амперметр з'єднані послідовно і приєднані до джерела струму. До котушки приєднано вольтметр з внутрішнім опором 4 кОм. Амперметр показує силу струму 0,3 А, вольтметр – напругу 120 В. Визначити опір котушки. Скільки відсотків складе похибка, якщо при визначенні опору котушки не буде враховано опір вольтметра?

**3.265.** У схемі (рис. 25) є резистор з опором 1,4 Ом, два елементи, ЕРС яких однакові і рівні 2 В. Внутрішні опори цих елементів дорівнюють відповідно 1 Ом та 1,5 Ом. Знайти силу струму в кожному з елементів та у всьому колі.

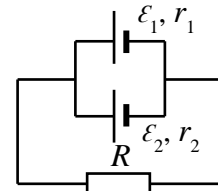


Рис. 25

**3.266.** У схемі (рис. 26) є резистор з опором 1,4 Ом, два елементи, ЕРС яких однакові і рівні 2 В. Внутрішні опори цих елементів дорівнюють відповідно 1 Ом та 1,5 Ом. Знайти різницю потенціалів на клеммах кожного елемента.

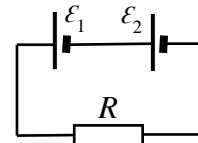


Рис. 26

**3.267.** У схемі (рис. 27) показана батарея, ЕРС якої дорівнює 20 В, реостат і резистор. При виведеному реостаті амперметр показує силу струму в колі 8 А, при введеному реостаті – 5 А. Знайти опори реостата і резистора та падіння потенціалу на них, коли реостат повністю введений. Опорами батареї і амперметра знехтувати.

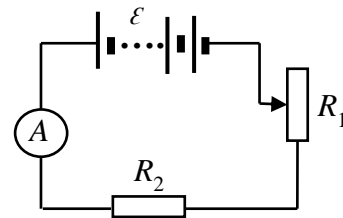


Рис. 27

**3.268.** Елемент, амперметр та деякий резистор включені послідовно. Резистор виконано з мідного дроту завдовжки 100 м і поперечним перерізом 2 мм<sup>2</sup>, опір амперметра 0,05 Ом, амперметр показує 1,43 А. Якщо взяти резистор з алюмінієвого дроту довжиною 57,3 м і поперечним перерізом 1 мм<sup>2</sup>, то амперметр покаже 1 А. Знайти ЕРС елемента та його внутрішній опір.

**3.269.** Визначити силу струму, що показує амперметр у схемі на рис. 28. Напруга на клеммах елемента в замкнутому колі дорівнює 2,1 В. Опори резисторів відповідно 5 Ом, 6 Ом і 3 Ом. Опором амперметра знехтувати.

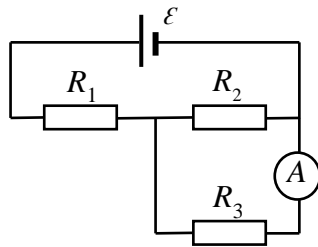


Рис. 28

**3.270.** У схемі (рис. 29) опори другого та третього резисторів дорівнюють відповідно 20 Ом і 15 Ом. Сила струму, що протікає через другий резистор, дорівнює 0,3 А. Амперметр показує 0,8 А. Знайти опір першого резистора.

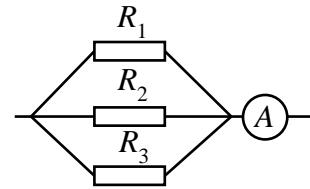


Рис. 29

**3.271.** У схемі (рис. 30) є батарея з ЕРС, що дорівнює 100 В, опори резисторів дорівнюють відповідно 40 Ом, 40 Ом, 80 Ом і 34 Ом. Знайти силу струму, що протікає через другий резистор, і падіння потенціалу на цьому резисторі. Опором батареї знехтувати.

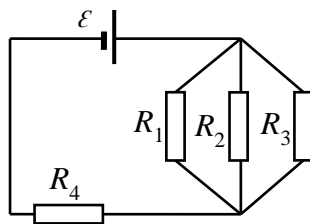


Рис. 30

**3.272.** У схемі (рис. 31) є батарея з ЕРС, що дорівнює 120 В, опори третього та четвертого резисторів дорівнюють відповідно 20 Ом і 25 Ом. Падіння потенціалу на першому резисторі дорівнює 40 В. Амперметр показує 2 А. Знайти опір другого резистору. Опором батареї та амперметра знехтувати.

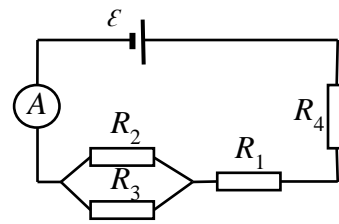


Рис. 31

**3.273.** Яку силу струму показує амперметр у схемі на рис. 31, якщо ЕРС елемента 10 В, внутрішній опір 1 Ом та ККД 0,8? Чому дорівнює падіння потенціалу на другому резисторі, якщо відомо, що падіння потенціалу на першому резисторі дорівнює 4 В і на четвертому – 2 В?

**3.274.** У схемі (рис. 32) є батарея з ЕРС, що дорівнює 100 В, опори резисторів дорівнюють відповідно 100 Ом, 200 Ом та 300 Ом. Яку напругу показує вольтметр, якщо його опір дорівнює 2000 Ом? Опором батареї знехтувати.

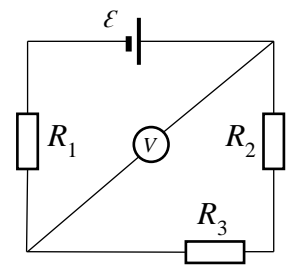


Рис. 32

**3.275.** У схемі (рис. 32) резистори мають однакові опори, що дорівнюють 200 Ом. Вольтметр показує 100 В; опір вольтметра 1000 Ом. Знайти ЕРС батареї. Опором батареї знехтувати.

**3.276.** Знайти показання амперметра та вольтметра у схемах на рис. 33-36. Опір вольтметра 1000 Ом, ЕРС батареї 110 В, опори резисторів дорівнюють відповідно 400 Ом та 600 Ом. Опором батареї та амперметра знехтувати.

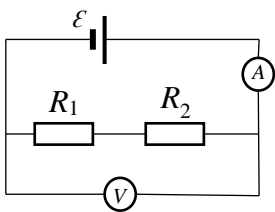


Рис. 33

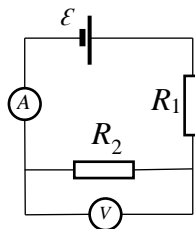


Рис. 34

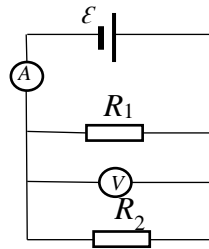


Рис. 35

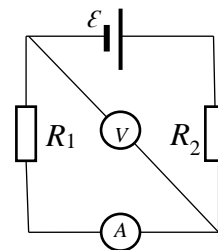


Рис. 36

**3.277.** У схемі (рис. 37) є два елементи з однаковими ЕРС, що дорівнюють 2 В. Внутрішні опори цих елементів дорівнюють відповідно 1 Ом і 2 Ом. Чому дорівнює зовнішній опір, якщо сила струму, що протікає через перший елемент, дорівнює 1 А? Знайти силу струму, що протікає через другий елемент. Знайти силу струму, що протікає через зовнішній опір.

**3.278.** У схемі (рис. 37) є два елементи з однаковими ЕРС, що дорівнюють 4 В. Внутрішні опори цих елементів однакові і дорівнюють 0,5 Ом. Чому дорівнює зовнішній опір, якщо сила струму, що протікає через перший елемент, дорівнює 2 А? Знайти силу струму, що протікає через другий елемент. Знайти силу струму, що протікає через зовнішній опір.

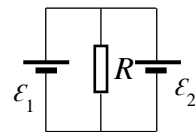


Рис. 37

**3.279.** У схемі (рис. 38) ЕРС елементів дорівнюють відповідно 110 В і 220 В, а опори резисторів – 100 Ом, 100 Ом і 500 Ом. Визначити покази амперметра. Внутрішніми опорами елементів та амперметра знехтувати.

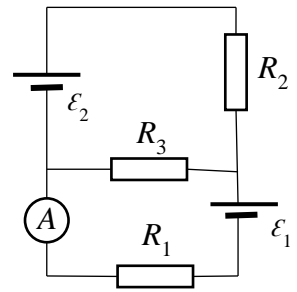


Рис. 38

**3.280.** У схемі (рис. 38) ЕРС елементів дорівнюють відповідно 2 В і 4 В, перший резистор має опір, що дорівнює 0,5 Ом; падіння потенціалу на другому резисторі становить 1 В. Знайти покази амперметра. Внутрішніми опорами елементів і амперметра знехтувати.

**3.281.** У схемі (рис. 38) ЕРС елементів дорівнюють відповідно 30 В і 5 В, а опори другого та третього резистора – відповідно 10 Ом та 20 Ом. Через амперметр протікає струм 1 А, напрямлений від третього до першого резистора. Знайти опір першого резистора. Опорами елементів та амперметра знехтувати.

**3.282.** Яку силу струму показує міліамперметр у схемі на рис. 39, якщо ЕРС елементів дорівнюють відповідно 2 В і 1 В, опори резисторів відповідно 1000 Ом, 500 Ом і 200 Ом, опір амперметра дорівнює 200 Ом? Внутрішнім опором елементів знехтувати.

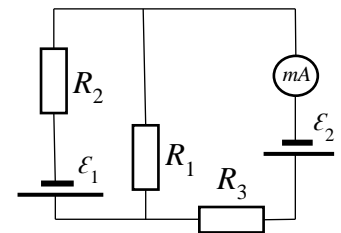


Рис. 39

**3.283.** Яку силу струму показує міліамперметр у схемі на рис. 39, якщо ЕРС елементів становлять відповідно 2 В і 3 В, опори першого та третього резистора відповідно 1500 Ом та 500 Ом і падіння потенціалу на другому резисторі дорівнює 1 В? Опором елементів знехтувати.

**3.284.** У схемі (рис. 40) ЕРС елементів дорівнюють відповідно 2 В, 4 В і 6 В, опори резисторів відповідно 4 Ом, 6 Ом і 8 Ом. Знайти силу струму у всіх ділянках кола. Опором елементів знехтувати.

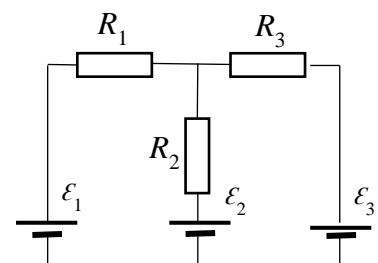


Рис. 40

**3.285.** У схемі (рис. 40) елементи мають однакову ЕРС, що дорівнює 20 В, опори першого та третього резистора 20 Ом і 12 Ом, падіння потенціалу на

другому резисторі дорівнює 6 В. Знайти силу струму у всіх ділянках кола. Знайти опір третього резистора. Внутрішнім опором елементів знехтувати.

**3.286.** У схемі (рис. 40) ЕРС першого елемента становить 25 В. Падіння потенціалу на першому резисторі складає 10 В, дорівнює падінню потенціалу на третьому резисторі і вдвічі більше падіння потенціалу на другому резисторі. Знайти значення ЕРС другого та третього елементів. Внутрішнім опором елементів знехтувати.

**3.287.** У схемі (рис. 41) елементи мають однакову ЕРС, що дорівнює 100 В, опори резисторів відповідно 20 Ом, 10 Ом, 40 Ом і 30 Ом. Визначити покази амперметра.

**3.288.** У схемі (рис. 41) ЕРС першого елемента вдвічі більша, ніж ЕРС другого, опори резисторів дорівнюють відповідно 20 Ом, 20 Ом, 15 Ом і 30 Ом. Амперметр показує 1,5 А. Знайти значення ЕРС елементів, а також сили струмів, що протікають через другий та третій резистори. Опором елементів та амперметра знехтувати.

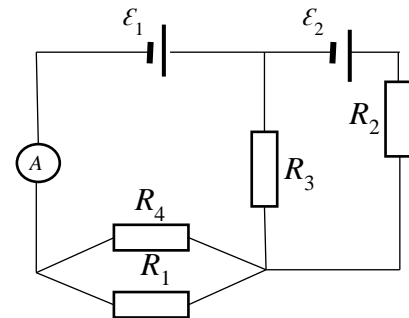


Рис. 41

**3.289.** У схемі (рис. 42) елементи мають однакову ЕРС, що дорівнює 2 В, і однакові внутрішні опори, що дорівнюють 0,5 Ом. Знайти сили струму через перший резистор з опором 0,5 Ом; через другий резистор з опором 1,5 Ом; через перший елемент.

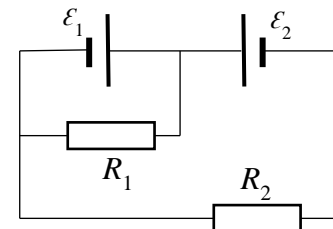


Рис. 42

**3.290.** У схемі (рис. 42) є два елементи з однаковими ЕРС і однаковими внутрішніми опорами. Опір другого резистора 1 Ом. Падіння потенціалу на клеммах першого елемента дорівнює 2 В і вдвічі більше падіння потенціалу на другому елементі. Падіння потенціалу на другому резисторі дорівнює падінню потенціалу на другому елементі. Знайти ЕРС та внутрішні опори елементів.

**3.291.** У схемі (рис. 43) елементи мають однакові ЕРС, що дорівнюють 110 В, резистори мають однакові опори, що дорівнюють 200 Ом, опір

вольтметра становить 1000 Ом. Знайти покази вольтметра. Опором елементів знехтувати.

**3.292.** У схемі (рис. 43) елементи мають однакові ЕРС, резистори мають однакові опори, що дорівнюють 100 Ом. Вольтметр показує 150 В, опір вольтметра 150 Ом. Знайти ЕРС елементів. Опором елементів знехтувати.

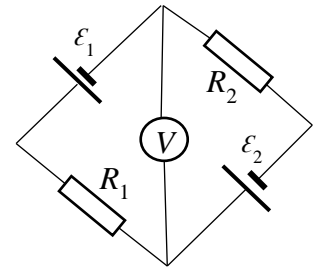


Рис. 43

**3.293.** Яку силу струму показує міліамперметр у схемі на рис. 44, якщо елементи мають однакову ЕРС, що дорівнює 1,5 В, однакові внутрішні опори, що дорівнюють 0,5 Ом, опори резисторів відповідно 2 Ом, 2 Ом і 1 Ом. Опір міліамперметра дорівнює 3 Ом.

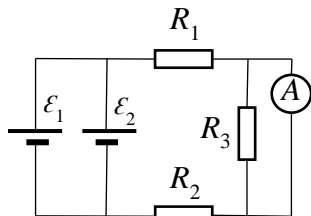


Рис. 44

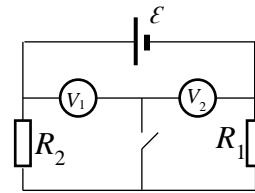


Рис. 45

**3.294.** У схемі (рис. 45) два вольтметри, опори яких дорівнюють відповідно 3000 Ом та 2000 Ом, опори резисторів відповідно 3000 Ом і 2000 Ом, ЕРС елемента 200 В. Знайти покази вольтметрів у випадках, коли ключ розімкнутий і коли він замкнутий. Опором елемента знехтувати. Розв'язати задачу, застосовуючи правила Кірхгофа.

**3.295.** Визначити заряд, що пройшов по резистору з опором 10 Ом, при рівномірному зростанні напруги на кінцях резистора від 1 В до 3 В протягом 10 с.

**3.296.** Визначити силу струму, що споживається електричною лампочкою, при температурі вольфрамової нитки 2000 °С, якщо діаметр нитки 0,02 мм, напруженість електричного поля нитки 800 В/м.

**3.297.** Визначити різницю потенціалів на кінцях ніхромового провідника довжиною 1 м, якщо густина струму, що протікає по ньому,  $2 \cdot 10^8$  А/м<sup>2</sup>.

**3.298.** Визначити питомий опір та матеріал дроту, який намотаний на котушку, що має 500 витків із середнім діаметром витка 6 см, якщо напруга 320 В, а допустима густина струму  $2 \cdot 10^6$  А/м<sup>2</sup>.

**3.299.** Визначити густину струму, що протікає по дроту довжиною 5 м, якщо на кінцях його підтримується різниця потенціалів, що дорівнює 2 В. Питомий опір матеріалу  $2 \cdot 10^{-5}$  Ом·м.

**3.300.** Визначити заряд, що пройшов через резистор за час 10 с, якщо сила струму в резисторі за цей час поступово зростала від 0 до 5 А.

#### **4. Закон Джоуля-Ленца. Робота та потужність струму**

**3.301.** По лінії електропередачі треба передавати потужність 100 кВт на відстань 100 км. Втрати енергії не повинні перевищувати 2 %. Якого мінімального перерізу можна використати алюмінієвий провід, якщо енергія передається при напрузі 5000 В? У скільки разів можна зменшити переріз дротів при підвищенні напруги у 10 разів?

**3.302.** Визначити роботу електричних сил і кількість теплоти, що виділяється за одиницю часу в батареї акумуляторів, якщо струм розрядки на зовнішній опір становить 1 А, ЕРС батареї 2,6 В, а напруга між її клемми 2 В.

**3.303.** Визначити роботу електричного струму та кількість теплоти, що виділяється за 1 с в акумуляторі з ЕРС 1,3 В, при його заряджанні струмом 1 А, якщо на його клемми подається напруга 2 В.

**3.304.** Батарея акумуляторів, ЕРС якої 12 В, заряджається при напрузі 12,5 В струмом 3 А. Вважаючи, що внутрішній опір при зарядці і розрядці однаковий, визначити ККД електричного кола при розрядці струмом: 30 А; 3 А.

**3.305.** Струм 10 А подається до електричної лампочки мідним проводом, площа поперечного перерізу якого  $2,5 \text{ мм}^2$ . Температура розжарення вольфрамової нитки в робочому стані лампочки становить  $2000 \text{ }^\circ\text{C}$ , а її діаметр – 0,08 мм. Визначити питомі потужності струму в нитці розжарювання лампи та у підвідних проводах.

**3.306.** Визначити роботу електричних сил і кількість теплоти, що виділяється протягом 1 с в акумуляторі, який заряджається струмом 1 А, коли напруга між клемми акумулятора дорівнює 1,8 В, а його ЕРС 1,3 В.

**3.307.** Струм 1 А підводиться до електричної лампи мідним проводом з площею поперечного перерізу  $2,5 \text{ мм}^2$ . Діаметр вольфрамової нитки лампи розжарення  $0,08 \text{ мм}$ , а її температура у робочому стані  $2000 \text{ }^\circ\text{C}$ . Визначити у скільки разів густина струму у нитці розжарення лампи більша, ніж у підвідних провідниках. Температурний коефіцієнт опору вольфраму  $0,0045 \text{ K}^{-1}$ .

**3.308.** У резисторі опором  $10 \text{ Ом}$  сила струму рівномірно змінюється від  $10 \text{ А}$  до  $0 \text{ А}$  впродовж  $10 \text{ с}$ . Яка кількість теплоти виділиться у провіднику за  $5 \text{ хв}$ ?

**3.309.** ЕРС батареї  $80 \text{ В}$ , її внутрішній опір  $5 \text{ Ом}$ . Зовнішнє коло споживає потужність  $100 \text{ Вт}$ . Визначити силу струму в електричному колі, напругу на зовнішньому навантаженні та його опір.

**3.310.** Сила струму у провіднику опором  $20 \text{ Ом}$  змінюється лінійно впродовж  $2 \text{ с}$  (рис. 46). Які кількості теплоти  $Q_1$  та  $Q_2$  виділяються у провіднику за першу та другу секунди відповідно?

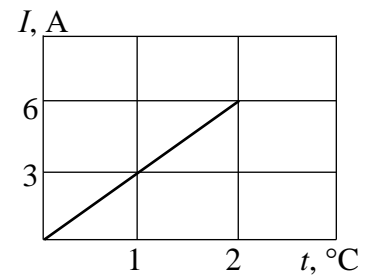


Рис. 46

**3.311.** Визначити кількість теплоти, що виділяється в резисторі опором  $10 \text{ Ом}$  за перші дві секунди, якщо сила струму в ньому за цей час лінійно змінюється від  $0$  до  $4 \text{ А}$ .

**3.312.** У резисторі опором  $20 \text{ Ом}$  сила струму за  $5 \text{ с}$  лінійно зросла від  $5 \text{ А}$  до  $15 \text{ А}$ . Яка кількість теплоти виділилася за цей час?

**3.313.** Яка питома теплова потужність при силі струму  $100 \text{ А}$  виділяється у мідних шинах площею поперечного перерізу  $10 \text{ см}^2$ ?

**3.314.** Визначити густину струму в нікеліновому провіднику, якщо питома теплова потужність, що виділяється у провіднику, становить  $10^4 \text{ Дж}/(\text{м}^3 \cdot \text{с})$ .

**3.315.** ЕРС акумулятора автомобіля  $12 \text{ В}$ . Який його внутрішній опір, якщо при силі струму  $3 \text{ А}$  його ККД становить  $80 \%$ ?

**3.316.** Елемент з ЕРС  $6 \text{ В}$  та внутрішнім опором  $1,5 \text{ Ом}$  замкнутий на зовнішній опір  $8,5 \text{ Ом}$ . Визначити: а) силу струму в колі; б) спади напруги у зовнішній та внутрішній ділянках електричного кола; в) ККД елемента.

- 3.317.** Визначити струм короткого замикання батареї, ЕРС якої 15 В, якщо при підключенні до неї резистора опором 3 Ом в колі протікає струм 4 А.
- 3.318.** Два джерела струму з ЕРС  $\varepsilon_1 = \varepsilon_2 = 2$  В та однаковим внутрішнім опором 0,5 Ом кожен з'єднані послідовно. При якому зовнішньому навантаженні споживана корисна потужність буде найбільшою?
- 3.319.** Два однаких джерела струму з ЕРС 1,5 В та внутрішнім опором 5 Ом з'єднані паралельно. Який опір необхідно під'єднати до них, щоб споживана корисна потужність була максимальною?
- 3.320.** Джерело постійного струму спочатку приєднують до резистора опором 9 Ом, а потім до резистора 16 Ом. В обох випадках кількість теплоти, що виділяється на резисторах за один і той самий час, однакова. Який внутрішній опір джерела струму?
- 3.321.** Електроплитка має дві однакові спіралі. Накреслити можливі схеми підключення цих спіралей і визначити відношення кількостей теплоти, отриманих від плити за один і той самий час, у кожному із випадків.
- 3.322.** За яких умов сила струму в зовнішньому колі буде однаковою при послідовному та паралельному з'єднанні  $N$  однакових елементів? Чому дорівнюватиме відношення споживаних потужностей у цих випадках?
- 3.323.** Впродовж 5 с через резистор опором 10 Ом протікає струм, сила якого рівномірно зростає. У початковий момент сила струму рівна нулю. Визначити заряд, що пройшов за 5 с, якщо кількість теплоти, яка виділилася у резисторі за 5 с, становила 500 Дж.
- 3.324.** Сила струму у резисторі зростає від нуля впродовж 10 с. За цей час виділилось 500 Дж теплоти. Визначити швидкість зміни струму, якщо опір резистора 10 Ом.
- 3.325.** Від джерела струму з ЕРС 500 В треба передати потужність 5 кВт на відстань 1 км. Визначити мінімальні втрати потужності у мережі, якщо діаметр підвідних мідних проводів 0,5 см.

- 3.326.** Визначити кількість електронів, що проходять щосекунди через одиницю площі поперечного перерізу залізного провідника завдовжки 20 м, якщо напруга на його кінцях 16 В.
- 3.327.** ЕРС батареї 24 В. Максимальний струм, що протікає через батарею, 10 А. Визначити максимальну потужність, яка може виділятися у зовнішньому колі.
- 3.328.** При зовнішньому опорі 8 Ом амперметр, увімкнений послідовно з ним, показував 0,8 А, а при опорі 15 Ом його покази зменшилися до 0,5 А. Визначити силу струму короткого замикання джерела ЕРС.
- 3.329.** У мережу з напругою 100 В підключили послідовно котушку, опір якої 2 кОм, та вольтметр. Покази вольтметра 80 В. Коли котушку замінили іншою, то вольтметр показав 60 В. Визначити опір другої котушки.
- 3.330.** ЕРС батареї 12 В. При силі струму 4 А ККД батареї 0,6. Визначити внутрішній опір батареї.
- 3.331.** Сила струму у провіднику рівномірно змінюється від нуля до деякого максимального значення протягом 20 с. За цей час у провіднику виділяється 4 кДж теплоти. Визначити швидкість зміни струму у провіднику, якщо його опір 5 Ом.
- 3.332.** Сила струму у провіднику змінюється за законом  $I = I_0 \cdot e^{-\alpha t}$ . Значення сили струму у початковий момент часу  $I_0 = 20$  А. Визначити кількість теплоти, що виділяється у провіднику протягом 10 с, якщо  $\alpha = 10^2 \text{ с}^{-1}$ .
- 3.333.** Сила струму у провіднику опором 10 Ом впродовж 50 с рівномірно зростає від 4 А до 10 А. Визначити кількість теплоти, що виділилася за цей час у провіднику.
- 3.334.** У провіднику впродовж 10 с при рівномірному зростанні сили струму від 1 А до 2 А виділилося 5 кДж теплоти. Який опір провідника?
- 3.335.** Сила струму у провіднику змінюється з часом за законом  $I = I_0 \cdot e^{-\alpha t}$ . Визначити заряд, що протікає через поперечний переріз провідника за 75 с, якщо  $\alpha = 10^2 \text{ с}^{-1}$ , а початкове значення сили струму 10 А.

**3.336.** Струм у провіднику опором 25 Ом впродовж 10 с рівномірно змінюється від нуля до деякого максимуму. За цей час у провіднику виділяється 40 кДж теплоти. Визначити середнє значення сили струму у провіднику за цей проміжок часу.

**3.337.** По провіднику опором 8 Ом тече струм, який рівномірно зростає. Протягом 8 с у провіднику виділилося 500 Дж теплоти. Визначити заряд, який пройшов за цей час через поперечний переріз провідника, якщо у початковий момент часу сила струму у провіднику дорівнювала нулю.

**3.338.** Сила струму у резисторі опором 10 Ом лінійно змінюється від 0 до 8 А впродовж 4 с. Визначити кількість теплоти, яка виділиться в резисторі за перші 3 с.

**3.339.** Батарея складається з п'яти однакових послідовно з'єднаних елементів. ЕРС та внутрішній опір кожного елемента 1,4 В та 0,3 Ом відповідно. При якому значенні сили струму корисна потужність батареї становитиме 8 Вт? Визначити максимальну корисну потужність батареї.

**3.340.** Який внутрішній опір генератора, якщо відомо, що потужність, яка виділяється у зовнішньому колі, однакова при двох значеннях зовнішнього опору 5 Ом та 0,2 Ом. Визначити ККД генератора у кожному із випадків.

**3.341.** На рис. 47 показана залежність корисної потужності від сили струму в колі. За точками на цій кривій знайти: внутрішній опір елемента; ЕРС елемента; побудувати графік залежності ККД даного елемента від сили струму у колі та графік залежності спаду напруги на зовнішньому навантаженні від сили струму в колі.

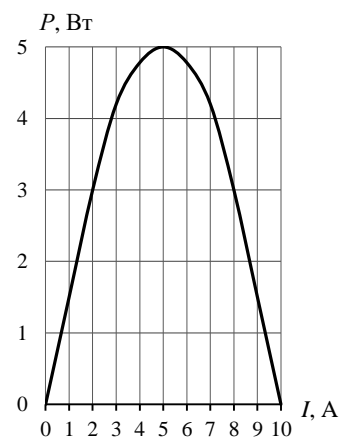


Рис. 47

**3.342.** Джерело струму є замкненим на реостат зі змінним опором  $R$ . Побудувати графік залежності сили струму; напруги; потужності, що виділяється на зовнішньому колі; повної потужності струму та ККД від опору реостата.

**3.343.** Джерело струму спочатку замикають на зовнішній опір 2 Ом, а потім на опір 0,5 Ом. Визначити ЕРС та внутрішній опір елемента, якщо відомо,

що в обох випадках потужність, яка виділяється у зовнішньому колі, рівна 2,54 Вт.

**3.344.** Джерело струму з ЕРС 2 В та внутрішнім опором 0,5 Ом замкнене на реостат. Побудувати графіки залежності: а) сили струму в колі від опору; б) напруги на затискачах джерела від опору; в) потужності, що виділяється у зовнішньому колі, від опору. Опір прийняти в межах  $0 \leq R \leq 4$  Ом через кожні 0,5 Ом.

**3.345.** Елемент, ЕРС якого  $\varepsilon$  і внутрішній опір  $r$ , замкнутий на зовнішній опір  $R$ . При силі струму 3 А потужність у зовнішньому колі досягла максимального значення 9 Вт. Визначити за цими даними величини  $\varepsilon$  і  $r$ .

**3.346.** У схемі (рис. 48) батарея має ЕРС 120 В, опори  $R_2 = 60$  Ом,  $R_3 = 30$  Ом. Амперметр показує струм 2 А. Визначити потужність, яка виділяється на резисторі  $R_1$ . Опорами батареї та амперметра знехтувати.

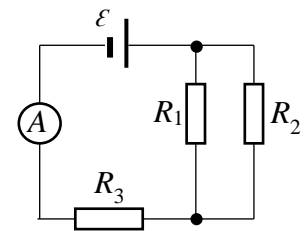


Рис. 48

**3.347.** Визначити покази амперметра у схемі на рис. 48, якщо ЕРС батареї дорівнює 100 В, її внутрішній опір 2 Ом. Опори  $R_1$  і  $R_2$  дорівнюють 25 Ом та 78 Ом відповідно. Потужність, що виділяється на опорі  $R_1$ , дорівнює 16 Вт. Опором амперметра знехтувати.

**3.348.** У схемі (рис. 49) резистори номіналами  $R_1 = 25$  Ом,  $R_2 = R_3 = 100$  Ом приєднано до батареї з ЕРС 120 В. Визначити потужність, яка виділяється на резисторі  $R_1$ . Опором батареї знехтувати.

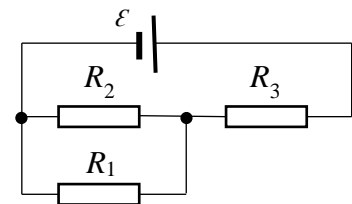


Рис. 49

**3.349.** ККД джерела струму 80% (рис. 49). На резисторі номіналом  $R_1 = 100$  Ом виділяється потужність 16 Вт, а спад напруги 40 В. Визначити ЕРС генератора.

**3.350.** У схемі (рис. 50) до батареї з ЕРС 120 В під'єднано  $AB$  – потенціометр опором 120 Ом та  $L$  – електричну лампочку, опір якої змінюється під час нагрівання від 30 Ом до 300 Ом. На скільки змінюється при цьому різниця потенціалів на клеммах лампочки, якщо рухомий контакт  $C$  встановлений

посередині потенціометра? В яких межах змінюється споживана потужність?

**3.351.** Два провідники з опорами 5 Ом та 3 Ом відповідно приєднують до джерела постійної напруги 9 В спочатку послідовно, а потім паралельно. Визначити у обох випадках кількість теплоти, яка виділяється щосекунди у кожному із провідників.

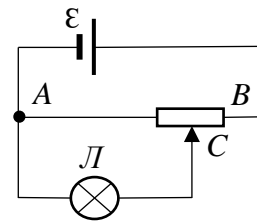


Рис. 50

**3.352.** Дві електричні лампочки увімкнені до мережі паралельно. Опір однієї лампочки 360 Ом, іншої – 240 Ом. Яка із лампочок споживає більшу потужність? У скільки разів?

**3.353.** Скільки води можна закип'ятити, витрачаючи 3 кВт·год електроенергії, якщо початкова температура води 10 °С? Втратами теплоти на нагрівання посудини, випромінювання тощо знехтувати.

**3.354.** Яку потужність споживає нагрівач електричного чайника, якщо 1 л води закипає через 5 хв? Яким є опір нагрівача, якщо напруга в мережі 220 В? Початкова температура води 15 °С. Втратами теплоти на нагрівання посудини, випромінювання тощо знехтувати.

**3.355.** На електроплитці потужністю 1,5 кВт стоїть чайник, у якому міститься 1,5 л води за кімнатної температури 20 °С. Після увімкнення електроплитки вода у чайнику закипіла через 10 хв. Яка кількість теплоти втрачається на нагрівання самого чайника, на випромінювання тощо?

**3.356.** Електрична каструля має дві однакові секції опором 20 Ом кожна. Через який час закипить 2,2 л води, якщо: а) увімкнена одна секція; б) увімкнені послідовно обидві секції; в) увімкнені паралельно обидві секції? Початкова температура води 20 °С, напруга в мережі 220 В, ККД нагрівача 85 %.

**3.357.** Електричний чайник має дві обмотки. При увімкненні однієї з них вода закипає в чайнику через 15 хв, при увімкненні іншої – через 0,5 год. Через який час закипить вода у чайнику, якщо обидві обмотки увімкнуті: а) послідовно; б) паралельно?

**3.358.** Від батареї, ЕРС якої дорівнює 110 В, потрібно передати енергію на відстань 2,5 км. Споживана потужність 10 кВт. Визначити мінімальні втрати потужності у лінії, якщо діаметр мідних підвідних проводів дорівнює 1,5 см.

**3.359.** Від генератора з ЕРС 110 В, потрібно передати енергію на відстань 250 м. Потужність, що споживається, дорівнює 10 кВт. Який мінімальний діаметр підвідних проводів, якщо втрати потужності у мережі становлять 1 %?

**3.360.** У електричне коло увімкнені послідовно мідний і сталевий дроти однакової довжини та діаметра. Визначити відношення кількості теплоти, яка виділяється у провідниках.

**3.361.** У електричне коло увімкнені паралельно мідний і сталевий дроти однакової довжини та діаметра. Визначити відношення кількості теплоти, яка виділяється у провідниках.

**3.362.** Струм короткого замикання джерела струму з ЕРС 6 В становить 3 А. Визначити максимальну кількість теплоти, яка може виділятися у зовнішньому навантаженні щохвилини.

**3.363.** Визначити загальну потужність, корисну потужність та ККД джерела струму, ЕРС і внутрішній опір якого 240 В та 1 Ом відповідно. Джерело струму замкнене на зовнішній опір 23 Ом.

**3.364.** Для нагрівання 4,5 л води від 23 °С до кипіння нагрівач споживає 0,5 кВт·год електричної енергії. Який ККД цього нагрівача?

**3.365.** “Тепла” підлога виконана одножильним нагрівальним кабелем довжиною 100 м, виготовленим із нікелінового дроту діаметром 1,3 мм. Питомий опір нікеліну  $40 \cdot 10^{-8}$  Ом·м. Яку потужність споживає система електричного обігріву підлоги, розрахована на номінальну напругу 220 В?

**3.366.** Температура водяного термостата місткістю 1 л підтримується незмінною за допомогою нагрівача потужністю 26 Вт, ККД якого 80%. На скільки знизиться температура води у термостаті за 10 хв, якщо нагрівач вимкнута?

**3.367.** Від генератора з ЕРС 40 В і внутрішнім опором 0,04 Ом струм надходить по мідному кабелю перерізом 170 мм<sup>2</sup> до місця електрозварювання, віддаленого від генератора на 50 м. Знайдіть напругу на затискачах генератора та на зварювальному апараті, якщо сила струму в колі дорівнює 200 А. Яка потужність зварювальної дуги?

**3.368.** Електродвигун при напрузі 220 В споживає струм силою 20 А. Опір його обмоток 0,75 Ом. Яка потужність споживається при нагріванні електродвигуна? Яка величина спожитої електроенергії за 5 хв?

**3.369.** У ртутному дифузійному насосі щохвилини випаровується 100 г ртуті. Чому повинен бути рівний опір нагрівача насоса, якщо нагрівач вмикається у мережу з напругою 220 В? Теплота пароутворення ртуті  $2,96 \cdot 10^5$  Дж/кг.

**3.370.** Електричний проточний водонагрівач продуктивністю 2,2 л/хв має коефіцієнт корисної дії 80 %. Холодна вода, яка подається на вхід водонагрівача, має температуру 14 °С, а температура нагрітої води, що витікає, рівна 40 °С. Яка потужність такого водонагрівача?

**3.371.** Яка кількість теплоти виділяється щосекунди одиницею об'єму мідного дроту при густині струму 30 А/см<sup>2</sup>?

### *Магніостатика*

#### **5. Закон Ампера. Сила Лоренца. Дія магнітного поля на контури зі струмом та рухомі заряди**

**3.372.** Як слід розмістити алюмінієвий провідник із площею поперечного перерізу  $3,78 \cdot 10^{-9}$  м<sup>2</sup>, по якому протікає струм 1 А, відносно горизонтально розташованого провідника зі струмом 5 А, щоб алюмінієвий провідник знаходився в рівновазі?

**3.373.** Розрахувати радіус дуантів циклотрона, індукція магнітного поля в якому 1 Тл, якщо він прискорює протони до енергії 10 МеВ.

**3.374.** Електрон, що має початкову швидкість  $10^5$  м/с, влітає у простір, у якому створено два взаємно перпендикулярні магнітні поля, індукції яких

0,3 мкТл і 0,4 мкТл відповідно. Визначити подальшу траєкторію руху електрона, якщо вектори індукції магнітних полів перпендикулярні до вектора швидкості електрона.

**3.375.** Заряджена частинка, що має енергією 16 МеВ, рухається в однорідному магнітному полі з індукцією 2,4 Тл по колу радіуса 24,5 см. Визначити заряд цієї частинки, якщо її швидкість  $2,72 \cdot 10^7$  м/с.

**3.376.** Визначити поперечний переріз прямолінійного алюмінієвого провідника, що рухається із прискоренням  $0,4$  м/с<sup>2</sup> в однорідному магнітному полі з індукцією  $2,2 \cdot 10^{-4}$  Тл. По провіднику протікає струм 4 А, напрям якого перпендикулярний до вектора індукції магнітного поля.

**3.377.** Як треба розташувати прямолінійний алюмінієвий провідник зі струмом у однорідному горизонтальному магнітному полі з індукцією 0,04 Тл, щоб він перебував у рівновазі? Діаметр провідника 2 мм, сила струму 10 А.

**3.378.** У однорідному горизонтальному магнітному полі знаходиться незакріплений прямолінійний мідний провідник зі струмом 10 А, який перебуває у рівновазі. Яка напруженість магнітного поля, якщо діаметр провідника 4 мм?

**3.379.** Всередині довгого соленоїда перпендикулярно до його осі розташований провідник завдовжки 5 см, по якому протікає струм 10 А. Яка сила діятиме на цей провідник з боку магнітного поля соленоїда, якщо його обмотка має 25 витків на 1 см довжини, а сила струму, що протікає у його витках, 5 А?

**3.380.** Електрон з енергією 0,5 кеВ рухається у вакуумі в однорідному магнітному полі, напруженість якого 1 кА/м, перпендикулярно до його силових ліній. Визначити радіус кривизни траєкторії електрона, його швидкість та силу Лоренца, що діє на заряд.

**3.381.** Якою має бути швидкість електрона, щоб його траєкторія була прямолінійною під час його руху у взаємно перпендикулярних однорідних магнітному ( $H = 100$  А/м) та електричному ( $E = 500$  В/м) полях?

**3.382.** Протон влітає у магнітне поле перпендикулярно до його силових ліній та описує дугу радіуса 10 см. Визначити швидкість протона, якщо індукція магнітного поля 1 Тл.

**3.383.** Яка частота обертання електрона по колу у магнітному полі з індукцією 1 Тл?

**3.384.** Електрон в однорідному магнітному полі рухається вздовж гвинтової лінії з кроком 20 см та радіусом 5 см. Визначити швидкість електрона, якщо магнітна індукція 0,1 мТл.

**3.385.** У однорідне магнітне поле з індукцією 0,01 Тл поміщений прямий провідник завдовжки 20 см. Визначити силу, що діє на провідник, якщо по ньому протікає струм 50 А, а кут між напрямком струму та вектором магнітної індукції дорівнює  $30^\circ$ .

**3.386.** Електрон рухається в однорідному магнітному полі перпендикулярно до силових ліній індукції. Визначити силу, яка діє на електрон з боку поля, якщо його індукція 0,2 Тл, а радіус кривизни траєкторії руху електрона 0,2 см.

**3.387.** Заряджена частинка, що має кінетичну енергію 2 кеВ, рухається у однорідному магнітному полі по коловій траєкторії радіуса 4 мм. Визначити силу Лоренца, що діє частинку з боку поля.

**3.388.** Електрон рухається по колу в однорідному магнітному полі, напруженість якого  $5 \cdot 10^3$  А/м. Визначити частоту обертання електрона.

**3.389.** Електрон рухається в магнітному полі з індукцією 4 мТл по колу радіуса 0,8 см. Визначити кінетичну енергію електрона.

**3.390.** Протон, що влетів під кутом  $60^\circ$  до напрямку силових ліній однорідного магнітного поля, рухається вздовж спіралі, радіус якої 2,5 см. Індукція магнітного поля 0,05 Тл. Яка кінетична енергія протона?

**3.391.** Протон та  $\alpha$ -частинка, що прискорені однаковою різницею потенціалів, влітають у однорідне магнітне поле. У скільки разів радіус кривизни траєкторії протона більший за радіус кривизни траєкторії  $\alpha$ -частинки?

**3.392.** Два однаково заряджені йони прискорюються однаковою різницею потенціалів і влітають у однорідне магнітне поле перпендикулярно до силових ліній індукції. Один йон, маса якого 12 а.о.м., описав дугу кола радіуса 12 см. Визначити масу іншого іона (а.о.м.), який описав дугу радіусом 2,31 см.

**3.393.** Протон рухається по колу в однорідному магнітному полі з індукцією 2 Тл. Визначити силу еквівалентного колового струму, що створюється рухом протона.

**3.394.** Ядро атома гелію  ${}^4\text{He}$  влітає у однорідне магнітне поле з індукцією 0,2 Тл під кутом  $30^\circ$  до напрямку силових ліній. Визначити силу, що діє на заряджену частинку з боку магнітного поля, якщо її швидкість  $10^5$  м/с.

**3.395.** Частинка, що несе один елементарний заряд, влетіла у однорідне магнітне поле з індукцією 0,01 Тл. Визначити момент імпульсу, який вона має при русі у магнітному полі, якщо траєкторія її руху є дугою кола радіусом 0,5 мм.

**3.396.** Електрон прискорюється різницею потенціалів 400 В і потрапляє у однорідне магнітне поле напруженістю  $10^3$  А/м. Визначити радіус кривизни траєкторії та частоту обертання електрона у магнітному полі, якщо вектор швидкості перпендикулярний до силових ліній поля.

**3.397.** У однорідному магнітному полі з індукцією 0,01 Тл розміщено прямий провідник довжиною 20 см. Визначити силу, що діє на провідник, якщо по ньому тече струм 50 А, а кут між напрямком струму та вектором магнітної індукції складає  $30^\circ$ .

**3.398.** Рамка містить 20 витків тонкого дроту. Сила струму, що протікає у рамці, 5 А. Визначити магнітний момент рамки зі струмом, якщо її площа контуру  $10\text{ см}^2$ .

**3.399.** По витку радіусом 10 см тече струм силою 30 А. Виток поміщений у однорідне магнітне поле з індукцією 0,2 Тл. Визначити момент сили, що діє на виток, якщо площина витка складає з лініями індукції кут  $60^\circ$ .

**3.400.** Протон влетів у магнітне поле перпендикулярно до силових ліній та описав дугу радіусом 10 см. Визначити швидкість протона, якщо магнітна індукція 1 Тл.

**3.401.** Визначити частоту обертання електрона по коловій орбіті у магнітному полі з індукцією 1 Тл.

**3.402.** Електрон у однорідному магнітному полі рухається гвинтовою лінією радіусом 5 см з кроком 20 см. Визначити швидкість електрона, якщо магнітна індукція 0,1 мТл.

**3.403.** Дротовий виток радіусом 25 см розташований у площині магнітного меридіана. У центрі встановлено невелику магнітну стрілку, яка може обертатися навколо вертикальної осі. На який кут відхилиться стрілка, якщо по витку пропустити струм силою 15 А? Горизонтальну складову індукції магнітного поля Землі прийняти рівною 20 мкТл.

**3.404.** Паралельними провідниками завдовжки 2 м кожен протікають однакові струми силою 200 А. Відстань між провідниками 16 см. Визначити силу, що діє на одиницю довжини кожного провідника.

**3.405.** Три паралельними прямими провідниками, які знаходяться на однаковій відстані 3 см один від одного, протікають однакові струми силою 100 А. У двох провідниках напрямки струмів збігаються. Визначити силу, що діє на одиницю довжини кожного із провідників.

**3.406.** Квадратна дротяна рамка розташована в одній площині із довгим прямим провідником так, що дві її сторони паралельні провіднику. У рамці та у провіднику протікають однакові струми силою 100 А. Визначити силу, що діє на рамку, якщо ближча до провідника сторона рамки знаходиться від нього на відстані, що дорівнює її довжині.

**3.407.** Магнітна стрілка, що міститься у центрі колового витка, площина якого розташована вертикально, становить кут  $90^\circ$  із площиною магнітного меридіана. Радіус витка 20 см. Визначити кут, на який повернеться магнітна стрілка, якщо по провіднику протікає струм 26 А (дати дві відповіді). Горизонтальна складова індукції магнітного поля Землі 20 мкТл.

**3.408.** Напруженість магнітного поля у центрі колового витка 500 А/м. Магнітний момент витка  $6 \text{ А}\cdot\text{м}^2$ . Обчислити радіус витка та силу струму, що протікає у ньому.

**3.409.** Провідник, що має довжину 1 м і масу 10 г, підвісили на тонких дротиках. Під час проходження по ньому струму в 2 А він відхилився в однорідному вертикальному полі так, що дротики утворили кут  $30^\circ$  з вертикаллю. Яка індукція магнітного поля?

**3.410.** Альфа-частинка з кінетичною енергією 0,5 кеВ влітає перпендикулярно до силових ліній однорідного магнітного поля, індукція якого 1 Тл. Визначити: силу, яка діє на частинку; радіус кривизни траєкторії її руху та період обертання.

**3.411.** Йон, потрапивши в магнітне поле з індукцією 0,01 Тл, почав рухатися по колу. Визначити його кінетичну енергію, якщо магнітний момент еквівалентного колового струму  $1,6\cdot 10^{-14} \text{ А}\cdot\text{м}^2$ .

**3.412.** Протон влітає у схрещені під кутом  $120^\circ$  магнітне ( $B = 50 \text{ мТл}$ ) та електричне ( $E = 20 \text{ кВ/м}$ ) поля. Визначити прискорення протона, якщо його швидкість  $4\cdot 10^5 \text{ м/с}$  перпендикулярна до векторів напруженостей магнітного та електричного полів.

**3.413.** Йон, який прискорився різницею потенціалів 645 В, влетів у схрещені під прямим кутом однорідні магнітне ( $B = 1,5 \text{ мТл}$ ) та електричне ( $E = 200 \text{ В/м}$ ) поля. Визначити питомий заряд йона, якщо він рухається прямолінійно.

**3.414.** Альфа-частинка влетіла в схрещені під прямим кутом магнітне ( $B = 5 \text{ мТл}$ ) і електричне ( $E = 30 \text{ кВ/м}$ ) поля. Визначити прискорення альфа-частинки, якщо її швидкість  $2\cdot 10^5 \text{ м/с}$  перпендикулярна до векторів напруженості магнітного і електричного полів, причому сили, що діють з боку цих полів, спрямовані протилежно.

**3.415.** Електрон, прискорившись різницею потенціалів 1,2 кВ, потрапив у схрещені під прямим кутом однорідні магнітне та електричне поля. Визначити напруженість електричного поля, якщо магнітна індукція 66 мТл.

**3.416.** Однорідні магнітні ( $B = 2,5$  мТл) та електричне ( $E = 10$  кВ/м) поля схрещені під прямим кутом. Електрон зі швидкістю  $4 \cdot 10^6$  м/с влітає у ці поля так, що сили, які діють на нього з боку магнітного та електричного полів, мають однаковий напрям. Визначити прискорення електрона.

**3.417.** Однозарядний йон літію масою  $7$  а.о.м. прискорюється різницею потенціалів  $300$  В і влітає у схрещені під прямим кутом однорідні магнітне та електричне поля. Визначити магнітну індукцію поля, якщо траєкторія йона у схрещених полях є прямолінійною. Напруженість електричного поля  $2$  кВ/м.

**3.418.** Протон влітає зі швидкістю  $6$  км/с у простір з електричним і магнітним полями, напрями яких збігаються, перпендикулярно до цих полів. Знайдіть напруженість електричного поля, якщо індукція магнітного поля  $1$  Тл, а початкове прискорення протона, спричинене дією цих полів, дорівнює  $10^{12}$  м/с<sup>2</sup>.

**3.419.** Протон прискорився різницею потенціалів і влетів у схрещені під прямим кутом однорідні магнітне ( $B = 5$  мТл) та електричне ( $E = 20$  кВ/м) поля. Визначити різницю потенціалів, якщо протон у схрещених полях рухається прямолінійно.

**3.420.** Однорідні магнітне ( $B = 2$  мТл) та електричне ( $E = 1,6$  кВ/м) поля мають однаковий напрям. Перпендикулярно до силових ліній обох полів влітає електрон зі швидкістю  $0,8 \cdot 10^6$  м/с. Визначити прискорення електрона.

**3.421.** У схрещені перпендикулярні однорідні магнітне ( $H = 10^3$  А/м) та електричне ( $E = 50$  кВ/м) поля влетів йон. При якій швидкості (за модулем та напрямом) він рухатиметься прямолінійно?

**3.422.** Протон рухається по колу радіусом  $0,5$  см з лінійною швидкістю  $10^6$  м/с. Визначити магнітний момент, що створюється еквівалентним коловим струмом.

**3.423.** Тонке кільце радіусом  $10$  см має рівномірно розподілений заряд  $80$  нКл. Кільце обертається із кутовою швидкістю  $50$  рад/с відносно осі, що збігається з одним із діаметрів кільця. Визначити магнітний момент, який обумовлений обертанням кільця.

**3.424.** Заряд  $0,1$  мкКл рівномірно розподілений вздовж стрижня завдовжки  $50$  см, який обертається із кутовою швидкістю  $20$  рад/с відносно осі, що перпендикулярна до стрижня та проходить через його середину. Визначити магнітний момент, що обумовлений обертанням стрижня.

**3.425.** Електрон в атомі водню рухається навколо ядра (протона) по колу радіусом  $53$  пм. Визначити магнітний момент еквівалентного колового струму.

**3.426.** Суцільний циліндр радіусом  $4$  см та висотою  $15$  см несе рівномірно розподілений по об'єму заряд  $0,1$  мкКл/м<sup>3</sup>. Циліндр обертається із частотою  $10$  с<sup>-1</sup> відносно осі, що збігається з його геометричною віссю. Знайти магнітний момент циліндра, обумовлений його обертанням.

**3.427.** По поверхні диска радіусом  $15$  см рівномірно розподілений заряд  $0,2$  мкКл. Диск обертається із кутовою швидкістю  $30$  рад/с відносно осі, яка перпендикулярна до площини диска і проходить через його центр. Визначити магнітний момент, обумовлений обертанням диска.

**3.428.** По тонкому стрижню довжиною  $l = 40$  см рівномірно розподілений заряд  $60$  нКл. Стрижень обертається із частотою  $12$  с<sup>-1</sup> відносно осі, яка перпендикулярна до стрижня і проходить через стрижень на відстані  $l/3$  від одного з його кінців. Визначити магнітний момент, що зумовлений обертанням стрижня.

**3.429.** Два йони різних мас із однаковими зарядами влетіли в однорідне магнітне поле і почали рухатися по колах радіусами  $3$  см і  $1,73$  см. Визначити відношення мас йонів, якщо вони прискорились однаковою різницею потенціалів.

**3.430.** Однозарядний йон натрію прискорився різницею потенціалів  $1$  кВ і влетів перпендикулярно до силових ліній однорідного магнітного поля з індукцією  $0,5$  Тл. Яка маса йона, якщо він описав коло радіуса  $4,37$  см?

**3.431.** Електрон влітає в однорідне магнітне поле під кутом  $30^\circ$  до поля, маючи швидкість  $4,5 \cdot 10^7$  м/с, і рухається по спіралі сталого радіуса. Індукція магнітного поля  $0,01$  Тл. Визначити радіус витка спіралі та її крок.

**3.432.** Альфа-частинка прискорена електричним полем з різницею потенціалів  $300$  В, потрапивши в однорідне магнітне поле, почала рухатися по гвинтовій лінії радіусом  $1$  см і кроком  $4$  см. Визначити магнітну індукцію поля.

**3.433.** Заряджена частинка прискорена електричним полем з різницею потенціалів 100 В, влетівши в однорідне магнітне поле ( $B = 0,1$  Тл), почала рухатися по гвинтовій лінії з кроком 6,5 см та радіусом 1 см. Визначити відношення заряду частинки до її маси.

**3.434.** Електрон влетів у однорідне магнітне поле ( $B = 200$  мТл) перпендикулярно до ліній магнітної індукції. Визначити силу еквівалентного колового струму, який створюється рухом електрона в магнітному полі.

**3.435.** Протон, прискорений електричним полем з різницею потенціалів 300 В, влітає у однорідне магнітне поле ( $B = 20$  мТл) під кутом  $30^\circ$  до ліній магнітної індукції. Визначити крок і радіус гвинтової лінії, вздовж якої буде рухатися протон у магнітному полі.

**3.436.** Визначити, якою різницею потенціалів була прискорена  $\alpha$ -частинка, якщо вона почала рухатися в однорідному магнітному полі ( $B = 50$  мТл) вздовж гвинтової лінії з кроком 5 см і радіусом 1 см.

**3.437.** Паралельними провідниками завдовжки 3 см кожен протікають однакові струми 300 А. Відстань між ними 10 см. Визначити силу взаємодії між провідниками.

**3.438.** Три паралельні прямі провідники знаходяться на однаковій відстані 20 см один від одного, по кожному з них протікають однакові струми 400 А. У двох провідниках напрями струмів збігаються. Обчислити для кожного із провідників відношення сили, що діє на нього, до його довжини.

**3.439.** Квадратна дротяна рамка розташована в одній площині з довгим прямим провідником так, що дві її сторони паралельні провіднику. По рамці і провіднику протікають однакові струми 200 А. Визначити силу, яка діє на рамку, якщо найближча до дроту сторона рамки знаходиться від нього на відстані, що дорівнює її довжині.

**3.440.** Коротка котушка з поперечним перерізом  $250$  см<sup>2</sup> містить 500 витків дроту, по якому протікає струм 5 А. Котушка поміщена в однорідне магнітне поле напруженістю 1000 А/м. Визначити: магнітний момент котушки; обертальний момент, що діє на котушку, якщо вісь котушки складає з лініями поля кут  $30^\circ$ .

**3.441.** Тонкий провідник завдовжки 20 см вигнутий у вигляді півкільця та поміщений у магнітне поле ( $B = 10$  мТл) так, що площина півкільця перпендикулярна до ліній магнітної індукції. По провіднику пропустили струм силою 30 А. Визначити силу, яка діє на провідник. Підвідні дроти мають напрям вздовж ліній магнітної індукції.

**3.442.** Шини генератора довжиною 4 м знаходяться на відстані 10 см одна від одної. Визначити силу взаємного відштовхування шин під час короткого замикання, якщо струм короткого замикання становить 5 кА.

**3.443.** Тонке провідне кільце радіусом 20 см, по якому протікає струм 40 А, поміщене у однорідне магнітне поле ( $B = 60$  мТл). Площина кільця перпендикулярна до ліній магнітної індукції. Визначити силу, що розтягує кільце.

**3.444.** По тонкому кільцю радіуса 10 см рівномірно розподілений заряд із лінійною густиною 50 нКл/м. Кільце обертається із частотою  $10 \text{ с}^{-1}$  відносно осі, яка перпендикулярна до його площини та проходить через його центр. Визначити магнітний момент, обумовлений обертанням кільця.

**3.445.** Електрон рухається в напрямі силових ліній однорідного поля, напруженість якого приблизно рівна 1,2 В/см. Яку відстань він пролетить у вакуумі до повної втрати швидкості, коли його початкова швидкість 1000 км/с. Який час триватиме цей політ?

**3.446.** Стрижень завдовжки 20 см заряджений рівномірно розподіленим зарядом із лінійною густиною 0,2 мкКл/м. Стрижень обертається з частотою  $10 \text{ с}^{-1}$  відносно осі, яка перпендикулярна до стрижня і проходить через його кінець. Визначити магнітний момент, обумовлений обертанням стрижня.

**3.447.** Із дроту завдовжки 20 см виготовлені контури: квадратний та коловий. По контурах протікає струм 2 А. Визначити обертальний момент сили, що діє на кожен контур, який поміщений у однорідне магнітне поле з індукцією 0,1 Тл. Площина кожного контуру становить із напрямом магнітного поля кут  $45^\circ$ .

**3.448.** Алюмінієвий провідник із поперечним перерізом  $1 \text{ мм}^2$  підвішений у горизонтальній площині перпендикулярно до ліній магнітного меридіана. Горизонтальна складова напруженості магнітного поля Землі дорівнює

15 А/м. Сила струму у провіднику (протікає із заходу на схід) 1,6 А. Яку частину ваги провідника становить сила, що діє на нього з боку магнітного поля Землі? На скільки зменшується вага метрового провідника внаслідок цієї сили?

**3.449.** Котушка гальванометра, що містить 400 витків тонкого дроту, який намотаний на прямокутний каркас довжиною 3 см і шириною 2 см, підвішена на нитці у магнітному полі з індукцією 0,1 Тл. По котушці протікає струм силою 10 А. Визначити обертальний момент, що діє на котушку гальванометра, якщо площина котушки складає  $60^\circ$  із напрямом силових ліній магнітного поля.

**3.450.** На відстані 20 см від довгого прямолінійного вертикального дроту на тонкій нитці довжиною 1 м і діаметром 0,1 мм висить коротка магнітна стрілка, магнітний момент якої дорівнює  $0,01 \text{ А}\cdot\text{м}^2$ . Стрілка знаходиться у площині, що проходить через дріт та нитку. На який кут повернеться стрілка, якщо по дроту пропустити струм силою 30 А? Модуль зсуву матеріалу нитки 5,9 ГПа. Система екранована від магнітного поля Землі.

**3.451.** Котушка гальванометра, що містить 600 витків дроту, підвішена на нитці довжиною 10 см і діаметром 0,1 мм у магнітному полі напруженістю  $16\cdot 10^4 \text{ А/м}$  так, що її площина паралельна до напрямку силових ліній магнітного поля. Довжина та ширина рамки котушки 2,2 см та 1,9 см відповідно. Який струм протікає по обмотці котушки, якщо вона повернулася кут, що дорівнює  $0,5^\circ$ ? Модуль зсуву матеріалу нитки 5,9 ГПа.

**3.452.** Електрон, прискорений різницею потенціалів 1000 В, влітає у однорідне магнітне поле, що перпендикулярне до напрямку його руху. Індукція магнітного поля дорівнює  $1,19\cdot 10^{-3} \text{ Тл}$ . Визначити радіус кривизни траєкторії електрона та період його обертання по колу.

**3.453.** Електрон, прискорений різницею потенціалів 300 В, рухається паралельно до прямолінійного довгого дроту на відстані 4 мм від нього. Яка сила діятиме на електрон, якщо по провіднику пропустити струм силою 5 А?

**3.454.** На рис. 51 показано мідний диск ( $A$ ) радіусом 5 см, площина якого перпендикулярна до напрямку силових ліній магнітного поля з індукцією 0,2 Тл. Струм 5 А проходить вздовж радіуса диска  $av$  ( $a$  та  $v$  ковзні контакти). Диск обертається із частотою  $2 \text{ с}^{-1}$ . Визначити обертальний момент, що діє на диск.

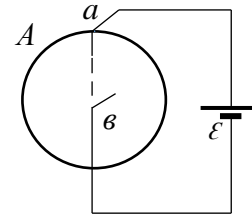


Рис. 51

**3.455.** Однорідний мідний диск  $A$  (рис. 51) масою 0,35 кг поміщений у магнітне поле з індукцією  $2,4 \cdot 10^{-2}$  Тл так, що площина диска перпендикулярна до силових ліній поля. При замиканні кола  $ava$  диск починає обертатися і через 30 с після початку обертання досягає швидкості, що відповідає частоті 5 об/с. Яка сила струму у колі?

**3.456.** Визначити потік вектора магнітної індукції, що перетинається радіусом  $av$  диска  $A$  (рис. 51) за 1 хв обертання. Радіус диска дорівнює 10 см, індукція магнітного поля 0,1 Тл. Диск обертається із частотою 5,3 об/с.

**3.457.** Потік  $\alpha$ -частинок, прискорених різницею потенціалів 1 МВ, влітає у однорідне магнітне поле, напруженість якого 1,2 кА/м, перпендикулярно до силових ліній магнітного поля. Визначити силу, що діє на кожну частинку.

**3.458.** Електрон, що має швидкість  $4 \cdot 10^7$  м/с влітає в однорідне магнітне поле з індукцією  $10^{-3}$  Тл перпендикулярно до силових ліній поля. Чому дорівнює тангенціальне та нормальне прискорення електрона у магнітному полі?

**3.459.** Визначити кінетичну енергію протона, що рухається по дузі кола радіусом 60 см у магнітному полі, індукція якого дорівнює 1 Тл.

**3.460.** Протон і електрон, які рухаються із рівними швидкостями, потрапляють у однорідне магнітне поле. Напрями швидкостей частинок перпендикулярні до силових ліній поля. У скільки разів радіус кривизни траєкторії протона більший за радіус кривизни траєкторії руху електрона?

**3.461.** Протон і електрон, прискорені однаковою різницею потенціалів, влітають у однорідне магнітне поле. Швидкість частинок напрямлена перпендикулярно до силових ліній поля. У скільки разів радіус кривизни траєкторії протона більший за радіус кривизни траєкторії руху електрона?

**3.462.** Камеру Вільсона помістили у магнітне поле, індукція якого 0,01 Тл. На фотографії, що одержали в камері, трек електрона являє собою дугу кола радіусом 10 см. Визначити енергію електрона.

**3.463.** Заряджена частинка рухається у магнітному полі по колу радіусом 4 см зі швидкістю  $10^6$  м/с. Визначити заряд частинки, якщо відомо, що її енергія 12 кеВ. Індукція магнітного поля складає 0,3 Тл.

**3.464.** Протон і  $\alpha$ -частинка влітають в однорідне магнітне поле. Швидкість частинок напрямлена перпендикулярно до силових ліній поля. У скільки разів період обертання протона в магнітному полі більший за період обертання  $\alpha$ -частинки?

**3.465.** Альфа-частинка, кінетична енергія якої дорівнює 500 еВ, влітає в однорідне магнітне поле, перпендикулярне до напрямку швидкості руху. Індукція магнітного поля 1 Тл. Визначити: а) силу, що діє на частинку; б) радіус кола, по якому рухається частинка; в) період обертання частинки.

**3.466.** Альфа-частинка, момент імпульсу якої дорівнює  $1,33 \cdot 10^{-22}$  (кг·м<sup>2</sup>)/с, влітає у однорідне магнітне поле з індукцією  $2,5 \cdot 10^{-2}$  Тл, перпендикулярне до напрямку швидкості її руху. Визначити кінетичну енергію  $\alpha$ -частинки.

**3.467.** Однозарядні йони ізотопів калію з атомними масами 39 а.о.м. та 41 а.о.м. прискорюються різницею потенціалів 300 В і потім потрапляють у однорідне магнітне поле, яке перпендикулярне до напрямку їхнього руху. Індукція магнітного поля 0,06 Тл. Визначити радіуси кривизни траєкторій цих йонів.

**3.468.** Визначити питомий заряд частинки, якщо вона, влітаючи зі швидкістю  $10^5$  см/с в однорідне магнітне поле напруженістю 200 кА/м, рухається по дузі кола радіусом 6,3 см. Напрямок швидкості руху частинки перпендикулярний до напрямку силових ліній магнітного поля. Порівняти знайдене значення із значенням питомого заряду електрона, протона та  $\alpha$ -частинки.

**3.469.** Коротка котушка площею поперечного перерізу 250 см<sup>2</sup> містить 500 витків дроту, по якому протікає струм силою 5 А. Котушка поміщена в однорідне магнітне поле напруженістю 1000 А/м. Визначити: а) магнітний

момент котушки; б) обертальний момент, що діє на котушку, якщо вісь котушки становить кут  $30^\circ$  із лініями поля.

**3.470.** Виток діаметром 10 см може обертатися навколо вертикальної осі, що збігається із одним з його діаметрів. Виток встановили у площині магнітного меридіана Землі і пропустили по ньому струм силою 40 А. Який обертальний момент потрібно прикласти до витка, щоб утримати його у початковому положенні? Вважати, що горизонтальна складова індукції магнітного поля Землі дорівнює 20 мкТл.

**3.471.** Альфа-частинка, прискорена різницею потенціалів 240 кВ, пролітає ділянку поперечного однорідного магнітного поля з магнітною індукцією 1 Тл і відхиляється від початкового напрямку руху на кут  $30^\circ$ . Визначте товщину області, в якій створено магнітне поле.

## 6. Закон Біо-Савара-Лапласа. Закон повного струму

**3.472.** Двома довгими паралельними дротами у однаковому напрямку течуть струми 0,5 А та 10 А. Відстань між дротами становить 10 см. Визначити магнітну індукцію поля в точці, віддаленій на 10 см від кожного провідника.

**3.473.** По кільцевому провіднику радіусом 10 см протікає струм силою 4 А. Паралельно площині кільцевого провідника на відстані 2 см над його центром проходить нескінченно довгий прямолінійний провідник, по якому протікає струм силою 2 А. Визначити індукцію і напруженість магнітного поля в центрі кільця. Розглянути усі можливі випадки.

**3.474.** По двох кругових витках, що мають загальний центр, протікають струми 5 А і 4 А. Радіуси витків дорівнюють 3 см і 4 см відповідно. Кут між їх площинами  $30^\circ$ . Визначити індукцію та напруженість магнітного поля в центрі витків. Розглянути усі можливі випадки.

**3.475.** По двох нескінченно довгих прямолінійних провідниках, розташованих паралельно на відстані 10 см один від одного, протікають струми в одному напрямку. Напруженість поля в точці, яка віддалена на відстань 10 см від кожного провідника, дорівнює 16,33 А/м. По одному з провідників протікає струм силою 0,5 А. Визначити силу струму, що тече по іншому провіднику.

**3.476.** Два кругові витки зі струмом лежать в одній площині та мають спільний центр. Радіус більшого витка 12 см, меншого – 6 см. Напруженість поля в центрі витків дорівнює 50 А/м, якщо струми протікають в однаковому напрямку, і нулю – якщо в протилежних. Визначити сили струмів, що протікають по круговим виткам.

**3.477.** Двома нескінченно довгими прямолінійними провідниками, розташованими на відстані 15 см один від одного, течуть струми 4 А і 6 А. Визначити геометричне місце точок, в яких індукція магнітного поля дорівнює нулю.

**3.478.** По круговому провіднику радіусом 0,12 м протікає струм силою 0,2 А. Перпендикулярно до площини кругового провідника проходить нескінченно довгий провідник, по якому тече струм силою 0,1 А. Індукція магнітного поля в центрі кругового провідника  $11,3 \cdot 10^{-7}$  Тл. Визначити, на якій відстані від центру кругового провідника знаходиться прямолінійний провідник.

**3.479.** Провідник довжиною 1 м вигнутий у вигляді квадрату. Визначити індукцію і напруженість магнітного поля у точці перетину діагоналей квадрата, якщо по провіднику протікає струм силою 4 А.

**3.480.** Прямий провідник вигнутий у вигляді прямокутника зі сторонами довжиною 0,2 м і 0,3 м. Який струм потрібно пропустити по цьому провіднику, щоб напруженість магнітного поля в точці перетину діагоналей була 19 А/м.

**3.481.** Провідник довжиною 90 см вигнутий у вигляді рівностороннього трикутника. Якої сили струм потрібно пропустити по цьому провіднику, щоб індукція магнітного поля в точці перетину висот трикутника дорівнювала  $1,24 \cdot 10^{-6}$  Тл.

**3.482.** Двома довгими паралельними дротами у однаковому напрямку течуть струми 10 А та 15 А. Відстань між дротами 10 см. Визначити напруженість магнітного поля у точці, віддаленій від першого провідника на відстань 8 см, а від другого – на 6 см.

**3.483.** Двома довгими паралельними дротами у протилежних напрямках течуть струми 10 А та 15 А. Відстань між дротами 10 см. Визначити напруженість магнітного поля у точці, віддаленій від першого провідника на відстань 15 см, а від другого – на 10 см.

**3.484.** По тонкому провіднику, що вигнутий у вигляді правильного шестикутника зі стороною 10 см, протікає струм силою 10 А. Визначити індукцію магнітного поля в центрі шестикутника.

**3.485.** Двома довгими паралельними провідниками, розташованими на відстані 5 см один від одного, протікають однакові струми силою 10 А. Визначити індукцію і напруженість магнітного поля в точці, віддаленій від кожного провідника на відстань 5 см, якщо струми протікають в однаковому напрямку.

**3.486.** Двома довгими паралельними провідниками, розташованими на відстані 5 см один від одного, протікають однакові струми силою 10 А. Визначити індукцію і напруженість магнітного поля в точці, віддаленій від кожного провідника на відстань 5 см, якщо струми протікають у протилежних напрямках.

**3.487.** Два нескінченно довгі прямі провідники схрещені під прямим кутом. По провідникам протікають струми 60 А і 50 А. Відстань між провідниками 20 см. Визначити індукцію магнітного поля в точці, що лежить посередині загального перпендикуляра до провідників.

**3.488.** По провіднику, який вигнуто під прямим кутом, протікає струм силою 50 А. Знайти напруженість магнітного поля в точці, що лежить на бісектрисі цього кута і віддалена від вершини кута на відстань 20 см. Вважати, що обидва кінці провідника знаходяться дуже далеко від вершини кута.

**3.489.** По провіднику, який вигнуто у вигляді кола, тече струм. Напруженість магнітного поля у центрі кола 50 А/м. Не змінюючи сили струму у провіднику, йому надали форму квадрата. Визначити напруженість магнітного поля в точці перетину діагоналей цього квадрата.

**3.490.** По двох довгих паралельних провідниках в однаковому напрямку течуть струми силою 10 А і 15 А. Відстань між провідниками 10 см. Визначити напруженість магнітного поля в точці, віддаленій від першого провідника на відстань 8 см і від другого – на 6 см.

**3.491.** Розв'язати попередню задачу за умови, що струми протікають у протилежних напрямках, а точка віддалена від першого провідника на відстань 15 см і від другого – на 10 см.

**3.492.** По тонкому провіднику, який вигнуто у вигляді правильного шестикутника зі стороною 10 см, протікає струм 20 А. Визначити магнітну індукцію в центрі шестикутника.

**3.493.** Обмотка соленоїда містить два шари витків, які щільно прилягають один до одного, з дроту діаметром 0,2 мм. Визначити магнітну індукцію на осі соленоїда, якщо по дроту протікає струм 0,5 А.

**3.494.** По нескінченно довгому дроту, який вигнуто так, як показано на рис. 52, протікає струм силою 100 А. Визначити магнітну індукцію у точці  $O$ . Радіус дуги 10 см.

**3.495.** Магнітний момент тонкого провідного кільця  $5 \text{ А} \cdot \text{м}^2$ . Визначити магнітну індукцію у точці  $A$ , що знаходиться на осі кільця і віддалена від точок кільця на відстань 20 см (рис. 53).

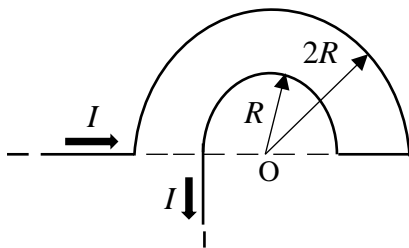


Рис. 52

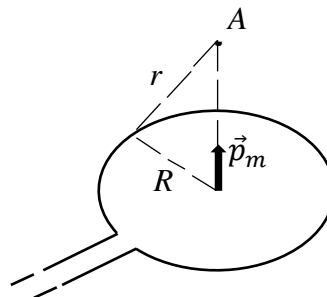


Рис. 53

**3.496.** По двох схрещених під прямим кутом нескінченно довгих провідниках протікають струми 100 А і 200 А. Визначити магнітну індукцію у точці  $A$  (рис. 54). Відстань між провідниками 10 см.

**3.497.** По нескінченно довгому дроту, який вигнуто так, як показано на рис. 55, протікає струм силою 200 А. Визначити магнітну індукцію у точці  $O$ . Радіус дуги 10 см.

**3.498.** По тонкому кільцю радіусом 20 см протікає струм силою 100 А. Визначити магнітну індукцію на осі кільця в точці  $A$  (рис. 56). Кут на рисунку дорівнює  $\pi/3$ .

**3.499.** По двох нескінченно довгих дротах, схрещених під прямим кутом, протікають струми 100 А і 200 А. Визначити магнітну індукцію у точці  $A$ , рівновіддаленій від дротів на відстань 10 см (рис. 57).

**3.500.** По нескінченно довгому дроту, який вигнуто так, як показано на рис. 58, протікає струм силою 200 А. Визначити магнітну індукцію в точці  $O$ . Радіус дуги 10 см.

**3.501.** По тонкому кільцю тече струм силою 80 А. Визначити магнітну індукцію у точці  $A$ , яка рівновіддалена від точок кільця на відстань 10 см (рис. 59). Кут на рисунку дорівнює  $\pi/3$ .

**3.502.** По двох нескінченно довгих прямих паралельних провідниках протікають однакові струми силою 60 А. Визначити магнітну індукцію у точці  $A$  (рис. 60), яка рівновіддалена від провідників на відстань 10 см. Кут на рисунку дорівнює  $\pi/3$ .

**3.503.** По нескінченно довгому провіднику, який вигнуто так, як показано на рис. 61, протікає струм силою 50 А. Визначити магнітну індукцію у точці  $A$ , що лежить на бісектрисі прямого кута на відстані 10 см від його вершини.

**3.504.** Двома довгими паралельними провідниками, розташованими на відстані 10 см один від одного, в одному напрямку протікають струми силою 60 А. Визначити магнітну індукцію поля, що створюється цими провідниками у точці, яка віддалена від першого провідника на відстань 5 см і від другого на відстань 12 см.

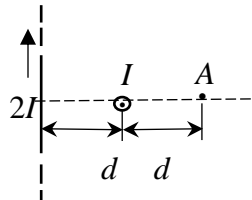


Рис. 54

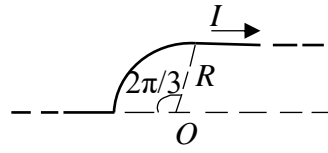


Рис. 55

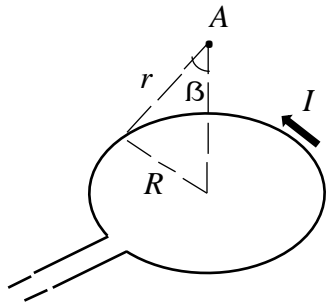


Рис. 56

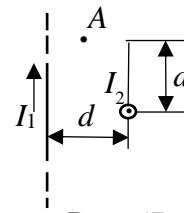


Рис. 57

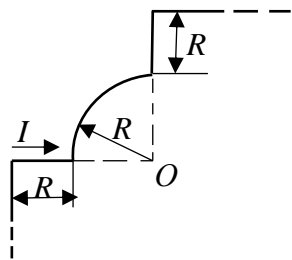


Рис. 58

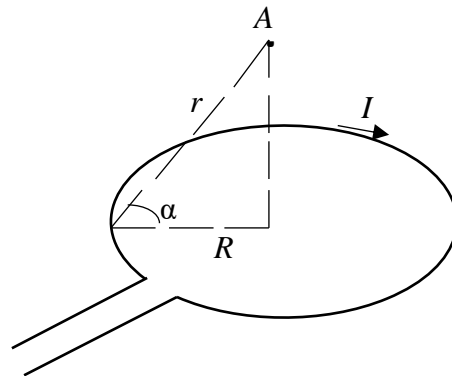


Рис. 59

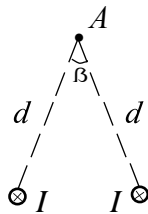


Рис. 60

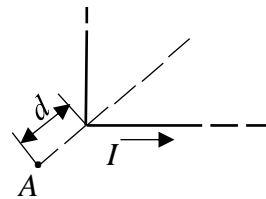


Рис. 61

**3.505.** По дроту, який вигнутий у вигляді квадрата зі стороною 10 см, протікає струм силою 100 А. Знайти магнітну індукцію у точці перетину діагоналей квадрата.

**3.506.** По контуру у вигляді рівностороннього трикутника протікає струм силою 50 А. Сторона трикутника дорівнює 20 см. Визначити магнітну індукцію у точці перетину висот.

**3.507.** По провіднику, який вигнуто у вигляді прямокутника зі сторонами 8 см і 12 см, тече струм силою 50 А. Визначити напруженість і індукцію магнітного поля в точці перетину діагоналей прямокутника.

**3.508.** Знайти напруженість магнітного поля в точці, що віддалена на 2 см від нескінченно довгого провідника, по якому протікає струм 5 А.

**3.509.** Знайти напруженість магнітного поля в центрі кругового дротяного витка радіусом 1 см, по якому протікає струм силою 1 А.

**3.510.** На рис. 62 зображено переріз трьох прямолінійних нескінченно довгих провідників зі струмом. Відстані між провідниками 5 см, сили струмів в першому і другому однакові, в третьому – сила струму вдвічі більша. Знайти точку на прямій  $AC$ , в якій напруженість магнітного поля, що створюється трьома струмами дорівнює нулю.

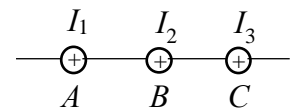


Рис. 62

**3.511.** Вирішити попередню задачу за умови, що струм через третій провідник тече в протилежному напрямку.

**3.512.** Два прямолінійних нескінченно довгих провідника розташовані перпендикулярно один до одного і знаходяться в одній площині (рис. 63). Знайти напруженість магнітного поля в точках  $M_1$  і  $M_2$ , якщо струми в провідниках дорівнюють відповідно 2 А і 3 А. Відстані  $AM_1 = AM_2 = 1$  см,  $BM_1 = CM_2 = 2$  см.

**3.513.** Два прямолінійних нескінченно довгих провідника розташовані перпендикулярно один до одного і знаходяться у взаємно перпендикулярних площинах (рис. 64). Знайти напруженість магнітного поля в точках  $M_1$  і  $M_2$ ,

якщо струми в провідниках дорівнюють відповідно 2 А і 3 А. Відстані  $AM_1 = AM_2 = 1$  см і  $AB = 2$  см.

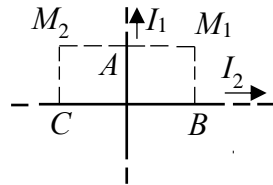


Рис. 63

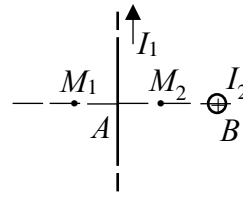


Рис. 64

**3.514.** Два прямолінійних провідника розташовані паралельно на відстані 10 см один від одного. По провідникам протікають струми силою 5 А у протилежних напрямках. Знайти величину та напрямок напруженості магнітного поля в точці на відстані 10 см від кожного провідника.

**3.515.** По довгому вертикальному провіднику зверху вниз протікає струм силою 8 А. На якій відстані від нього напруженість магнітного поля, що утворюється в результаті додавання магнітного поля Землі та поля струму, спрямована вертикально вгору? Горизонтальна складова напруженості магнітного поля Землі дорівнює 16 А/м.

**3.516.** Обчислити напруженість магнітного поля, створеного відрізком  $AB$  прямолінійного провідника зі струмом, в точці  $C$ , яка розташована на перпендикулярі до середини цього відрізка на відстані 5 см від нього. По провіднику протікає струм силою 20 А. Відрізок  $AB$  провідника видно з точки  $C$  під кутом  $60^\circ$ .

**3.517.** Розв'язати попередню задачу за умови, що сила струму в провіднику дорівнює 30 А і відрізок провідника видно з точки  $C$  під кутом  $90^\circ$ . Точка  $C$  розташована на відстані 6 см від провідника.

**3.518.** У точці, що розташована на відстані 5 см від довгого прямолінійного провідника зі струмом, напруженість магнітного поля дорівнює 400 А/м. Чому дорівнюватиме напруженість магнітного поля в точці  $C$ , якщо провідник зі струмом має довжину 20 см? Точка  $C$  розташована на перпендикулярі до середини цього провідника.

**3.519.** По довгому провіднику, який вигнуто під прямим кутом, протікає струм силою 20 А. Знайти напруженість магнітного поля в точці, що лежить на бісектрисі цього кута і віддалена від його вершини на відстань 10 см.

**3.520.** Струм силою 20 А, протікаючи по дротяному кільцю з мідного дроту перерізом 1 мм<sup>2</sup>, створює в центрі кільця напруженість магнітного поля 178 А/м. Яка різниця потенціалів прикладена до кінців дроту, що утворює кільце?

**3.521.** Знайти напруженість магнітного поля на осі кругового контуру на відстані 3 см від його площини. Радіус контуру 4 см, сила струму в контурі 2 А.

**3.522.** Напруженість магнітного поля у центрі кругового витка радіусом 11 см дорівнює 63,3 А/м. Знайти напруженість магнітного поля на осі витка на відстані 10 см від його площини.

**3.523.** Два кругові витки радіусом 5 см кожний розташовані в паралельних площинах на відстані 0,1 м один від одного. По витках протікають струми силою 2 А. Знайти напруженість магнітного поля на осі витків у точці, що знаходиться на однаковій відстані від них. Задачу розв'язати для випадку, коли струми у витках течуть в одному напрямку.

**3.524.** Два кругові витки радіусом 5 см кожний розташовані в паралельних площинах на відстані 0,1 м один від одного. По витках протікають струми силою 2 А. Знайти напруженість магнітного поля на осі витків у точці, що знаходиться на однаковій відстані від них. Задачу розв'язати для випадку, коли струми у витках протікають у протилежних напрямках.

**3.525.** Два кругові витки радіусом 4 см кожний розташовані в паралельних площинах на відстані 5 см один від одного. По витках протікають струми силою 4 А. Знайти напруженість магнітного поля у центрі одного з витків. Задачу розв'язати для випадку, коли струми у витках протікають в одному напрямку.

**3.526.** Два кругові витки радіусом 4 см кожний розташовані в паралельних площинах на відстані 5 см один від одного. По витках протікають струми силою 4 А. Знайти напруженість магнітного поля у центрі одного з витків.

Задачу розв'язати для випадку, коли струми у витках протікають в протилежних напрямках.

**3.527.** Знайти розподіл напруженості магнітного поля вздовж осі кругового витка діаметром 10 см, по якому протікає струм силою 10 А. Скласти таблицю значень напруженості магнітного поля для значень координати в інтервалі від 0 до 10 см через кожні 2 см і побудувати графік залежності напруженості магнітного поля від координати з нанесення масштабу.

**3.528.** Два кругові витки розташовані у двох взаємно перпендикулярних площинах так, що центри цих витків збігаються. Радіус кожного витка 2 см, струми, що протікають по витках, дорівнюють 5 А. Знайти напруженість магнітного поля в центрі цих витків.

**3.529.** У центрі кругового дротяного витка створюється магнітне поле певної напруженості при відповідній різниці потенціалів на кінцях дроту. Як потрібно змінити прикладену різницю потенціалів, щоб отримати таку саму напруженість магнітного поля в центрі витка вдвічі більшого радіусу, яке зроблено з того ж дроту?

**3.530.** По дротяній рамці, що має форму правильного шестикутника, протікає струм силою 2 А. При цьому в центрі рамки утворюється магнітне поле напруженістю 33 А/м. Знайти довжину дроту, з якого зроблена рамка.

**3.531.** Нескінченно довгий провідник утворює кругову петлю, що є дотичною до провідника. По провіднику протікає струм силою 5 А. Знайти радіус петлі, якщо відомо, що напруженість магнітного поля у центрі петлі становить 41 А/м.

**3.532.** Котушка довжиною 30 см складається з 1000 витків. Знайти напруженість магнітного поля всередині котушки, якщо струм, що проходить по ній, дорівнює 2 А. Діаметр котушки вважати малим порівняно з її довжиною.

**3.533.** Обмотка котушки зроблена з дроту діаметром 0,8 мм. Витки щільно прилягають один до одного. Вважаючи котушку досить довгою, знайти напруженість магнітного поля всередині котушки при силі струму 1 А.

**3.534.** З дроту діаметром 1 мм необхідно намотати соленоїд, усередині якого напруженість магнітного поля має бути  $24 \cdot 10^3$  А/м. Гранична сила струму,

який можна пропустити по дроту, дорівнює 6 А. Скільки шарів буде мати обмотка соленоїда, якщо витки намотувати щільно один до одного? Діаметр котушки вважати малим порівняно з її довжиною.

**3.535.** Потрібно отримати напруженість магнітного поля  $10^3$  А/м в соленоїді довжиною 20 см і діаметром 5 см. Знайти число ампер-витків, що необхідне для цього соленоїда; різницю потенціалів, яку необхідно прикласти до кінців обмотки, якщо для неї використовується мідний дріт діаметром 0,5 мм. Вважати поле соленоїда однорідним.

**3.536.** Яку похибку допускають при знаходженні напруженості магнітного поля в центрі соленоїда, приймаючи соленоїд задачі 3.535 за нескінченно довгий.

**3.537.** Знайти розподіл напруженості магнітного поля вздовж осі соленоїда, довжина якого 3 см і діаметр 2 см. Сила струму, що протікає по соленоїду, дорівнює 2 А. Котушка має 100 витків. Скласти таблицю значень напруженості магнітного поля для значень координати в інтервалі від 0 до 3 см через кожні 0,5 см і побудувати графік залежності напруженості магнітного поля від координати з нанесення масштабу.

**3.538.** По провіднику, який вигнуто у вигляді рівностороннього трикутника зі стороною 20 см, тече струм силою 10 А. Визначити напруженість магнітного поля в центрі цього рівностороннього трикутника.

**3.539.** Напруженість магнітного поля в центрі кругового дротяного витка 200 А/м. Магнітний момент контуру зі струмом  $1 \text{ А} \cdot \text{м}^2$ . Визначити силу струму у витку та його радіус.

**3.540.** Знайти напруженість магнітного поля в центрі та у самого краю на осі прямого соленоїда довжиною 8 см і з діаметром витків 2 см. Соленоїд має 160 витків і по ньому протікає струм силою 20 А. Витки щільно прилягають один до одного.

## *Електромагнітні явища*

### **7. Закон Фарадея для явища електромагнітної індукції.**

#### **Магнітний потік. Робота при переміщенні провідника зі струмом у магнітному полі**

**3.541.** Тонкий мідний провідник масою 5 г зігнутий у вигляді квадрата, і кінці його замкнуті. Квадрат поміщений в однорідне магнітне поле з індукцією 0,2 Тл так, що його площина перпендикулярна до силових ліній поля. Визначити заряд, який потече по провіднику, якщо квадрат витягнути в лінію, потягнувши за протилежні вершини.

**3.542.** Рамка із провідника опором 0,04 Ом рівномірно обертається в однорідному магнітному полі з індукцією 0,6 Тл. Вісь обертання лежить у площині рамки і перпендикулярна до ліній індукції. Площа рамки 200 см<sup>2</sup>. Визначити заряд, який потече по рамці при зміні кута між нормаллю до рамки та лініями індукції від нуля до 45°.

**3.543.** Дротовий круговий виток діаметром 5 см і опором 0,02 Ом знаходиться в однорідному магнітному полі з індукцією 0,3 Тл. Площина витка складає з лініями індукції кут 40°. Який заряд протікає по витку при вимиканні магнітного поля?

**3.544.** Рамка, яка складається з 200 витків тонкого дроту, може вільно обертатися навколо осі, що лежить у площині рамки. Площа рамки 50 см<sup>2</sup>. Вісь рамки перпендикулярна до ліній індукції однорідного магнітного поля з індукцією 0,05 Тл. Визначити максимальну ЕРС, яка індукується в рамці при її обертанні з частотою 40 с<sup>-1</sup>.

**3.545.** Прямий стрижень з провідника довжиною 40 см знаходиться в однорідному магнітному полі з індукцією 0,1 Тл. Кінці стрижня замкнуті гнучким дротом, що знаходиться поза полем. Опір всього кола 0,5 Ом. Яка потужність буде потрібна для рівномірного переміщення стрижня перпендикулярно до ліній магнітної індукції зі швидкістю 10 м/с?

**3.546.** Дротовий контур площею 500 см<sup>2</sup> і опором 0,1 Ом рівномірно обертається в однорідному магнітному полі з індукцією 0,5 Тл. Вісь обертання лежить у площині кільця та перпендикулярна до ліній магнітної індукції.

Визначити максимальну потужність, яка необхідна для обертання контуру з кутовою швидкістю 50 рад/с.

**3.547.** Кільце з мідного дроту масою 10 г поміщено в однорідне магнітне поле з індукцією 0,5 Тл так, що площина кільця становить кут  $60^\circ$  з лініями магнітної індукції. Визначити заряд, який пройде по кільцю, якщо вимкнути магнітне поле.

**3.548.** Круговий контур поміщений в однорідне магнітне поле так, що площина контуру перпендикулярна до силових ліній поля. Напруженість магнітного поля 150 кА/м. По контурі протікає струм силою 2 А. Радіус контуру 2 см. Яку роботу необхідно виконати, щоб повернути контур на  $90^\circ$  навколо осі, що збігається з діаметром контуру?

**3.549.** В однорідному магнітному полі з індукцією 0,5 Тл рівномірно рухається провідник довжиною 10 см. По провіднику протікає струм силою 2 А. Провідник рухається зі швидкістю 20 см/с перпендикулярно до напрямку магнітного поля. Знайти роботу переміщення провідника за 10 с руху.

**3.550.** Кільце радіусом 10 см знаходиться в однорідному магнітному полі з індукцією 0,316 Тл. Площина кільця становить кут  $30^\circ$  з лініями індукції. Обчислити магнітний потік, що пронизує кільце.

**3.551.** По провіднику, який зігнуто у вигляді квадрата зі стороною 10 см, протікає струм силою 20 А. Площина квадрата перпендикулярна до магнітних силових ліній поля. Визначити роботу, яку необхідно виконати, щоб видалити провідник за межі поля. Магнітна індукція 0,1 Тл. Поле вважати однорідним.

**3.552.** Провідник довжиною 1 м рухається зі швидкістю 5 м/с перпендикулярно до ліній індукції однорідного магнітного поля. Визначити магнітну індукцію, якщо на кінцях провідника виникає різниця потенціалів 0,02 В.

**3.553.** Рамка площею  $50 \text{ см}^2$ , що містить 100 витків, рівномірно обертається в однорідному магнітному полі з індукцією 40 мТл. Визначити максимальну ЕРС індукції, якщо вісь обертання лежить у площині рамки і перпендикулярна до ліній індукції, а рамка обертається із частотою 960 об/хв.

**3.554.** Кільце з дроту опором  $1 \text{ мОм}$  знаходиться в однорідному магнітному полі з індукцією  $0,4 \text{ Тл}$ . Площина кільця складає кут  $90^\circ$  з лініями індукції. Визначити заряд, який тече по кільцю, якщо його вийняти з поля. Площа кільця  $10 \text{ см}^2$ .

**3.555.** Соленоїд містить  $400$  витків дроту, по якому тече струм силою  $20 \text{ А}$ . Визначити магнітний потік і потокозчеплення соленоїда, якщо його індуктивність  $0,4 \text{ Гн}$ .

**3.556.** В однорідному магнітному полі з індукцією  $0,1 \text{ Тл}$  обертається котушка, що складається з  $200$  витків. Вісь обертання котушки перпендикулярна до її осі та напрямку магнітного поля. Період обертання котушки  $0,2 \text{ с}$ , площа поперечного перерізу котушки  $4 \text{ см}^2$ . Знайти максимальну ЕРС індукції в котушці, що обертається.

**3.557.** В однорідному магнітному полі з індукцією  $0,1 \text{ Тл}$  рівномірно з частотою  $10 \text{ с}^{-1}$  обертається рамка, що містить  $100$  витків, які щільно прилягають один до одного. Площа рамки  $150 \text{ см}^2$ . Визначити миттєве значення ЕРС індукції, що відповідає куту повороту рамки  $30^\circ$ .

**3.558.** Виток радіусом  $20 \text{ см}$ , по якому протікає струм силою  $50 \text{ А}$ , вільно встановлений в однорідному магнітному полі напруженістю  $10 \text{ А/м}$ . Виток повернули відносно діаметра на кут  $30^\circ$ . Визначити роботу, яка була виконана.

**3.559.** Скільки витків містить котушка з індуктивністю  $0,001 \text{ Гн}$ , в якій при зміні струму на  $4 \text{ А}$  виникає потік магнітної індукції  $5 \text{ мкВб}$ .

**3.560.** Кільце з дроту рівномірно обертається в магнітному полі напруженістю  $2000 \text{ А/м}$  зі швидкістю  $20 \text{ об/с}$ . Визначити найбільшу ЕРС, що виникає в кільці, якщо площа кільця  $100 \text{ см}^2$ .

**3.561.** Плоский контур площею  $20 \text{ см}^2$  знаходиться в однорідному магнітному полі з індукцією  $0,03 \text{ Тл}$ . Визначити магнітний потік, що пронизує контур, якщо його площина складає з напрямком ліній індукції кут  $60^\circ$ .

**3.562.** Магнітний потік через переріз соленоїда дорівнює  $50 \text{ мкВб}$ . Довжина соленоїда  $50 \text{ см}$ . Знайти магнітний момент соленоїда, якщо його витки щільно прилягають один до одного.

**3.563.** У середній частині соленоїда, що містить 6 витків/см, вміщений коловий виток діаметром 4 см. Площина витка розташована під кутом  $60^\circ$  до осі соленоїда. Визначити магнітний потік, що пронизує виток, якщо по обмотці соленоїда тече струм 1 А.

**3.564.** На довгий картонний каркас діаметром 5 см укладена одношарова обмотка (виток до витка) з дроту діаметром 0,2 мм. Визначити магнітний потік, що створюється таким соленоїдом при силі струму 0,5 А.

**3.565.** Постійний струм силою 10 А протікає по металевій трубці радіусом 5 см. Визначити напруженість магнітного поля на відстані 3 см і 6 см від осі труби.

**3.566.** Визначити циркуляцію вектора напруженості магнітного поля вздовж кривих  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , які зображені на рис. 65, якщо по провідниках протікають струми відповідно 3 А, 5 А і 2 А.

**3.567.** Визначити циркуляцію вектора напруженості магнітного поля вздовж кривих  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , які зображені на рис. 66, якщо по провідниках протікають струми відповідно 6 А і 4 А.

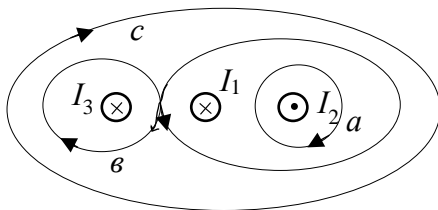


Рис. 65

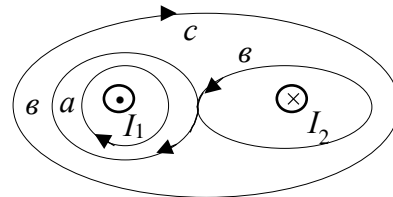


Рис. 66

**3.568.** По мідному дроту, перерізом якого є коло з діаметром 2 см, протікає струм 500 А. Визначити напруженість магнітного поля всередині дроту в точці, що знаходиться на відстані 0,3 см від осі дроту; і поза дротом на відстані 5 см від його осі.

**3.569.** В однорідному магнітному полі з індукцією 125,6 мТл обертається стрижень з постійною частотою  $10 \text{ с}^{-1}$  так, що площина його обертання перпендикулярна до ліній індукції, а вісь обертання проходить через один з його кінців. Індукована на кінцях стрижня різниця потенціалів становить 0,1 мкВ. Визначити довжину стрижня.

**3.570.** В однорідному магнітному полі з індукцією  $0,01$  Тл під кутом  $30^\circ$  до поля розташована мідна квадратна рамка зі стороною  $0,5$  м. Діаметр дроту  $0,2$  мм. Рамку повернули перпендикулярно до поля. Яка кількість електрики індукувалася у рамці?

**3.571.** Визначити магнітний потік, який пронизує соленоїд, якщо його довжина  $50$  см і магнітний момент  $0,4$  А·м<sup>2</sup>.

**3.572.** В однорідному магнітному полі з індукцією  $0,1$  Тл рівномірно з частотою  $5$  с<sup>-1</sup> обертається стрижень довжиною  $50$  см так, що площина його обертання перпендикулярна до ліній напруженості, а вісь обертання проходить через один з його кінців. Визначити різницю потенціалів на кінцях стрижня.

**3.573.** В однорідному магнітному полі з індукцією  $0,5$  Тл обертається з частотою  $10$  с<sup>-1</sup> стрижень довжиною  $20$  см. Вісь обертання паралельна лініям індукції і проходить через один з кінців стрижня перпендикулярно до його осі. Визначити різницю потенціалів на кінцях стрижня.

**3.574.** В дротяне кільце, що приєднане до балістичного гальванометра, вставили магніт. При цьому по колу пройшов заряд  $50$  мкКл. Визначити зміну магнітного потоку через кільце, якщо опір кола гальванометра  $10$  Ом.

**3.575.** Кільце з дроту опором  $1$  мОм знаходиться в однорідному магнітному полі з індукцією  $0,4$  Тл. Площина кільця перпендикулярна до ліній індукції. Визначити заряд, який протікає по кільцю, якщо його вийняти з поля. Площа кільця  $10$  см<sup>2</sup>.

**3.576.** В однорідному магнітному полі з індукцією  $1$  Тл рухається прямолінійний провідник завдовжки  $10$  см зі швидкістю  $10$  м/с. Напрямок вектора індукції перпендикулярний до провідника та вектора його швидкості. Кінці провідника з'єднані гнучким дротом поза полем. Загальний опір кола  $10$  Ом. Визначити потужність, необхідну для руху провідника.

**3.577.** З якою швидкістю рухається перпендикулярно до магнітного поля напруженістю  $1$  кА/м прямий провідник довжиною  $20$  см та опором  $0,1$  Ом, якщо при замиканні провідника по ньому протікає струм силою  $0,05$  А? Опір замикаючого провідника не враховувати.

**3.578.** Виток радіусом 1 см знаходиться в магнітному полі напруженістю 20 кА/м. Площина витка перпендикулярна до ліній індукції поля. Який опір витка, якщо при зменшенні напруженості поля до нуля по ньому протікає заряд 1 мКл?

**3.579.** Обмотка соленоїда містить два шари щільно прилеглих один до одного витків дроту діаметром 0,2 мм. Визначити магнітну індукцію на осі соленоїда, якщо по дроту протікає струм 0,5 А.

**3.580.** Провідник довжиною 1 м рухається зі швидкістю 5 м/с перпендикулярно до ліній індукції однорідного магнітного поля. Визначити магнітну індукцію, якщо на кінцях провідника виникає різниця потенціалів 0,02 В.

**3.581.** Рамка площею 50 см<sup>2</sup>, що містить 100 витків, рівномірно обертається у однорідному магнітному полі з індукцією 40 мТл. Визначити максимальну ЕРС індукції, якщо вісь обертання лежить у площині рамки та перпендикулярна до ліній індукції, а рамка обертається з частотою 960 об/хв.

**3.582.** Кільце радіусом 10 см знаходиться в однорідному магнітному полі з індукцією 0,31 Тл. Площина кільця складає з лініями індукції кут 50°. Обчислити магнітний потік, що пронизує кільце.

**3.583.** Конденсатор ємністю 10 мкФ періодично заряджається від батареї, що дає різницю потенціалів 120 В, і розряджається через соленоїд довжиною 10 см, який має 200 витків. Середнє значення напруженості магнітного поля всередині соленоїда 240 А/м. Скільки разів на секунду відбувається перемикання конденсатора? Діаметр соленоїда вважати малим порівняно з його довжиною.

**3.584.** В однорідному магнітному полі, напруженість якого 79,6 кВ/м, поміщена квадратна рамка. Її площина становить із напрямком магнітного поля кут 45°. Сторона рамки 4 см. Визначити магнітний потік, що пронизує рамку.

**3.585.** У магнітному полі, індукція якого дорівнює 0,05 Тл, обертається стрижень довжиною 1 м. Вісь обертання, що проходить через один з кінців стрижня, паралельна силовим лініям магнітного поля. Знайти потік магнітної індукції, що перетинається стрижнем при кожному оберті.

**3.586.** Рамка, площа якої дорівнює  $16 \text{ см}^2$ , обертається в однорідному магнітному полі з частотою  $2 \text{ об/с}$ . Вісь обертання знаходиться в площині рамки та перпендикулярна до силових ліній магнітного поля. Напруженість магнітного поля дорівнює  $7,96 \cdot 10^4 \text{ А/м}$ . Знайти залежність магнітного потоку, що пронизує рамку, від часу і максимальне значення магнітного потоку.

**3.587.** Круговий дротяний виток, площа якого дорівнює  $100 \text{ см}^2$ , знаходиться в однорідному магнітному полі з індукцією  $1 \text{ Тл}$ . Площина витка перпендикулярна до напрямку магнітного поля. Чому дорівнюватиме середнє значення ЕРС індукції, що виникає у витку, при вимкненні поля протягом  $0,01 \text{ с}$ ?

**3.588.** В однорідному магнітному полі, індукція якого дорівнює  $1 \text{ Тл}$ , рівномірно обертається котушка, що складається зі  $100$  витків дроту. Котушка робить  $5 \text{ об/с}$ . Площа поперечного перерізу котушки  $100 \text{ см}^2$ . Вісь обертання перпендикулярна до осі котушки і напрямку магнітного поля. Знайти максимальну ЕРС індукції в котушці, що обертається.

**3.589.** В однорідному магнітному полі, індукція якого дорівнює  $0,8 \text{ Тл}$ , рівномірно обертається рамка з кутовою швидкістю  $15 \text{ рад/с}$ . Площа рамки  $150 \text{ см}^2$ . Вісь обертання знаходиться в площині рамки і становить кут  $30^\circ$  з напрямком силових ліній магнітного поля. Знайти максимальну ЕРС індукції в рамці, що обертається.

**3.590.** На рис. 67 мідний диск радіусом  $5 \text{ см}$ , площа якого перпендикулярна до напрямку магнітного поля,  $a$  і  $b$  – ковзні контакти, так що по колу  $aba$  може протікати електричний струм. Індукція магнітного поля дорівнює  $0,2 \text{ Тл}$ . Знайти ЕРС такого генератора. Вказати напрямок електричного струму, якщо магнітне поле напрямлене перпендикулярно до площини рисунка, а диск обертається з частотою  $3 \text{ об/с}$  проти годинникової стрілки.

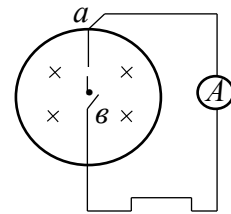


Рис. 67

**3.591.** Горизонтальний стрижень довжиною  $1 \text{ м}$  обертається навколо вертикальної осі, що проходить через один з його кінців. Вісь обертання паралельна силовим лініям магнітного поля з індукцією  $5 \cdot 10^{-5} \text{ Тл}$ . За якої частоти обертання різниця потенціалів на кінцях цього стрижня буде дорівнювати  $1 \text{ мВ}$ ?

**3.592.** На соленоїді довжиною 20 см і площею поперечного перерізу  $30 \text{ см}^2$  знаходиться дротяний виток. Соленоїд має 320 витків, і по ньому протікає струм силою 3 А. Яка середня ЕРС індукується у витку на соленоїді, коли струм у соленоїді вимикається протягом 0,001 с?

**3.593.** Чому дорівнює середня ЕРС, що індукується у витку, якщо соленоїд, розглянутий у попередній задачі, має залізне осердя?

**3.594.** На соленоїді довжиною 144 см і діаметром 5 см знаходиться дротяний виток. Обмотка соленоїда має 200 витків і по ній протікає струм силою 2 А. Соленоїд має залізне осердя. Яка середня ЕРС індукується у витку на соленоїді, коли струм у соленоїді вимикається протягом 0,002 с?

**3.595.** Дві котушки намотані на одне спільне осердя. Індуктивність першої котушки 0,2 Гн, другої 0,8 Гн; опір другої котушки 600 Ом. Який струм потече в другій котушці, якщо струм силою 0,3 А, що тече в першій котушці, вимикається протягом 0,001 с?

**3.596.** В магнітному полі з індукцією 0,1 Тл, вміщено квадратну рамку з мідного дроту. Площа поперечного перерізу дроту  $1 \text{ мм}^2$ , площа рамки  $25 \text{ см}^2$ , площина рамки перпендикулярна до силових ліній поля. Яка кількість електрики пройде по контуру рамки при зникненні магнітного поля?

**3.597.** В магнітному полі з індукцією 0,05 Тл, поміщена котушка, що складається з 200 витків дроту. Опір котушки 40 Ом, площа її поперечного перерізу  $12 \text{ см}^2$ . Котушка розміщена так, що її вісь складає з напрямком магнітного поля кут  $60^\circ$ . Яка кількість електрики протікає по котушці при зникненні магнітного поля?

**3.598.** Коловий контур радіусом 2 см поміщений в однорідне магнітне поле з індукцією 0,2 Тл. Площина контуру перпендикулярна до напрямку магнітного поля, опір контуру 1 Ом. Яка кількість електрики протікає через котушку при її повороті на кут  $90^\circ$ ?

**3.599.** Квадратний контур зі стороною 10 см, по якому протікає струм силою 6 А, знаходиться в магнітному полі з індукцією 0,8 Тл під кутом  $50^\circ$  до ліній індукції. Яку роботу потрібно виконати, щоб при незмінній силі струму в контурі змінити його форму на коло?

**3.600.** Плоский контур із струмом 5 А вільно встановився в однорідному магнітному полі з індукцією 0,4 Тл. Площа контуру 200 см<sup>2</sup>. Підтримуючи струм у контурі незмінним, його повернули навколо осі, що лежить у площині контуру, на кут 40°. Визначити виконану при цьому роботу.

**3.601.** Виток, у якому підтримується постійний струм силою 60 А, вільно встановився в однорідному магнітному полі з індукцією 20 мТл. Діаметр витка 10 см. Яку роботу необхідно виконати для того, щоб повернути виток навколо осі, яка збігається з діаметром, на кут  $\pi/3$ ?

**3.602.** В однорідному магнітному полі перпендикулярно до ліній індукції розташований плоский контур площею 100 см<sup>2</sup>. Підтримуючи у контурі постійним струм силою 50 А, його перемістили з поля у область простору, де поле відсутнє. Визначити магнітну індукцію поля, якщо при переміщенні контуру була виконана робота 0,4 Дж.

**3.603.** Плоский контур зі струмом силою 50 А розташований в однорідному магнітному полі з індукцією 0,6 Тл так, що нормаль до контуру перпендикулярна до ліній магнітної індукції. Визначити роботу, що виконується силами поля при повільному повороті контуру навколо осі, яка лежить у площині контуру, на кут 30°.

**3.604.** Прямий дріт довжиною 40 см, по якому протікає струм силою 100 А, рухається в однорідному магнітному полі з індукцією 0,5 Тл. Яку роботу виконали сили, що діють на дріт з боку поля, перемістивши його на 40 см, якщо напрямок переміщення перпендикулярний до ліній індукції та дроту?

**3.605.** По провіднику, зігнутому у вигляді квадрату зі стороною довжиною 10 см, протікає струм силою 20 А. Площина квадрата перпендикулярна до магнітних силових ліній поля. Визначити роботу, яку необхідно виконати, для того щоб видалити провідник за межі поля. Магнітна індукція дорівнює 0,1 Тл. Поле вважати однорідним.

**3.606.** Два прямолінійних довгих паралельних провідника знаходяться на відстані 10 см один від одного. По провідникам протікають струми в одному напрямку силою 20 А і 30 А. Яку роботу необхідно виконати (на одиницю довжини провідників), щоб розсунути ці провідники на відстань 20 см?

**3.607.** Два прямолінійних довгих паралельних провідника знаходяться на певній відстані один від одного. По провідникам протікають струми, рівні за величиною та напрямком. Знайти силу струму, що протікає по кожному з провідників, якщо відомо, що для того, щоб розсунути ці провідники на вдвічі більшу відстань, довелося виконати роботу (на одиницю довжини провідників), що дорівнює  $5,5 \text{ мкДж/м}$ .

**3.608.** Рамка у вигляді кільця зі струмом силою  $1 \text{ А}$  і радіусом  $2 \text{ см}$  знаходиться в повітрі в однорідному магнітному полі, напруженість якого дорівнює  $75 \text{ А/м}$ . Площина рамки становить кут  $10^\circ$  з вектором напруженості поля. Яку роботу необхідно виконати, щоб повернути рамку перпендикулярно до поля?

**3.609.** Прямолінійний провідник зі струмом силою  $5 \text{ А}$  і довжиною  $1 \text{ м}$  обертається зі швидкістю  $50 \text{ об/с}$  у площині, перпендикулярній до магнітного поля, навколо осі, що проходить через кінець провідника. Напруженість магнітного поля дорівнює  $50 \text{ А/м}$ . Визначити роботу, виконану за  $5 \text{ хв}$  сторонніми силами при обертанні провідника.

**3.610.** Визначити роботу зовнішніх сил, що виконується при переміщенні провідника за  $30 \text{ хв}$ , якщо він рухається зі швидкістю  $30 \text{ км/год}$  перпендикулярно до магнітного поля, напруженість якого  $15 \text{ А/м}$ . Довжина провідника  $20 \text{ см}$ , по ньому протікає струм силою  $0,5 \text{ А}$ .

**3.611.** Плоский квадратний контур зі стороною  $10 \text{ см}$ , по якому протікає струм силою  $100 \text{ А}$ , вільно встановився в однорідному магнітному полі з індукцією  $1 \text{ Тл}$ . Визначити роботу, що виконується зовнішніми силами при повороті контуру навколо осі, що проходить через середину його протилежних сторін, на кут  $90^\circ$ . При повороті контуру сила струму у ньому підтримується незмінною.

**3.612.** Котушка діаметром  $10 \text{ см}$ , що має  $500$  витків, знаходиться у магнітному полі. Вісь котушки утворює кут  $60^\circ$  з напрямком вектора магнітної індукції. Чому буде дорівнювати середнє значення ЕРС індукції в цій котушці, якщо індукція магнітного поля збільшуватиметься від  $0$  до  $2 \text{ Тл}$  протягом  $0,1 \text{ с}$ ?

**3.613.** В однорідному магнітному полі з індукцією  $0,8$  Тл рівномірно обертається рамка з кутовою швидкістю  $15$  рад/с. Площа рамки  $150$  см<sup>2</sup>. Вісь обертання знаходиться в площині рамки і становить кут  $30^\circ$  з напрямком силових ліній магнітного поля. Визначити максимальну ЕРС індукції в рамці, що обертається.

**3.614.** Вісь котушки, що має  $3000$  витків і діаметр  $10$  см, розташована горизонтально вздовж земного меридіана. По котушці протікає струм силою  $2$  А. Горизонтальна складова напруженості магнітного поля Землі  $16$  А/м. Яку роботу необхідно виконати, щоб повернути котушку на кут  $180^\circ$ ?

**3.615.** У якому випадку ЕРС індукції в провіднику буде більшою: при зміні магнітного потоку, що пронизує його, від  $10$  Вб до нуля протягом  $5$  с або при його зміні від  $1$  Вб до нуля протягом  $0,1$  с? У скільки разів?

**3.616.** У магнітному полі з індукцією  $0,25$  Тл перпендикулярно до ліній індукції зі швидкістю  $0,5$  м/с рухається провідник довжиною  $1,2$  м. Знайти ЕРС індукції у провіднику.

**3.617.** Магнітний потік, що пронизує провідний контур, рівномірно змінився на  $0,6$  Вб так, що ЕРС індукції виявилася рівною  $1,2$  В. Знайти час зміни магнітного потоку і силу індукційного струму, якщо опір провідника  $0,24$  Ом.

**3.618.** Котушка опором  $100$  Ом і площею перерізу  $5$  см<sup>2</sup>, що складається з  $1000$  витків, внесена в однорідне магнітне поле. Протягом деякого часу індукція зменшилася від  $0,8$  Тл до  $0,3$  Тл. Який заряд індуковано у провіднику за цей час?

**3.619.** Перпендикулярно до силових ліній магнітного поля переміщується провідник довжиною  $1,8$  м зі швидкістю  $6$  м/с. ЕРС індукції  $1,44$  В. Знайти індукцію магнітного поля.

**3.620.** З якою швидкістю необхідно переміщувати провідник довжиною  $60$  см в однорідному магнітному полі з індукцією  $0,4$  Тл під кутом  $60^\circ$  до силових ліній, щоб у провіднику виникла ЕРС індукції в  $1$  В?

**3.621.** Прямолінійний провідник довжиною  $0,5$  м рухається у магнітному полі зі швидкістю  $6$  м/с під кутом  $30^\circ$  до вектора магнітної індукції. Визначити індукцію магнітного поля, якщо у провіднику виникає ЕРС індукції  $3$  В.

**3.622.** Реактивний літак, що має розмах крил 50 м, летить горизонтально зі швидкістю 800 км/год. Визначити різницю потенціалів, що виникає між кінцями крил, якщо вертикальна складова індукції магнітного поля Землі складає  $5 \cdot 10^{-5}$  Тл.

## **8. Закон Генрі для явища самоіндукції. Індуктивність. Магнітні властивості речовини. Енергія магнітного поля**

**3.623.** З якого числа витків дроту складається одношарова обмотка котушки з індуктивністю 0,01 Гн? Діаметр котушки 4 см, діаметр дроту 0,6 мм. Витки щільно прилягають один до одного.

**3.624.** Скільки витків має котушка з індуктивністю  $10^{-4}$  Гн, якщо при силі струму в 1 А магнітний потік крізь котушку дорівнює 2 мкВб?

**3.625.** На картонний каркас довжиною 50 см і площею перерізу  $4 \text{ см}^2$  намотаний в один шар дріт діаметром 0,2 мм так, що витки щільно прилягають один до одного (товщиною ізоляції знехтувати). Визначити індуктивність цього соленоїда.

**3.626.** Знайти індуктивність котушки, що має 400 витків на довжині 20 см. Площа поперечного перерізу котушки  $9 \text{ см}^2$ . Знайти індуктивність цієї котушки у випадку, якщо всередину її введено залізне осердя. Магнітна проникність матеріалу осердя в умовах роботи дорівнює 400.

**3.627.** Обмотка соленоїда складається з деякої кількості витків мідного дроту з поперечним перерізом  $1 \text{ мм}^2$ , щільно навитих в один прошарок. Довжина соленоїда 25 см та його опір 0,2 Ом. Знайти індуктивність соленоїда.

**3.628.** Котушка довжиною 20 см та діаметром 3 см має 400 витків. По котушці протікає струм силою 2 А. Знайти індуктивність котушки та магнітний потік, що пронизує площу її поперечного перерізу.

**3.629.** Котушка із залізним осердям має площу поперечного перерізу  $20 \text{ см}^2$  і кількість витків, що дорівнює 500. Індуктивність котушки з осердям 0,28 Гн при силі струму через обмотку в 5 А. Знайти магнітну проникність залізного осердя за цих умов.

**3.630.** Соленоїд довжиною 50 см та площею поперечного перерізу  $2 \text{ см}^2$  має індуктивність  $2 \cdot 10^{-7}$  Гн. При якій силі струму об'ємна густина енергії магнітного поля всередині соленоїда дорівнює  $10^{-3}$  Дж/м<sup>3</sup>?

**3.631.** Площа поперечного перерізу соленоїда із залізним осердям дорівнює  $10 \text{ см}^2$ . Знайти магнітну проникність матеріалу осердя за умов, коли магнітний потік, що пронизує площу поперечного перерізу соленоїда, дорівнює  $1,4 \cdot 10^{-3}$  Вб. Знайти, якій силі струму, що протікає через соленоїд, відповідає цей магнітний потік, якщо відомо, що індуктивність соленоїда за таких умов дорівнює 0,44 Гн. Довжина соленоїда дорівнює 1 м.

**3.632.** Є соленоїд довжиною 50 см зі вставленим всередину осердям такого сорту заліза, для якого залежність  $B = f(H)$  невідома. Число витків на одиницю довжини соленоїда дорівнює 400, площа поперечного перерізу соленоїда  $10 \text{ см}^2$ . Знайти магнітну проникність осердя при силі струму через обмотку соленоїда 5 А. Відомо, що за цих умов магнітний потік, що пронизує площу поперечного перерізу соленоїда з осердям, дорівнює  $1,6 \cdot 10^{-3}$  Вб. Знайти індуктивність соленоїда за цих умов.

**3.633.** Є соленоїд завдовжки 50 см із залізним осердям, з площею поперечного перерізу  $10 \text{ см}^2$  та числом витків 1000. Знайти його індуктивність, якщо по обмотці соленоїда тече струм силою: 0,1 А; 2 А.

**3.634.** По соленоїду протікає струм силою 1 А. Магнітний потік, що пронизує поперечний переріз сердечника, дорівнює 2 мкВб. Визначити індуктивність соленоїда, якщо він має 500 витків.

**3.635.** Знайти індуктивність соленоїда, якщо при швидкості зміни сили струму 20 А/с середнє значення ЕРС самоіндукції в ньому становить 0,04 В.

**3.636.** Визначити індуктивність соленоїда із залізним осердям, магнітний потік та енергію в ньому, якщо по соленоїду завдовжки 30 см протікає струм силою 3 А, діаметр соленоїда становить 6 см і на кожен сантиметр довжини припадає 10 витків. Залежність індукції від напруженості магнітного поля  $B = f(H)$  для даного зразка заліза показана на рис. 68.

**3.637.** Соленоїд без осердя з обмоткою із дроту діаметром 1 мм має довжину 1 м і поперечний переріз  $40 \text{ см}^2$ . Якої сили струм тече по обмотці при напрузі 25 В, якщо за час 0,001 с в обмотці виділяється кількість теплоти, що дорівнює енергії поля соленоїда?

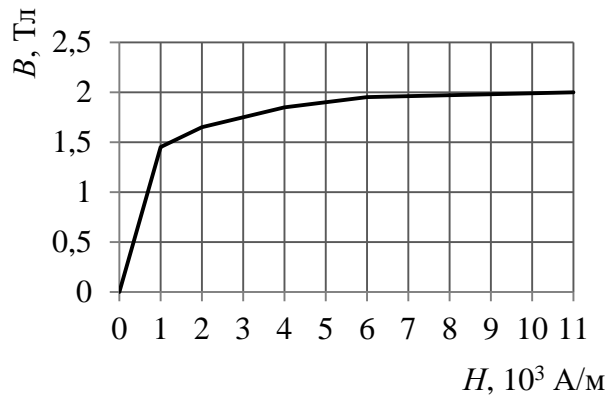


Рис. 68

**3.638.** В соленоїд завдовжки 30 см, що має 900 витків, введено залізне осердя. Знайти намагніченість заліза всередині соленоїда, якщо по ньому протікає струм силою 1 А. Залежність  $B = f(H)$  показана на рис. 68.

**3.639.** Індукція магнітного поля в залізному осерді дорівнює 1,5 Тл. Визначити намагніченість заліза. Залежність  $B = f(H)$  показана на рис. 68.

**3.640.** По соленоїду довжиною 0,5 м і з числом витків 250 протікає струм силою 5 А. Площа поперечного перерізу  $25 \text{ см}^2$ , соленоїд має залізне осердя. Знайти енергію магнітного поля соленоїда. Залежність  $B = f(H)$  заліза показана на рис. 68.

**3.641.** По соленоїду довжиною 0,5 м і з числом витків 250 протікає струм силою 5 А. Площа поперечного перерізу  $25 \text{ см}^2$ , соленоїд має залізне осердя. Знайти об'ємну густину енергії магнітного поля. Залежність  $B = f(H)$  заліза показана на рис. 68.

**3.642.** По соленоїду завдовжки 0,2 м, площею поперечного перерізу  $10 \text{ см}^2$  і з числом витків 800 протікає струм силою 1 А. Соленоїд знаходиться в діаманітному середовищі. Індуктивність соленоїда дорівнює 0,4 мГн. Знайти магнітну індукцію всередині соленоїда.

**3.643.** Соленоїд містить 4000 витків дроту, по якому протікає струм силою 20 А. Визначити магнітний потік і потокозчеплення, якщо індуктивність соленоїда дорівнює 0,4 Гн.

**3.644.** Визначити силу струму в колі через 0,01 с після його розмикання. Опір кола 20 Ом, його індуктивність 0,1 Гн. Сила струму до розмикання кола 50 А.

**3.645.** По обмотці соленоїда з індуктивністю 0,2 Гн протікає струм силою 10 А. Визначити енергію магнітного поля соленоїда.

**3.646.** Індуктивність соленоїда, намотаного в один шар на немагнітний каркас, становить 0,5 мГн, довжина соленоїда 0,6 м, діаметр 2 см. Визначити кількість витків, що припадають на одиницю довжини соленоїда.

**3.647.** Соленоїд містить 600 витків. При силі струму 10 А магнітний потік дорівнює 80 мкВб. Визначити індуктивність соленоїда.

**3.648.** Соленоїд має сталеве повністю розмагнічене осердя об'ємом 500 см<sup>3</sup>. Напруженість магнітного поля соленоїда при силі струму 0,6 А дорівнює 1000 А/м. Визначити індуктивність соленоїда. Залежність  $B = f(H)$  для цього сорту сталі приведена на рис. 69.

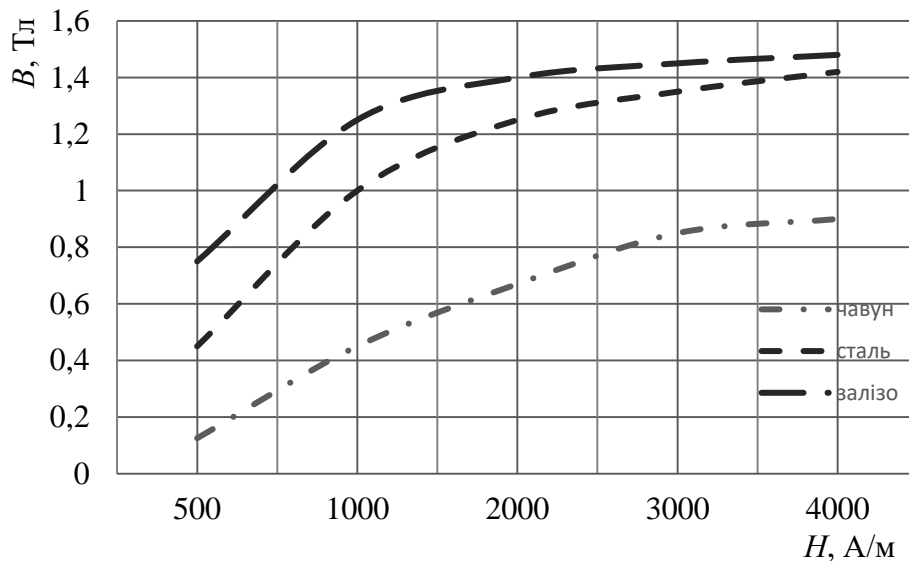


Рис. 69

**3.649.** Обмотка соленоїда із залізним осердям містить 600 витків. Довжина осердя 40 см. Як і у скільки разів зміниться індуктивність соленоїда, якщо сила струму, що протікає по обмотці, зростає від 0,2 А до 1 А? Залежність  $B = f(H)$  показана на рис. 69.

**3.650.** Залізний зразок поміщений у магнітне поле, напруженість якого 796 А/м. Знайти магнітну проникність заліза за цих умов. Залежність  $B = f(H)$  показана на рис. 69.

**3.651.** На залізне повністю розмагнічене осердя діаметром 5 см і довжиною 80 см намотано в один шар 240 витків дроту. Визначити індуктивність цього соленоїда при силі струму 0,6 А. Залежність  $B = f(H)$  показана на рис. 69.

**3.652.** Визначити енергію магнітного поля в залізному осерді об'ємом  $400 \text{ см}^3$ , якщо індукція дорівнює 1,5 Тл (магнітну проникність заліза визначити за графіком на рис. 69).

**3.653.** Силу струму в котушці рівномірно збільшують за допомогою реостату зі швидкістю 0,6 А/с. Знайти середнє значення ЕРС самоіндукції, якщо індуктивність котушки дорівнює 5 мГн.

**3.654.** Соленоїд містить 800 витків. Переріз осердя (з немагнітного матеріалу) дорівнює  $10 \text{ см}^2$ . По обмотці протікає струм, що створює магнітне поле з індукцією 8 мТл. Визначити середнє значення ЕРС самоіндукції, що виникає на затискачі соленоїда, якщо струм зменшується практично до нуля протягом 0,8 мс.

**3.655.** По котушці індуктивністю 8 мГн протікає струм силою 6 А. При вимкненні струму він зменшується практично до нуля протягом 5 мс. Визначити середнє значення ЕРС самоіндукції, що виникає в контурі.

**3.656.** В електричному колі, що складається з опору 20 Ом та індуктивності 0,06 Гн, протікає струм силою 20 А. Визначити силу струму в колі через 0,2 мс після його розмикання.

**3.657.** По замкнутому колу з опором 20 Ом тече струм. Через 8 мс після розмикання кола сила струму в ньому зменшилася в 20 разів. Визначити індуктивність кола.

**3.658.** Коло складається з котушки індуктивністю 0,1 Гн і джерела струму. Джерело струму вимкнули, не розриваючи кола. Час, після якого сила струму зменшується до 0,001 від початкового значення, дорівнює 0,07 с. Визначити опір котушки.

**3.659.** Джерело струму замкнули на котушку опором 10 Ом та індуктивністю 0,2 Гн. Через який час сила струму в колі досягає 50 % максимального значення?

**3.660.** Джерело струму замкнули на котушку опором 20 Ом. Через 0,6 с після включення сила струму досягла 95 % максимального значення. Визначити індуктивність котушки.

**3.661.** В соленоїді перерізом 5 см<sup>2</sup> створено магнітний потік 20 мкВб. Визначити об'ємну густину енергії магнітного поля соленоїда. Осердя відсутнє. Магнітне поле соленоїда вважати однорідним.

**3.662.** Магнітний потік в соленоїді, що містить 1000 витків, дорівнює 0,2 мВб. Визначити енергію магнітного поля соленоїду, якщо сила струму, що протікає по витках соленоїда, дорівнює 1 А. Осердя відсутнє. Магнітне поле соленоїда вважати однорідним.

**3.663.** Діаметр тороїда (по середній лінії) дорівнює 50 см. Тороїд містить 2000 витків і має площу перерізу 20 см<sup>2</sup>. Обчислити енергію магнітного поля тороїда при силі струму 5 А. Вважати магнітне поле однорідним. Осердя виконане з немагнітного матеріалу.

**3.664.** При якій силі струму у прямолінійному дроті нескінченної довжини на відстані 5 см від нього об'ємна густина енергії магнітного поля дорівнюватиме 1 мДж/м<sup>3</sup>?

**3.665.** Обмотка тороїда має 10 витків на кожний сантиметр довжини (по середній лінії тороїда). Обчислити об'ємну густину енергії магнітного поля при силі струму 10 А. Осердя виконане з немагнітного матеріалу, магнітне поле в усіх точках тороїда вважати однаковим.

**3.666.** Обмотка соленоїда містить 20 витків на кожен сантиметр довжини. При якій силі струму об'ємна густина енергії магнітного поля дорівнюватиме 0,1 Дж/м<sup>3</sup>? Осердя виконане з немагнітного матеріалу, магнітне поле соленоїда однорідне.

**3.667.** Соленоїд має довжину 0,6 м і переріз 10 см<sup>2</sup>. При певній силі струму, що протікає по обмотці, в соленоїді створюється магнітний потік 0,1 мВб. Чому дорівнює енергія магнітного поля соленоїда?

**3.668.** Чому дорівнює густина енергії магнітного поля струму 10 А, що протікає у дуже довгому прямолінійному дроті, в точках, віддалених від осі дроту на 2 см? Провідник знаходиться у повітрі.

**3.669.** У скільки разів зменшиться струм у котушці через 0,05 с після вимкнення ЕРС і закорочування котушки? Індуктивність котушки 0,2 Гн, опір 1,64 Ом.

**3.670.** У соленоїді у вигляді тороїда з немагнітним осердям струм рівномірно зростає зі швидкістю 100 А/с. Визначити ЕРС самоіндукції в соленоїді, якщо він складається з 1000 витків, має площу кожного витка  $5 \text{ см}^2$  та довжину осьової лінії тороїда 40 см.

**3.671.** Електрична лампочка, опір якої в гарячому стані дорівнює 10 Ом, підключається через дросель до акумулятора на 12 В. Індуктивність дроселя 2 Гн, опір 1 Ом. Через який час після вмикання лампочка загориться, якщо вона починає помітно світитися при напрузі на ній 6 В?

**3.672.** Є котушка довжиною 20 см та діаметром 2 см. Обмотка котушки складається з 200 витків мідного дроту, площа поперечного перерізу якого  $1 \text{ мм}^2$ . Котушка увімкнена в коло з деякою ЕРС. За допомогою перемикача джерело ЕРС вимикається, і одночасно котушка закорочується. Через скільки часу після вимкнення ЕРС сила струму в котушці зменшиться в 2 рази?

**3.673.** Є котушка індуктивністю 0,2 Гн та опором 1,64 Ом. Знайти, у скільки разів зменшиться сила струму в котушці через 0,05 с після того, як ЕРС вимикається і котушка замикається провідником з нульовим опором.

**3.674.** Котушка має опір 10 Ом та індуктивність 0,144 Гн. Визначити, через скільки часу після замикання електричного кола на джерело струму в котушці встановиться струм, що дорівнює половині максимального?

**3.675.** Контур має опір 2 Ом та індуктивність 0,2 Гн. Побудувати графік залежності зростання сили струму в контурі від часу, що пройшов з моменту вмикання в колі ЕРС. По осі ординат відкладати відношення сили струму до максимального значення сили струму. Графік побудувати для інтервалу  $0 \leq t \leq 0,5 \text{ с}$  через 0,1 с.

**3.676.** Квадратна рамка з мідного дроту перерізом  $1 \text{ мм}^2$  поміщена в магнітне поле, індукція якого змінюється за законом  $B = B_0 \sin \omega t$ , де  $B_0 = 0,01 \text{ Тл}$ ,  $\omega = 2\pi/T$  і  $T = 0,02 \text{ с}$ . Площа рамки  $25 \text{ см}^2$ . Площина рамки перпендикулярна

до напрямку магнітного поля. Знайти залежність від часу та найбільше значення ЕРС індукції, що виникає в рамці, та сили струму, що протікає по ній.

**3.677.** Квадратна рамка з мідного дроту перерізом  $1 \text{ мм}^2$  поміщена в магнітне поле, індукція якого змінюється за законом  $B = B_0 \sin \omega t$ , де  $B_0 = 0,01 \text{ Тл}$ ,  $\omega = 2\pi/T$  і  $T = 0,02 \text{ с}$ . Площа рамки  $25 \text{ см}^2$ . Площина рамки перпендикулярна до напрямку магнітного поля. Знайти залежність від часу сили струму, що протікає по рамці, та її найбільше значення.

**3.678.** Через котушку індуктивністю  $0,021 \text{ Гн}$  тече струм, що змінюється з часом за законом  $I = I_0 \sin \omega t$ , де  $I_0 = 5 \text{ А}$ ,  $\omega = 2\pi/T$  і  $T = 0,02 \text{ с}$ . Знайти залежність від часу ЕРС самоіндукції та енергії магнітного поля котушки.

**3.679.** Дві котушки мають взаємну індуктивність, що дорівнює  $0,005 \text{ Гн}$ . У першій котушці сила струму змінюється за законом  $I = I_0 \sin \omega t$ , де  $I_0 = 10 \text{ А}$ ,  $\omega = 2\pi/T$  і  $T = 0,02 \text{ с}$ . Знайти залежність від часу ЕРС, що наводиться в другій котушці, та її максимальне значення.

**3.680.** Сила струму в соленоїді рівномірно збільшується від  $0$  до  $10 \text{ А}$  за  $1 \text{ хв}$ , при цьому соленоїд накопичує енергію  $20 \text{ Дж}$ . Яка ЕРС самоіндукції наводиться в соленоїді?

**3.681.** Якої довжини потрібно взяти дріт діаметром  $1 \text{ мм}$ , щоб виготовити одношаровий соленоїд індуктивністю  $0,01 \text{ Гн}$ ? Площа поперечного перерізу соленоїда  $7,5 \text{ см}^2$ . Осердя відсутнє.

**3.682.** По соленоїду, що має  $1000$  витків, протікає струм силою  $1 \text{ А}$ . Яка індуктивність соленоїда, якщо магнітний потік, створюваний струмом, дорівнює  $0,5 \text{ мВб}$ ?

**3.683.** На картонний каркас завдовжки  $50 \text{ см}$  і площею перерізу  $4 \text{ см}^2$  намотано в один шар дріт діаметром  $0,2 \text{ мм}$  так, що витки щільно прилягають один до одного (товщиною ізоляції знехтувати). Визначити індуктивність цього соленоїду.

**3.684.** Визначити силу струму в колі через  $0,01 \text{ с}$  після його розмикання. Опір кола  $20 \text{ Ом}$ , індуктивність  $0,1 \text{ Гн}$ . Сила струму до розмикання становила  $50 \text{ А}$ .

**3.685.** Комплексною характеристикою магнітних властивостей котушок є ампер-витки. Це добуток кількості витків на силу струму в них. Скільки ампер-витків знадобиться для того, щоб усередині соленоїда малого діаметра і довжиною 30 см об'ємна густина енергії магнітного поля була рівна  $1,75 \text{ Дж/м}^3$ ?

**3.686.** Комплексною характеристикою магнітних властивостей котушок є ампер-витки. Це добуток кількості витків на силу струму в них. Скільки ампер-витків знадобиться для створення магнітного потоку в  $0,42 \text{ мВб}$  у соленоїді із залізним осердям завдовжки 120 см та площею поперечного перерізу  $3 \text{ см}^2$ ?

**3.687.** Визначити магнітну індукцію в замкнутому залізному осерді тороїда довжиною 20,9 см, якщо число ампер-витків обмотки тороїда дорівнює 1500. Знайти магнітну проникність матеріалу осердя за цих умов.

**3.688.** Усередині соленоїда довжиною 25,1 см та діаметром 2 см вміщено залізне осердя. Соленоїд має 200 витків. Побудувати для соленоїда з осердям графік залежності магнітного потоку від сили струму в межах  $0 \leq I \leq 5 \text{ А}$  через 1 А. По осі ординат відкласти магнітний потік (у  $10^{-4} \text{ Вб}$ ).

**3.689.** Соленоїд перерізом  $10 \text{ см}^2$  містить  $10^3$  витків. При силі струму 5 А магнітна індукція поля всередині соленоїда дорівнює  $0,05 \text{ Тл}$ . Визначити індуктивність соленоїда.

**3.690.** На картонний каркас довжиною 0,8 м та діаметром 4 см намотаний в один шар дріт діаметром 0,25 мм так, що витки щільно прилягають один до одного. Обчислити індуктивність цього соленоїда.

**3.691.** Котушка, що намотана на магнітний циліндричний каркас, має 250 витків та індуктивність  $36 \text{ мГн}$ . Щоб збільшити індуктивність котушки до  $100 \text{ мГн}$ , обмотку котушки зняли і замінили обмоткою з тоншого дроту з таким розрахунком, щоб довжина котушки залишилася незмінною. Визначити кількість витків в котушці після перемотування.

**3.692.** Індуктивність соленоїда, намотаного в один шар на немагнітний каркас, дорівнює  $0,5 \text{ мГн}$ . Довжина соленоїда 0,6 м, діаметр – 2 см. Визначити відношення числа витків соленоїда до його довжини.

**3.693.** Соленоїд містить 800 витків. Переріз осердя (з немагнітного матеріалу)  $10 \text{ см}^2$ . По обмотці протікає струм, який створює поле з індукцією 8 Тл. Визначити середнє значення ЕРС самоіндукції, що виникає на затискачах соленоїда, якщо сила струму зменшується практично до нуля протягом 0,8 мс.

**3.694.** По котушці індуктивністю 8 мкГн протікає струм силою 6 А. Визначити середнє значення ЕРС самоіндукції, що виникає в контурі, якщо сила струму зменшується практично до нуля протягом 5 мс.

**3.695.** В електричному колі, що містить резистор опором 20 Ом і котушку індуктивністю 0,06 Гн, протікає струм силою 20 А. Визначити силу струму у колі через 0,2 с після його розмикання.

**3.696.** Коло складається з котушки індуктивністю 0,1 Гн і джерела струму. Джерело струму відключили, а коло замкнули провідником з нульовим опором. Час, за який сила струму зменшиться до 0,001 від початкового значення, дорівнює 0,07 с. Визначити опір котушки.

**3.697.** Джерело струму замкнули на котушку опором 20 Ом та індуктивністю 0,8 Гн. Через який час сила струму в колі досягає 50 % максимального значення?

**3.698.** Джерело струму замкнули на котушку опором 80 Ом. Через час 0,4 с струм у котушці досяг 0,95 максимального значення. Визначити індуктивність котушки.

**3.699.** Соленоїд 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.

**3.700.** На картонний каркас довжиною 0,8 м і діаметром 40 см намотаний в один шар дріт діаметром 0,28 мм так, що витки щільно прилягають один до одного. Обчислити індуктивність цього соленоїда.

**3.701.** Котушка, намотана на немагнітний циліндричний каркас, має 200 витків та індуктивність 86 мГн. Щоб збільшити індуктивність котушки до 400 мГн, обмотку котушки зняли і замінили обмоткою з більш тонкого дроту з таким розрахунком, щоб довжина котушки залишилася незмінною. Визначити кількість витків в котушці після перемотування.

- 3.702.** Замкнене залізне осердя довжиною 50 см має обмотку в 1000 витків. По обмотці тече струм силою 1 А. Який струм необхідно пустити через обмотку, щоб при видаленні осердя індукція залишилася попередньою?
- 3.703.** Соленоїд із осердям з немагнітного матеріалу містить 1200 витків дроту, що щільно прилягають один до одного. При силі струму 4 А магнітний потік дорівнює 6 мкВб. Визначити індуктивність соленоїда та енергію магнітного поля соленоїда.
- 3.704.** Обмотка електромагніта має опір 10 Ом, індуктивність 0,2 Гн і знаходиться під постійною напругою. Протягом якого проміжку часу в обмотці виділиться кількість теплоти, що дорівнює енергії магнітного поля в осерді?
- 3.705.** Яка енергія магнітного поля в котушці довжиною 50 см, що має 10000 витків діаметром 25 см, без залізного осердя, якщо по ній протікає струм 2 мА?
- 3.706.** Електромагніт індуктивністю 5 Гн підключений до джерела струму, ЕРС якого дорівнює 110 В. Визначити загальну ЕРС в момент розмикання кола, якщо при цьому сила струму зменшується зі швидкістю 8 А/с.
- 3.707.** У котушці опором 5 Ом тече струм силою 17 А. Індуктивність котушки 50 мГн. Якою буде напруга на затискачах котушки, якщо струм у ній рівномірно зростає зі швидкістю 1000 А/с?
- 3.708.** Визначити енергію магнітного поля котушки, що складається з 200 витків, якщо при силі струму в 4 А ній виникає магнітний потік, що дорівнює 0,01 Вб.
- 3.709.** Струм у котушці зменшився з 12 А до 8 А. При цьому енергія магнітного поля котушки зменшилася на 2 Дж. Яка індуктивність котушки та енергія її магнітного поля в обох випадках?
- 3.710.** При якій силі струму у витках соленоїда густина енергії магнітного поля в центрі соленоїда становить 20 Дж/м<sup>3</sup>? Довжина соленоїда 50 см, число витків – 10<sup>4</sup>.
- 3.711.** При проходженні по контуру струму силою 12 А зчеплений з контуром магнітний потік дорівнює 4·10<sup>-5</sup> Вб. За допомогою реостата струм у

контурі зменшується до нуля. Визначити кількість теплоти, що виділялася в контурі за цей час завдяки струму самоіндукції.

**3.712.** Котушка з індуктивністю  $0,3$  Гн входить до кола змінного струму, який змінюється з часом за законом:  $I = I_0 \sin \omega t$ , де  $I_0 = 10$  А,  $\omega = 100\pi$  рад/с. Чому дорівнює найбільше значення ЕРС самоіндукції в котушці при такому струмі?

**3.713.** Одношарова котушка має  $1000$  витків площею  $5$  см<sup>2</sup> кожен. Довжина котушки велика порівняно з діаметром витка, каркас котушки немагнітний. Визначити індуктивність котушки, якщо відомо, що при струмі в обмотці силою  $2$  А напруженість магнітного поля всередині котушки дорівнює  $200$  А/м.

## Список літератури

---

1. *Загальний курс фізики* : навч. посіб. для студ. вищих техн. і пед. закладів освіти: в 3 т. / За ред. І.М. Кучерука. – Т.2. – Київ: Техніка, 1999. – 452 с.
2. *Чолпан П.П. Фізика* : підручник / П.П. Чолпан. – Київ : Вища шк., 2003. – 567 с.
3. *Клапченко В.І. Конспект лекцій з фізики (електрика та магнетизм)* / В.І. Клапченко. – Київ: КНУБА, 1999. – 68 с.
4. *Клапченко В.І. Тлумачник з фізики* : навч. посіб. / В.І. Клапченко. – Київ: КНУБА, 2018. – 168 с.
5. *Фізика в будівництві* : навч. посіб. / В.І. Клапченко та ін. – Київ: КНУБА, 2012. – 252 с.
6. *Фізика. Збірник задач* : навч. посіб. для студ. усіх спеціальностей / В.І. Клапченко та ін.; за заг. ред. В.І. Клапченка. – Київ: КНУБА, 2009. – 252 с.

## Додаток

### 1. Основні одиниці Міжнародної системи (СІ)

Величина	Найменування	Позначення
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

### 2. Основні фізичні сталі

Назва фізичної сталої	Позначення	Числове значення
Стала Планка	$h$	$6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с
Маса спокою електрона	$m_e$	$9,11 \cdot 10^{-31}$ кг
Атомна одиниця маси	а.о.м.	$1,66 \cdot 10^{-27}$ кг
Стала Больцмана	$k$	$1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К
Заряд електрона	$e$	$1,60 \cdot 10^{-19}$ Кл
Енергія іонізації атома водню	$W_i$	$2,18 \cdot 10^{-18}$ Дж = 13,56 еВ
Електрична стала	$\epsilon_0$	$8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м
Гравітаційна стала	$\gamma$	$6,67 \cdot 10^{-11}$ м <sup>3</sup> /(кг·с <sup>2</sup> )
Магнітна стала	$\mu_0$	$4\pi \cdot 10^{-7}$ Гн/м
Універсальна газова стала	$R$	8,31 Дж/(моль·К)
Прискорення вільного падіння	$g$	9,81 м/с <sup>2</sup>
Число Фарадея	$F$	$9,65 \cdot 10^4$ Кл/моль
Швидкість світла у вакуумі	$c$	$3,00 \cdot 10^8$ м/с
Число Авогадро	$N_A$	$6,02 \cdot 10^{23}$ моль <sup>-1</sup>

**3. Деякі позасистемні величини**

$1^\circ = 1,75 \cdot 10^{-2}$ рад	1 рік = 365 діб = = $3,11 \cdot 10^7$ с	$1 \text{ \AA}$ (ангстрем) = $10^{-10}$ м
1 мм рт. ст. = 133,3 Па	1 доба = 86400 с	1 еВ = $1,6 \cdot 10^{-19}$ Дж
1 кал = 4,18 Дж	1 кВт·год = $3,6 \cdot 10^6$ Дж	1 Кі(кюрі) = $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк

**4. Властивості деяких твердих тіл**

Речовина	Густина, $10^3$ кг/м <sup>3</sup>	Температура плавлення, °С	Питома теплоємність, Дж/(кг·К)	Питома теплота плавлення, $10^3$ Дж/кг	Температурний коефіцієнт лінійного розширення, $10^{-5}$ К <sup>-1</sup>
Алюміній	2,60	659	896	322	2,3
Залізо	7,90	1530	500	272	1,2
Латунь	8,40	900	386		1,9
Лід	0,90	0	2100	335	
Мідь	8,60	1100	395	176	1,6
Олово	7,20	232	230	58,6	2,7
Платина	21,40	1770	117	113	0,89
Свинець	11,30	327	126	22,6	2,9
Срібло	10,50	960	234	88	1,9
Сталь	7,70	1300	460		1,06
Цинк	7,00	420	391	117	2,9

**5. Діелектрична проникність деяких речовин**

Речовина	$\epsilon$	Речовина	$\epsilon$
Ацетон	31,0	Масло трансформаторне	2,2
Бензин	2,0	Папір парафінований	3,7
Віск	7,8	Парафін	1,9...2,2
Вода	81,0	Скло	6,0...10,0
Гас	2,0	Слюда	6,0
Ебоніт	2,6...3,5	Спирт етиловий	26,8
Масло	5,0	Фарфор	4,4...6,8

**6. Питомий опір деяких провідників,  $10^{-8}$  Ом·м**

Алюміній	2,8	Ніхром	98,0
Вольфрам	5,5	Олово	12,0
Графіт	390	Ртуть	94,0
Залізо (чисте)	10,0	Свинець	22,0
Золото	2,4	Срібло	1,6
Латунь	7,0...8,0	Сталь	14,0
Мідь	1,7	Цинк	6,1

**7. Рухливість іонів в газах,  $10^{-4}$  м<sup>2</sup>/(В·с)**

Газ	Позитивні іони	Негативні іони
Азот	1,3	1,8
Водень	5,4	7,4
Кисень	1,3	1,8
Повітря	1,4	1,9
Хлор	0,6	0,5

**8. Робота виходу електронів з металів**

Метал	A, $10^{-19}$ Дж	A, eV
Калій	3,5	2,2
Літій	3,7	2,3
Платина	10,1	6,3
Рубідій	3,4	2,1
Срібло	7,5	4,7
Цезій	3,2	2,0
Цинк	6,4	4,0

**9. Основні характеристики деяких елементарних частинок**

Частинка	Символ	Заряд, $10^{-19}$ Кл	Маса, $10^{-27}$ кг
$\alpha$ -частинка	${}^4_2\alpha$	3,2	6,6446
Електрон	${}^0_{-1}e$	-1,6	0,000911
Нейтрон	${}^1_0n$	0	1,6748
Позитрон	${}^0_{+1}e$	1,6	0,000911
Протон	${}^1_1p$	1,6	1,6724

**10. Префікси кратних і частинних одиниць вимірювання SI**

Префікс	Числове значення	Позначення	Префікс	Числове значення	Позначення
ато	$10^{-18}$	а	дека	$10^1$	да
фемто	$10^{-15}$	ф	гекто	$10^2$	г
піко	$10^{-12}$	п	кіло	$10^3$	к
нано	$10^{-9}$	н	мега	$10^6$	М
мікро	$10^{-6}$	мк	гіга	$10^9$	Г
мілі	$10^{-3}$	м	тера	$10^{12}$	Т
санти	$10^{-2}$	с	пета	$10^{15}$	П
деци	$10^{-1}$	д	екса	$10^{18}$	Е

Навчально-методичне видання

# ФІЗИКА

## ЕЛЕКТРИКА ТА МАГНЕТИЗМ

Методичні рекомендації  
до розв'язування задач та завдання  
до індивідуальних контрольних робіт  
для здобувачів першого (бакалаврського) рівня вищої освіти  
за всіма спеціальностями

Укладачі: **Клапченко** Василь Іванович,  
**Тарасевич** Віталій Іванович,  
**Григорчук** Олександр Михайлович та ін.

Коректура *І. О. Кузнецової*

Комп'ютерне верстання *Ю.М. Долгополової*

Підписано до друку .2024. Формат 60 × 84<sub>1/16</sub>.

Ум. друк. арк.7,90. Обл.-вид. арк.8,5.

Електронне видання. Вид. №. 45/III-24

Видавець і виготовлювач

Київський національний університет будівництва і архітектури

Повітрофлотський проспект, 31, Київ, Україна, 03037

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру суб'єктів  
видавничої справи ДК № 808 від 13.02.2002 р.