

Ф. Я. Божинова, О. О. Карпухіна,
Т. А. Сарій

Ф

11

ІЗІКА

Академічний рівень
Профільний рівень

ЗБІРНИК ЗАДАЧ

- Різні типи фізичних задач: якісні, розрахункові, графічні
- Приклади розв'язування задач
- Відповіді до всіх задач
- Довідкові таблиці

УДК 371.388:53

ББК 22.3я72

К48

Рекомендовано для учнів 11 класу; відповідає чинній програмі з фізики для загальноосвітніх навчальних закладів, затвердженій

МІНІСТЕРСТВОМ ОСВІТИ І НАУКИ,
МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ

Науковий редактор

В. В. Хардіков, доцент кафедри теоретичної радіофізики
ХНУ ім. В. Н. Каразіна, канд. фіз.-мат. наук

Карпукіна О. О.

К48 Фізика. 11 клас. Академічний рівень. Профільний рівень: Збірник задач / Ф. Я. Божинова, О. О. Карпукіна, Т. А. Сарій. — Х.: Видавництво «Ранок», 2012. — 224 с.

ISBN 978-617-540-545-1

Збірник відповідає чинній програмі з фізики для 11 класу (академічний і профільний рівні), містить задачі трьох рівнів складності.

Видання складене максимально зручно для вчителів і учнів; з кожної теми наведені приклади розв'язування типових задач.

Призначено для учнів 11 класу загальноосвітніх навчальних закладів і вчителів фізики.

УДК 371.388:53

ББК 22.3я72

Навчальне видання

БОЖИНОВА Фаїна Яківна
КАРПУХІНА Олена Олександрівна
САРІЙ Тетяна Анатоліївна

ФІЗИКА. 11 КЛАС
Академічний рівень. Профільний рівень
Збірник задач

Редактор *О. С. Кузнєцов*. Технічний редактор *О. В. Сміян*

Код Т15117У. Підписано до друку 24.10.2011. Формат 60×90/16. Папір офсетний. Гарнітура Шкільна. Друк офсетний. Ум. друк. арк. 14. Обл.-вид. арк. 11.

ТОВ Видавництво «Ранок». Свідоцтво ДК № 3322 від 26.11.2008.

61071 Харків, вул. Кібальчича, 27, к. 135.

Для листів: 61045 Харків, а/с 3355. E-mail: office@ranok.com.ua

Тел. (057) 719-48-65, тел./факс (057) 719-58-67.

Із питань реалізації: Тел.: (057) 712-91-44, 712-90-87. E-mail: commerce@ranok.com.ua

«Книга поштою»: Тел.: (057) 717-74-55, (067) 546-53-73. E-mail: pochta@ranok.com.ua

www.ranok.com.ua

Надруковано у друкарні ПП «Тріада+»
м. Харків, вул. Киргизька, 19. Тел. 757-98-16, 703-12-21.

© Ф. Я. Божинова, О. О. Карпукіна,
Т. А. Сарій, 2011

© ТОВ Видавництво «Ранок», 2012

ISBN 978-617-540-545-1

ПЕРЕДМОВА

Розв'язання задач є необхідною складовою засвоєння учнями шкільного курсу фізики.

Збірник задач, який пропонується Вашій увазі, містить задачі різних типів за всіма темами курсу фізики 11 класу (академічний і профільний рівні). Зміст посібника відповідає чинній програмі з фізики для загальноосвітніх навчальних закладів.

Задачі, подані в посібнику, згруповані за рівнями складності (перший, другий і третій), що в цілому відповідає середньому, достатньому і високому рівням навчальних досягнень учнів у процесі вивчення курсу фізики 11 класу.

Загальна кількість задач досить велика і значно перевищує необхідну, що дозволяє використовувати збірник не тільки для розв'язування типових задач на уроках і підбору диференційованих домашніх завдань, а й для організації поточного та тематичного контролю або самоосвіти.

Структура збірника буде зручною і для учнів, і для вчителів:

- у кожному розділі наведені приклади розв'язування задач;
- якісні задачі мають позначку ? (вони не потребують розрахунків). За допомогою таких задач можна, наприклад, організувати мотиваційне фронтальне опитування;
- виділено групу однотипних задач. Перша задача з такої групи позначена сірим прямокутничком — її можна розв'язувати в класі колективно. Решта задач групи позначена світлим прямокутничком — учні аналогічно можуть розв'язувати їх самостійно на уроці або вдома;
- задачі, адресовані учням, які вивчають фізику на профільному рівні, виділені позначкою *.

ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ

1. ЗАКОН КУЛОНА. ЗАКОН ЗБЕРЕЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ЗАРЯДУ

Приклади розв'язування задач

Задача 1. Дві однакові металеві кульки із зарядами* 8 нКл і -6 нКл притягуються одна до одної із силою 3 мН. Визначити відстань між кульками. Якою стане сила взаємодії між ними, якщо їх привести в зіткнення й розвести на колишню відстань?

Дано:

$$q_1 = 8 \text{ нКл}$$

$$q_2 = -6 \text{ нКл}$$

$$F = 3 \text{ мН}$$

$$k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$$

$$R - ?$$

$$F_1 - ?$$

СІ

$$q_1 = 8 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$q_2 = -6 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$F = 3 \cdot 10^{-3} \text{ Н}$$

Розв'язання

Відповідно до закону Кулона сила взаємодії між двома нерухомими точковими зарядами q_1 і q_2 , що перебувають на відстані R один від одного дорівнює:

$$F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{R^2}.$$

Із цього виразу маємо відстань між зарядами:

$$R = \sqrt{\frac{k|q_1| \cdot |q_2|}{F}}. \quad (1)$$

Для того щоб визначити заряди кульок після зіткнення, скористаємося законом збереження електричного заряду: $q_1 + q_2 = q'_1 + q'_2$, де q'_1 і q'_2 — нові заряди кульок.

Оскільки кульки однакового розміру, то $q'_1 = q'_2 = q$, тоді $q_1 + q_2 = 2q$. Отже, заряд кожної кульки після зіткнення $q = \frac{q_1 + q_2}{2}$.

* Якщо в задачі немає спеціального застереження, вважайте заряджені тіла точковими зарядами, які розташовані у вакуумі.

Сила взаємодії кульок після зіткнення й розведення їх на колишню відстань: $F_1 = \frac{kq^2}{R^2} = \frac{k(q_1 + q_2)^2}{4R^2}$. (2)

Після підстановки виразу (1) у вираз (2) маємо:

$$F_1 = \frac{k(q_1 + q_2)^2 \cdot F}{4k|q_1| \cdot |q_2|} = \frac{(q_1 + q_2)^2 \cdot F}{4|q_1| \cdot |q_2|}$$

Визначимо значення шуканих величин:

$$[R] = \sqrt{\frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{Кл} \cdot \text{Кл}}{\text{Кл}^2 \cdot \text{Н}}} = \sqrt{\text{м}^2} = \text{м};$$

$$[F_1] = \frac{(\text{Кл} + \text{Кл})^2 \cdot \text{Н}}{\text{Кл} \cdot \text{Кл}} = \frac{\text{Кл}^2 \cdot \text{Н}}{\text{Кл}^2} = \text{Н};$$

$$\{R\} = \sqrt{\frac{9 \cdot 10^{-9} \cdot 8 \cdot 10^{-9} \cdot 6 \cdot 10^{-9}}{3 \cdot 10^{-3}}} = \sqrt{9 \cdot 16 \cdot 10^{-6}} = 12 \cdot 10^{-3};$$

$$R = 12 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 12 \text{ мм};$$

$$\{F_1\} = \frac{(8 \cdot 10^{-9} - 6 \cdot 10^{-9})^2 \cdot 3 \cdot 10^{-3}}{4 \cdot 8 \cdot 10^{-9} \cdot 6 \cdot 10^{-9}} = 0,0625 \cdot 10^{-3};$$

$$F_1 = 0,0625 \cdot 10^{-3} = 63 \cdot 10^{-6} \text{ Н} = 63 \text{ мкН}.$$

Відповідь: $R = 12 \text{ мм}$; $F_1 = 63 \text{ мкН}$.

Задача 2. Дві однакові кульки масою 0,5 г кожна підвішені в одній точці на однакових шовкових нитках довжиною 60 см. Які однакові заряди надали кулькам, якщо вони розійшлися на відстань 60 см одна від одної?

Дано:

$$m_1 = m_2 = m = 0,5 \text{ г}$$

$$l = 60 \text{ см}$$

$$R = 60 \text{ см}$$

$$q = ?$$

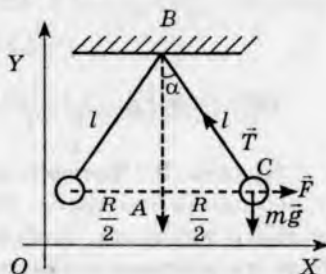
СІ

$$m = 5 \cdot 10^{-4} \text{ кг}$$

$$l = 0,60 \text{ м}$$

$$R = 0,60 \text{ м}$$

Розв'язання



На рисунку зображені заряджені кульки в положенні рівноваги в повітрі. Розглянемо умови рівноваги однієї з кульок. На неї діють сила тяжіння $m\vec{g}$, сила кулонівського відштовхування $\vec{F}$ й сила натягу нитки $\vec{T}$. Умова рівноваги: $m\vec{g} + \vec{F} + \vec{T} = 0$.

Позначимо кут, що утворюють нитки з вертикаллю, через α . Тоді в проекціях на осі OX і OY маємо:

$$\begin{cases} F - T \sin \alpha = 0, \\ mg - T \cos \alpha = 0; \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} F = T \sin \alpha, \\ mg = T \cos \alpha. \end{cases}$$

Розділивши перше рівняння на друге, одержимо: $\frac{F}{mg} = \operatorname{tg} \alpha$. (*)
Значення $\operatorname{tg} \alpha$ знайдемо з трикутника ABC :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\frac{R}{2}}{\sqrt{l^2 - \left(\frac{R}{2}\right)^2}} = \frac{R}{\sqrt{4l^2 - R^2}}.$$

За законом Кулона $F = \frac{kq^2}{R^2}$. Після підстановки виразів для F та $\operatorname{tg} \alpha$ у рівняння (*) отримаємо: $\frac{kq^2}{mg \cdot R^2} = \frac{R}{\sqrt{4l^2 - R^2}}$. Звідси

$$q = R \sqrt{\frac{mgR}{k\sqrt{4l^2 - R^2}}}.$$

Визначимо значення шуканої величини:

$$[q] = \text{м} \sqrt{\frac{\frac{\text{кг} \cdot \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot \text{м}}{\text{кг}}}{\frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2} \sqrt{\text{м}^2 - \text{м}^2}}} = \text{м} \sqrt{\frac{\text{м} \cdot \text{Кл}^2}{\text{м}^2 \cdot \text{м}}} = \frac{\text{м} \cdot \text{Кл}}{\text{м}} = \text{Кл};$$

$$\{q\} = 0,6 \cdot \sqrt{\frac{5 \cdot 10^{-4} \cdot 10 \cdot 0,6}{9 \cdot 10^9 \sqrt{4 \cdot 0,6^2 - 0,6^2}}} = 0,34 \cdot 10^{-6};$$

$$q = 0,34 \cdot 10^{-6} \text{ Кл} = 0,34 \text{ мкКл}.$$

Відповідь: $q = 0,34 \text{ мкКл}$.

Задача 3. Чотири однакові точкові заряди q розташовані у вершинах квадрата. Який точковий заряд Q треба помістити в центр квадрата, щоб вся система перебувала в рівновазі? Чи буде ця рівновага стійкою?

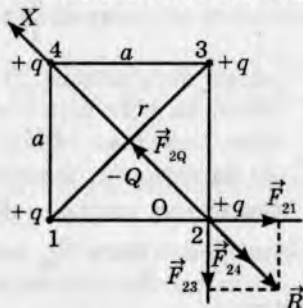
Дано:

$$q_1 = q_2 = q_3 = q_4$$

$$Q - ?$$

Розв'язання

Виконаємо пояснювальний рисунок.



Позначимо довжину сторони квадрата як a , а довжину діагоналі як r (див. рисунок). Очевидно, що модулі сил, які діють на заряд Q у центрі квадрата, з боку кожного із зарядів q дорівнюють: $F = \frac{k \cdot qQ}{\left(\frac{r}{2}\right)^2}$.

Незалежно від знака заряду Q ці сили компенсують одна одну при будь-якому значенні заряду.

Розглянемо тепер рівновагу кожного із зарядів, що перебувають у вершинах квадрата. З боку зарядів q на нього діють сили відштовхування $\vec{F}_{21}$ (з боку першого заряду на другий), $\vec{F}_{23}$ (з боку третього заряду на другий), $\vec{F}_{24}$ (з боку четвертого заряду на другий). Очевидно, щоб компенсувати ці сили, з боку заряду Q повинна діяти сила притягання, тобто заряд Q повинен бути негативним (див. рисунок). Позначимо цю силу F_{2Q} .

Умова рівноваги заряду q : $\vec{F}_{21} + \vec{F}_{23} + \vec{F}_{24} + \vec{F}_{2Q} = 0$. Враховуючи, що $\vec{R} = \vec{F}_{21} + \vec{F}_{23}$, отримаємо: $\vec{R} + \vec{F}_{24} + \vec{F}_{2Q} = 0$.

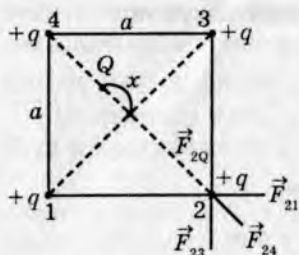
Спроектуємо це рівняння на вісь OX , що напрямлена уздовж діагоналі квадрата і врахуємо, що $R = \sqrt{F_{21}^2 + F_{23}^2}$. Маємо: $F_{2Q} = F_{24} + \sqrt{F_{21}^2 + F_{23}^2} = F_{24} + F_{21} \cdot \sqrt{2}$.

Оскільки $F_{24} = \frac{kq^2}{r^2}$; $F_{2Q} = \frac{kqQ}{\left(\frac{r}{2}\right)^2}$ і $F_{21} = \frac{kq^2}{a^2}$, маємо:

$$k \frac{4qQ}{r^2} = \frac{kq^2}{r^2} + \frac{kq^2}{a^2} \cdot \sqrt{2}.$$

Оскільки $r = \sqrt{2}a$, одержимо:

$$Q = -\frac{q}{4}(1 + 2\sqrt{2}),$$



заряд негативний. Для того щоб довідатися, чи є це положення рівноваги стійким, виведемо заряд Q із цього положення на невелику відстань x^* (див. рисунок). Очевидно, що сили $\vec{F}_{21}$, $\vec{F}_{23}$ і $\vec{F}_{24}$ не змінилися, а сила $\vec{F}_{2Q}$ зменшилася, тому що збільшилася відстань між зарядами Q і q .

Тому $F_{2Q} < F_{24} + \sqrt{F_{21}^2 + F_{23}^2}$ й рівнодійна цих чотирьох сил буде напрямлена в бік сили F_{24} , тобто виводитиме заряд q з положення рівноваги. Отже, рівновага нестійка; втім для *будь-якого* заряду, що перебуває в електричному полі, рівновага не може бути стійкою — це твердження має назву **теореми Ірншоу**.

Відповідь: $Q = -\frac{q}{4}(1 + 2\sqrt{2})$; рівновага нестійка.

1-й рівень складності

? 1.1. Як зміниться сила взаємодії між двома точковими зарядами, якщо кожний заряд зменшити в три рази?

? 1.2. Як зміниться сила взаємодії між двома точковими зарядами, якщо відстань між ними збільшити у два рази?

? 1.3. Як зміниться сила взаємодії між двома точковими зарядами, якщо один з них збільшити у два рази, а другий — у три рази?

1.4. Два однакові за модулем і знаком точкові заряди, розташовані на відстані 5 см один від одного, відштовхуються із силою 0,1 Н. Визначити значення кожного заряду.

1.5. На якій відстані один від одного точкові заряди 10 мкКл і 25 нКл взаємодіють із силою 25 мН?

* Якщо заряди перебувають у положенні стійкої рівноваги, то при невеликому відхиленні повинна виникати сила, що повертає їх у положення рівноваги.

1.6. Два позитивні точкові заряди q і $5q$, розташовані на відстані 20 см один від одного, відштовхуються із силою 45 мН. Визначити значення кожного заряду.

1.7. Два точкові заряди 2 мкКл і 20 нКл відштовхуються із силою 9 мН. На якій відстані один від одного перебувають заряди?

1.8. У результаті тертя об сукно ебонітова паличка одержала заряд $-12,8$ мкКл. Визначити кількість надлишкових електронів на паличці. На скільки збільшилася маса ебонітової палички?

1.9. Металева кулька має $5 \cdot 10^{10}$ надлишкових електронів. Визначити заряд кульки. На скільки збільшилася її маса в порівнянні з масою такої самої незарядженої кульки?

2-й рівень складності

1.10. Два тіла, на кожному з яких знаходиться $8 \cdot 10^{12}$ надлишкових електронів, відштовхуються в повітрі із силою 0,37 Н. Визначити відстань між тілами.

1.11. Два тіла, що мають однакові негативні заряди, відштовхуються в повітрі із силою 0,9 Н. Визначити кількість надлишкових електронів у кожному тілі, якщо відстань між зарядами 8 см.

1.12. Два тіла, що перебувають на відстані 10 см одне від одного, мають однакові позитивні заряди й відштовхуються із силою 36 мН. Визначити кількість електронів, яких не вистачає у кожному тілі.

1.13. Дві однакові металеві кульки, що мають заряди 6 мкКл і -12 мкКл, розташовуються на відстані 60 см одна від одної. Визначити силу взаємодії між ними після того, як їх привели в зіткнення й потім розвели на попередню відстань?

1.14. Маленьку металеву кульку, що має заряд 3,2 нКл, приводять у зіткнення з такою самою незарядженою кулькою. Визначити силу електричної взаємодії між ними після того, як їх розмістили на відстані 4 см одна від одної.

1.15. Дві однакові маленькі кульки, що мають заряди 2 мкКл і 8 мкКл , розташовуються на відстані 50 см одна від одної. Кульки привели в зіткнення. На яку відстань їх потрібно розвести, щоб сила взаємодії залишилася без змін?

1.16. Як зміниться сила взаємодії між двома точковими зарядами, якщо кожний заряд зменшити у два рази, а відстань між ними збільшити в три рази?

1.17. Як зміниться сила взаємодії між двома точковими зарядами, якщо кожний заряд збільшити в три рази, а відстань між ними зменшити у два рази?

1.18. Як зміниться сила взаємодії між двома точковими зарядами, якщо кожний заряд збільшити у два рази і відстань між ними теж збільшити у два рази?

1.19. Дві позитивно заряджені кульки, розташовуючись на відстані 2 м одна від одної, відштовхуються із силою $1,026 \text{ Н}$. Визначити заряд кожної кульки, якщо їх загальний заряд 50 мкКл .

1.20. У двох протилежних вершинах квадрата зі стороною 30 см розташовані точкові заряди по $0,2 \text{ мкКл}$ кожен. Якою є сила їхньої взаємодії?

1.21. Посередині між двома зарядами $-3q$ й $2q$, розташованими на відстані $2R$ один від одного, перебуває третій заряд q . Знайти модуль і напрямок рівнодійної сил, що діють на заряд q ?

1.22. Посередині між двома зарядами $-3q$ і $-4q$, розташованими на відстані $2R$ один від одного, перебуває третій заряд $-q$. Знайти модуль і напрямок рівнодійної сил, що діють на заряд $-q$?

1.23. Посередині між двома зарядами $3q$ і $2q$, які розташовані на відстані $2R$ один від одного, перебуває третій заряд $-q$. Знайти модуль і напрямок рівнодійної сил, що діють на заряд $-q$.

1.24. Знайти, у скільки разів сила електростатичного відштовхування двох електронів більша від сили їхнього гравітаційного притягання.

1.25. Знайти, у скільки разів сила електростатичного відштовхування двох протонів більша від сили їхнього гравітаційного притягання.

1.26. Знайти, у скільки разів сила електростатичного притягання електрона й протона більша від сили їхнього гравітаційного притягання.

3-й рівень складності

1.27. Два закріплені точкові заряди 2 мкКл і 8 мкКл розташовані на відстані 24 см один від одного. Де і який заряд треба розмістити, щоб він перебував у рівновазі?

1.28. Два точкові заряди 4 мкКл і 36 мкКл розташовані на відстані 20 см один від одного. Визначити, де і який заряд треба розмістити, щоб вся система перебувала в рівновазі.

1.29. Два точкові заряди 9 мкКл і -25 мкКл розташовані на відстані 20 см один від одного. Визначити, де і який заряд треба розмістити, щоб вся система перебувала в рівновазі.

1.30. Дві однакові металеві кульки з різнойменними зарядами, розташовані на відстані 30 см одна від одної, притягуються із силою $10,8 \text{ Н}$. Після того як кульки привели в зіткнення й знову розвели на початкову відстань, сила електричної взаємодії стала дорівнювати $3,6 \text{ Н}$. Визначити заряди кульок до зіткнення.

1.31. Дві однакові металеві кульки з однойменними зарядами, розташовані на відстані 20 см одна від одної, відштовхуються із силою $10,8 \text{ Н}$. Після того як кульки привели в зіткнення й знову розвели на колишню відстань, сила електричної взаємодії стала дорівнювати $14,4 \text{ Н}$. Визначити заряди кульок до зіткнення.

1.32. Кулька масою 50 г , підвішена на шовковій нитці, має заряд 12 мкКл . На відстані 40 см від неї знизу перебуває інша кулька, що має заряд -4 мкКл . У скільки разів змінилася сила натягу нитки?

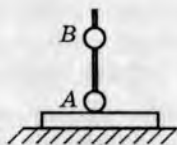
1.33. Кулька масою $0,5\text{ г}$, підвішена на шовковій нитці, має заряд 4 мКл . На відстані 20 см від неї знизу розташована інша кулька. Яким повинен бути її заряд, щоб натяг нитки зменшився у два рази?

1.34. Тонка шовкова нитка витримує максимальний натяг 45 Н . Підвішена на цій нитці кулька масою 500 г має заряд 8 мКл . Знизу до неї підносять кульку, що має заряд -5 мКл . При якій відстані між кульками нитка розірветься?

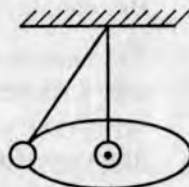
1.35. На ізолюваній підставці розташований тонкий стрижень, виготовлений з діелектрика, на який надіта металева кулька A , що має заряд 5 мКл і масу 5 г (див. рисунок). По стрижню опускають таку саму за розміром незаряджену кульку B масою 2 г до зіткнення з кулькою A . На якій відстані від кульки A зупиниться кулька B після зіткнення? З якою силою кулька A буде тиснути на підставку? Тертям кульок об стрижень знехтувати.

1.36. Навколо точкового заряду 2 нКл рівномірно по колу рухається маленька заряджена кулька масою $0,1\text{ г}$ із зарядом -5 нКл . Знайти кутову швидкість обертання кульки, якщо радіус кола 4 см .

1.37. Невелика кулька масою 5 г із зарядом 20 нКл обертається на шовковій нитці довжиною 40 см (див. рисунок). У центрі кола радіусом 20 см , описуваного кулькою, знаходиться нерухомий точковий заряд 6 мКл . Визначити період обертання кульки й силу натягу нитки.



До задачі 1.35



До задачі 1.37

1.38. Дві однакові кульки масою 5 г кожна підвішені в одній точці на однакових шовкових нитках довжиною 40 см . Які однакові заряди необхідно надати кулькам, щоб їх нитки утворили з вертикаллю кут 30° ?

- 1.39.** Дві однакові кульки підвішені в одній точці на однакових шовкових нитках довжиною 20 см кожна. Кулькам надали однакові заряди по 12 нКл, і нитки розійшлися на кут 60° . Знайти масу кожної кульки.
- 1.40.** Дві однакові кульки масою 3,7 мг і зарядом 15 нКл кожна підвісили в одній точці на однакових шовкових нитках. Кульки розійшлися на відстань 25 см. Визначити довжину ниток.
- 1.41.** Дві однакові кульки підвішені в одній точці на однакових шовкових нитках. Кулькам надали однакові заряди, і вони розійшлися на відстань 5 см. Що відбудеться після того, як одну з кульок розрядити?
- 1.42.** Два точкові заряди Q і $-Q$ розташовані на відстані L один від одного. Яка сила діє на заряд q , що перебуває на відстані R $\left(R > \frac{L}{2}\right)$ від кожного із зарядів?
- 1.43.** Три однакові позитивні точкові заряди по 9 нКл кожен розташовані у вершинах рівностороннього трикутника. Який заряд слід помістити в центр трикутника, щоб вся система перебувала в рівновазі?
- 1.44.** Дві однакові заряджені кульки масою m підвішені в одній точці на нитках довжиною L кожна. У точці підвісу знаходиться третя кулька, заряджена так само, як і перші дві. Знайти заряд кульок, якщо кут між нитками в положенні рівноваги дорівнює α .
- 1.45.** У вакуумі розташовані три точкові заряди. Відстань між першим і другим 3 см, сила їх взаємодії 16 мН. Відстань між першим і третім 4 см, сила їх взаємодії 8 мН. Відстань між другим й третім 5 см, сила їх взаємодії 2 мН. Знайти значення кожного заряду.
- 1.46.*** На відстані L від нескінченної металевої пластини розташований точковий електричний заряд q . З якою силою діє на нього пластина?

2. НАПРУЖЕНІСТЬ ЕЛЕКТРОСТАТИЧНОГО ПОЛЯ. ПРИНЦИП СУПЕРПОЗИЦІЇ ПОЛІВ

Приклади розв'язування задач

Задача 1. Напруженість електричного поля точкового заряду на відстані 1 м дорівнює 32 Н/Кл. Визначити напруженість поля на відстані 8 м від заряду.

<i>Дано:</i> $R_1 = 1 \text{ м}$ $E_1 = 32 \text{ Н/Кл}$ $R_2 = 8 \text{ м}$ $E_2 = ?$	<i>Розв'язання</i> Напруженість поля, створеного точковим зарядом q, дорівнює $E = \frac{kq}{R^2}$, тому для двох точок, що перебувають на відстанях R_1 і R_2 від заряду q, $\begin{cases} E_1 = \frac{kq}{R_1^2}; \\ E_2 = \frac{kq}{R_2^2}. \end{cases}$
---	--

Розділивши перше рівняння на друге, одержимо: $\frac{E_1}{E_2} = \frac{R_2^2}{R_1^2}$.

Звідси $E_2 = \frac{E_1 \cdot R_1^2}{R_2^2}$.

Перевіримо одиницю шуканої величини:

$$[E_2] = \frac{\frac{\text{Н}}{\text{м}} \cdot \text{м}^2}{\text{м}^2} = \text{Н/Кл}.$$

Знайдемо числове значення:

$$\{E_2\} = \frac{32 \cdot 1^2}{8^2} = 0,5; \quad E_2 = 0,5 \text{ Н/Кл}.$$

Відповідь: $E_2 = 0,5 \text{ Н/Кл}$.

Задача 2. Два заряди Q і $-Q$ розташовані на відстані L один від одного. Визначити напруженість електричного поля в точці, розташованій на однаковій відстані R від кожного із зарядів.

Дано:

$+Q$

$-Q$

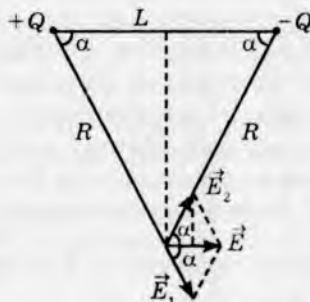
L

R

$E = ?$

Розв'язання

Очевидно, що необхідно знайти напруженість поля в точці, що є вершиною рівнобедреного трикутника з основою L (див. рисунок).



Помістивши подумки в цю точку позитивний заряд, визначимо напрямок напруженості полів $\vec{E}_1$ і $\vec{E}_2$, створюваних зарядами $+Q$ і $-Q$. Оскільки величина напруженості поля, створюваного точковим зарядом Q на відстані R від заряду, дорівнює $E = k \frac{Q}{R^2}$, то $E_1 = E_2$.

За принципом суперпозиції результуюча напруженість поля дорівнює векторній сумі напруженостей полів, створюваних кожним зарядом окремо: $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$.

Очевидно, що кут між векторами $\vec{E}$ і $\vec{E}_1$, векторами $\vec{E}$ і $\vec{E}_2$ такий самий, як кут α , утворений відрізками L і R . Тому

$$E = 2E_1 \cos \alpha, \text{ де } \cos \alpha = \frac{\frac{L}{2}}{R} = \frac{L}{2R}.$$

$$\text{Отже, } E = 2 \frac{kQ}{R^2} \cdot \frac{L}{2R} = \frac{kQL}{R^3}.$$

Перевіримо одиницю шуканої величини:

$$[E] = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{Кл} \cdot \text{м}}{\text{Кл}^2 \cdot \text{м}^3} = \text{Н/Кл};$$

$$\text{Відповідь: } E = \frac{kQL}{R^3}.$$

Задача 3*. Знайти напруженість поля об'ємно зарядженої кулі радіусом R із загальним зарядом Q .

Дано:	Розв'язання
R	Знайдемо напруженість поля кулі, скориставшись
Q	теоремою Остроградського — Гаусса: потік вектора
E — ?	напруженості електричного поля крізь будь-яку замкнену поверхню дорівнює алгебраїчній сумі зарядів, що перебувають усередині цієї поверхні, поділеної на ϵ_0 (де ϵ_0 — електрична стала).

Проведемо подумки сферу з радіусом r із центром, що збігається з центром зарядженої кулі (рис. 1).

При $r \geq R$ усередину поверхні потрапляє весь заряд Q . За теоремою Остроградського — Гаусса: $E \cdot S = \frac{Q}{\epsilon_0}$. Тоді $4\pi r^2 \cdot E = \frac{Q}{\epsilon_0}$,

звідки $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q}{r^2} = k \frac{Q}{r^2}$ (беручи до уваги, що $k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$).

При $r < R$ усередині уявної поверхні перебуває заряд Q' . Оскільки заряд рівномірно розподілений по всьому об'єму кулі,

$Q' \sim V \sim r^3$, тобто $\frac{Q'}{Q} = \frac{r^3}{R^3}$.

За теоремою Остроградського — Гаусса: $E \cdot S = \frac{Q'}{\epsilon_0}$, тоді, враховуючи, що $S = 4\pi r^2$, матимемо: $E \cdot 4\pi r^2 = \frac{Qr^3}{\epsilon_0 R^3}$; $E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Qr}{R^3} = k \frac{Qr}{R^3}$.

Таким чином, при $r < R$ $E \sim r$; при $r > R$ $E \sim \frac{1}{r^2}$; при $r = R$ $E = k \frac{Q}{R^2}$ (рис. 2).

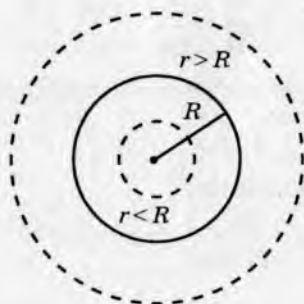


Рис. 1

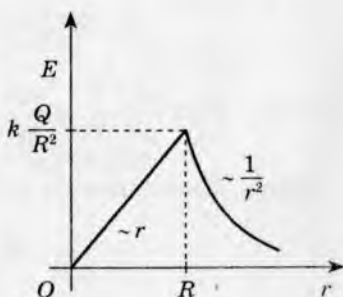
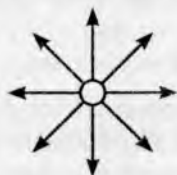


Рис. 2

Відповідь: при $r > R$ $E = k \frac{Q}{r^2}$; при $r < R$ $E = k \frac{Qr}{R^3}$; при $r = R$ $E = k \frac{Q}{R^2}$.

1-й рівень складності

- ? 2.1. Як визначити знак заряду електроскопа, маючи ебонітову паличку й сукно?
- ? 2.2. Що відбувається при заземленні зарядженого тіла?
- ? 2.3. Як зарядити електроскоп, не торкаючись його зарядженим тілом?
- ? 2.4. На рисунку зображена картина ліній напруженості електричного поля. Який заряд створив це поле?
- ? 2.5. На рисунку зображена картина ліній напруженості електричного поля. Який заряд створив це поле?



До задачі 2.4



До задачі 2.5

- ? 2.6. Зобразіть лінії напруженості поля, створеного двома однаковими позитивними зарядами, що перебувають на деякій відстані один від одного.
- ? 2.7. Зобразіть лінії напруженості поля, створеного двома однаковими негативними зарядами, розташованими на деякій відстані один від одного.
- ? 2.8. Зобразіть лінії напруженості поля, створеного двома однаковими зарядами, один із яких позитивний, а інший — негативний і які перебувають на деякій відстані один від одного.
- ? 2.9. Як буде рухатися електрон, що влетів в однорідне електричне поле в напрямку силових ліній? Як буде рухатися протон?
- ? 2.10. Як буде рухатися електрон, що влетів в однорідне електричне поле в напрямку, протилежному напрямку силових ліній поля? Як буде рухатися протон?

- 2.11.** На заряд 8 нКл , внесений у дану точку поля, діє сила 40 мН . Знайти модуль напруженості поля в даній точці.
- 2.12.** З якою силою діє електричне поле напруженістю 300 Н/Кл на заряд 6 мкКл ?
- 2.13.** Знайти значення заряду, на який електричне поле напруженістю 50 Н/Кл діє із силою 8 мН .
- 2.14.** Яку напруженість має електричне поле, створене точковим зарядом 3 нКл на відстані 20 см від цього заряду?
- 2.15.** На відстані 4 см від заряду напруженість електричного поля становить 800 Н/Кл . Знайти значення заряду.
- 2.16.** На якій відстані від точкового заряду 8 мкКл напруженість електричного поля дорівнює 288 кН/Кл ?

2-й рівень складності

- 2.17.** Відстань між двома точковими зарядами, модулі яких дорівнюють 8 нКл кожний, становить 40 см . Знайти напруженість поля всередині відрізка, що з'єднує ці заряди. Розглянути випадки: а) заряди позитивні; б) заряди негативні; в) один заряд позитивний, інший негативний.
- 2.18.** Два точкові заряди 9 мкКл і 25 мкКл розташовані на відстані 20 см один від одного. Визначити, у якій точці напруженість електричного поля, утвореного зарядами, дорівнює нулю.
- 2.19.** Два точкові заряди 9 мкКл і -25 мкКл розташовані на відстані 20 см один від одного. Визначити, у якій точці напруженість електричного поля дорівнює нулю.
- 2.20.** У деякій точці електричного поля, створеного точковим зарядом, на заряд $0,1 \text{ мкКл}$ діє сила 4 мН . Знайти напруженість електричного поля в цій точці й визначити заряд, який створив поле, якщо точка віддалена від цього заряду на 30 см .
- 2.21.** Напруженість електричного поля, створеного точковим зарядом, у деякій точці, віддаленій від заряду на 25 см , дорівнює 800 Н/Кл . Знайти силу, що буде діяти на заряд 6 мкКл , поміщений у цій точці, й значення заряду, який створює поле.

- 2.22.** Відстань між двома точковими зарядами, модулі яких дорівнюють 5 нКл і 15 нКл , становить 50 см . Знайти напрямок і модуль напруженості поля в точці, розташованій на відрізку, який з'єднує ці заряди, на відстані 20 см від меншого заряду. Розглянути випадки: а) заряди позитивні; б) заряди негативні; в) менший заряд позитивний, більший негативний.
- 2.23.** Відстань між двома точковими зарядами 4 нКл і -10 нКл дорівнює 20 см . Знайти напрямок і модуль напруженості електричного поля в точці, розташованій на прямій, яка з'єднує ці заряди, на відстані 20 см від меншого заряду за цим меншим зарядом.
- 2.24.** Відстань між двома точковими зарядами 4 нКл і -10 нКл дорівнює 20 см . Знайти напрямок і модуль напруженості електричного поля в точці, розташованій на прямій, яка з'єднує ці заряди, на відстані 10 см від більшого заряду за цим більшим зарядом.
- 2.25.** Точки O , A , B і C розташовані на одній прямій. У точці O знаходиться позитивний точковий заряд. Напруженість електричного поля в точці A дорівнює 36 Н/Кл , у точці C — 9 Н/Кл . Знайти напруженість поля в точці B , якщо відомо, що вона лежить посередині відрізка AC .
- 2.26.** У вертикальному однорідному електричному полі напруженістю $5 \cdot 10^5 \text{ Н/Кл}$ перебуває порошина масою $0,05 \text{ мг}$. Який заряд порошини, якщо сила тяжіння, що діє на порошину, урівноважується силою, яка діє з боку електричного поля?
- 2.27.** У вертикальному однорідному електричному полі напруженістю 1500 Н/Кл перебуває порошина, що має заряд $0,6 \text{ мкКл}$. Яка маса порошини, якщо сила тяжіння, що діє на порошину, урівноважується силою, яка діє на неї з боку електричного поля?
- 2.28.** У вертикальному однорідному електричному полі перебуває порошина масою $0,015 \text{ мг}$, що має заряд 8 нКл . Яка напруженість поля, якщо сила тяжіння, що діє на порошину, урівноважується силою, яка діє на неї з боку електричного поля?

2.29. В однорідному електричному полі електрон рухається із прискоренням $3,2 \cdot 10^{13} \text{ м/с}^2$. Визначте напруженість електричного поля.

2.30. З яким прискоренням рухається протон в електричному полі напруженістю 200 Н/Кл ?

2.31. У скільки разів відрізняються прискорення, набуті електроном і протоном в електростатичному полі однакової напруженості?

3-й рівень складності

? 2.32. Є дві металеві кульки, заряджені однаковими за модулями зарядами. У якому випадку сила електричної взаємодії буде більша: якщо заряди однойменні чи різнойменні? Відстань між кульками порівняння з їхніми діаметрами.

? 2.33. Є дві однакові металеві кульки. Яким чином їх можна зарядити однаковими за модулем і знаком зарядами? Однаковими за модулем й протилежними за знаком зарядами?

2.34. Електрон, потрапивши в однорідне електричне поле, рухається в напрямку силових ліній. Через який час швидкість електрона дорівнюватиме нулю, якщо напруженість електричного поля 90 Н/Кл , а початкова швидкість електрона 1800 км/с ?

2.35. Електрон, що має початкову швидкість 18 км/с , влітає в однорідне електричне поле напруженістю 3 мН/Кл і рухається проти напрямку силових ліній поля. Знайти час, протягом якого електрон подолає відстань у $7,1 \text{ см}$, та його швидкість у кінці цього шляху.

2.36. Яку відстань пролетить електрон в однорідному електричному полі напруженістю 150 Н/Кл до зупинки, якщо він влітає в поле з початковою швидкістю 5000 км/с у напрямку ліній напруженості поля?

2.37. При внесенні зарядженої кульки, підвішеної на шовковій нитці, у горизонтальне однорідне електричне поле нитка утворила з вертикаллю кут 60° . Знайти кут відхилення нитки, якщо заряд кульки зменшиться на 25% ?

2.38. У горизонтальному однорідному електричному полі напруженістю 200 Н/Кл на шовковій нитці висить заряджена кулька масою $0,5 \text{ г}$. Який кут утворює з вертикаллю нитка, якщо кулька має заряд 8 мКл ?

2.39. У вершинах квадрата зі стороною 10 см розташовані чотири заряди по 10^{-8} Кл кожен. Знайдіть модуль і напрямок напруженості електричного поля E в центрі квадрата, якщо знаки зарядів q_1, q_2, q_3 і q_4 такі:

а) $+, +, +, +$.

б) $+, -, +, -$.

в) $+, +, -, -$.

2.40. У двох протилежних вершинах квадрата зі стороною 30 см розташовані точкові заряди по $0,2 \text{ мКл}$ кожен. Визначити напруженість електричного поля у двох інших вершинах квадрата.

2.41. Електричний диполь являє собою два заряди Q і $-Q$, розташовані на відстані L один від одного. Визначити модуль напруженості електричного поля в точці, розташованій на прямій, що з'єднує ці заряди, на відстані R від середини диполя? ($R > L/2$).

2.42. У двох вершинах правильного трикутника зі стороною 10 см розташовані однакові точкові заряди по 2 нКл кожен. Знайти напруженість електричного поля в третій вершині трикутника.

2.43. У трьох вершинах квадрата зі стороною 20 см розташовані однакові точкові заряди по 4 нКл кожен. Знайти напруженість електричного поля в четвертій вершині квадрата.

2.44. У вершинах рівностороннього трикутника зі стороною 5 м розташовані три однакові заряди по 3 мКл кожен. Знайти напруженість електричного поля в точці, що лежить на відстані 5 м від кожного із зарядів.

2.45. Діагоналі ромба мають довжину 2 см і 3 см . На кінцях короткої діагоналі розташовані заряди 2 мКл і 6 мКл . На кінцях довгої діагоналі – заряди 3 мКл і 12 мКл . Визначити модуль і напрямок напруженості електричного поля в центрі ромба.

- 2.46.** Маятник з періодом коливань 1 с являє собою кульку масою 16 г , підвішену на шовковій нитці. Кульці надають заряд 100 нКл і поміщають у вертикальне однорідне електричне поле. У результаті період коливань маятника змінюється й становить $0,95\text{ с}$. Визначити напруженість електричного поля.
- 2.47*.** Знайти напруженість електричного поля, створюваного нескінченною плоскою поверхнею, зарядженою з постійною поверхневою густиною σ .
- 2.48*.** Знайти напруженість електричного поля двох нескінченних паралельних різнойменно заряджених площин, які заряджені з постійною поверхневою густиною $+\sigma$ і $-\sigma$.
- 2.49*.** Знайти напруженість електричного поля рівномірно зарядженої сферичної поверхні радіусом R із загальним зарядом Q . Накреслити графік залежності $E(r)$.
- 2.50*.** Визначте залежність модуля напруженості електричного поля E , створюваного нескінченно довгою прямою ниткою, рівномірно зарядженою по довжині, від відстані r до нитки. Заряд одиниці довжини нитки дорівнює ρ .
- 2.51*.** Модуль напруженості однорідного електричного поля дорівнює E . Чому дорівнює потік вектора напруженості Φ електричного поля крізь квадрат зі стороною L , площа якого розташована під кутом $\alpha = 30^\circ$ до напрямку електричного поля?

3. РЕЧОВИНА В ЕЛЕКТРИЧНОМУ ПОЛІ

Приклади розв'язування задач

Задача 1. Два заряди взаємодіють у парафіні із силою 40 мН. З якою силою вони будуть взаємодіяти у воді?

Дано:

$$\varepsilon_1 = 2$$

$$F_1 = 4,0 \cdot 10^{-2} \text{ мН}$$

$$\varepsilon_2 = 81$$

$$k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{Кл}^2}$$

$$F_2 = ?$$

Розв'язання

Відповідно до закону Кулона, сила взаємодії двох точкових зарядів q_1 і q_2 , що перебувають на відстані r один від одного в середовищі з діелектричною проникністю ε , дорівнює:

$$F = k \frac{q_1 \cdot q_2}{\varepsilon \cdot r^2}.$$

Відповідно, у парафіні й у воді ці сили дорівнюють:

$$\begin{cases} F_1 = k \frac{q_1 \cdot q_2}{\varepsilon_1 \cdot r^2}; \\ F_2 = k \frac{q_1 \cdot q_2}{\varepsilon_2 \cdot r^2}. \end{cases}$$

Розділивши перше рівняння на друге, отримаємо: $\frac{F_1}{F_2} = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}$.

$$\text{Звідси } F_2 = \frac{F_1 \varepsilon_1}{\varepsilon_2}.$$

Перевіримо одиницю шуканої величини: $[F_2] = \frac{\text{Н} \cdot 1}{1} = \text{Н}$.

Знайдемо числове значення:

$$\{F_2\} = \frac{4,0 \cdot 10^{-2} \cdot 2}{81} \approx 10^{-3}; F_2 = 10^{-3} \text{ Н} = 1 \text{ мН}.$$

Відповідь: заряди будуть взаємодіяти у воді із силою 1 мН.

Задача 2. Дві однакові маленькі кульки густиною ρ висять на довгих шовкових нитках, закріплених в одній точці. Коли кулькам надали однакові за величиною й знаком електричні заряди, нитки розійшлися на кут α . Після цього кульки занурили в рідкий діелектрик, густина якого ρ_1 . Знайти діелектричну проникність середовища, якщо кут розходження ниток у діелектрику дорівнює β .

Дано:

$$\rho$$

$$q_1 = q_2 = q$$

α

ρ_1

β

$\varepsilon = ?$

Розв'язання

На кожную кульку до занурення в рідкий діелектрик діяли такі сили: сила тяжіння $m\vec{g}$, сила натягу нитки $\vec{T}_1$ й сила кулонівського відштовхування $\vec{F}_1$ (рис. 1).

Кульки розташовані симетрично відносно вертикальної осі, яка проходить через точку підвісу, тому запишемо умову рівноваги для однієї з них:

$$m\vec{g} + \vec{F}_1 + \vec{T}_1 = 0.$$

У проекціях на осі OX і OY одержимо:

$$\begin{cases} F_1 - T_1 \sin \frac{\alpha}{2} = 0, \\ mg - T_1 \cos \frac{\alpha}{2} = 0; \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} F_1 = T_1 \cdot \sin \frac{\alpha}{2}, \\ mg = T_1 \cdot \cos \frac{\alpha}{2}. \end{cases}$$

Розділивши перше рівняння на друге, одержимо: $\frac{F_1}{mg} = \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}$.

Після занурення кульок у рідкий діелектрик, крім сили тяжіння, сили натягу нитки, сили кулонівського відштовхування, з'являється виштовхувальна сила — сила Архімеда (рис. 2). Крім того, сила кулонівського відштовхування F_2 у ε разів менша за силу кулонівського відштовхування в повітрі: $F_2 = \frac{k \cdot q^2}{\varepsilon \cdot r_2^2}$, де r_2 — відстань між кульками в рідкому діелектрику.

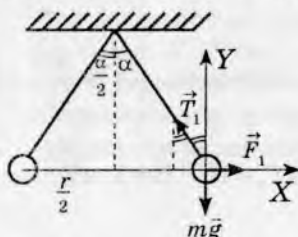


Рис. 1

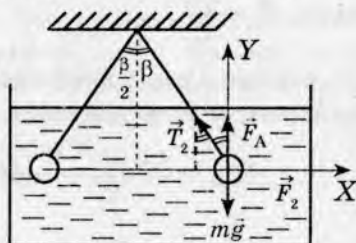


Рис. 2

Умова рівноваги для кульки, зануреної в рідкий діелектрик: $m\vec{g} + \vec{F}_2 + \vec{T}_2 + \vec{F}_A = 0$.

У проекціях на осі OX і OY одержимо:

$$\begin{cases} F_2 - T_2 \sin \frac{\beta}{2} = 0, \\ mg - F_A - T_2 \cos \frac{\beta}{2} = 0; \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} F_2 = T_2 \cdot \sin \frac{\beta}{2}, \\ mg - F_A = T_2 \cdot \cos \frac{\beta}{2}. \end{cases}$$

Перенесемо у другому рівнянні F_A в ліву частину і розділимо перше рівняння на друге: $\frac{F_2}{mg - F_A} = \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}$.

З огляду на те, що маса кульки $m = \rho V$, де ρ — густина кульки, V — її об'єм, а сила Архімеда $F_A = \rho_1 g V$, де ρ_1 — густина рідкого діелектрика, одержимо:

$$\begin{cases} \frac{F_1}{\rho g V} = \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}; \\ \frac{F_2}{\rho g V - \rho_1 g V} = \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}. \end{cases}$$

Розділивши перше рівняння на друге, одержимо:

$$\frac{F_1(\rho - \rho_1)}{\rho F_2} = \frac{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}{\operatorname{tg} \frac{\beta}{2}}.$$

Оскільки $F_1 = \frac{kq^2}{r_1^2}$, $F_2 = \frac{kq^2}{\epsilon r_2^2}$; $r_1 = 2l \sin \frac{\alpha}{2}$ (див. рис. 1); $r_2 = 2l \sin \frac{\beta}{2}$ (див. рис. 2), де l — довжина нитки, одержимо:

$$\frac{(\rho - \rho_1) \epsilon \cdot \sin^2 \frac{\beta}{2}}{\rho \cdot \sin^2 \frac{\alpha}{2}} = \frac{\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2}}{\operatorname{tg} \frac{\beta}{2}}.$$

$$\text{Виведемо з цього рівняння } \epsilon = \frac{\rho \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \cdot \sin^2 \frac{\alpha}{2}}{(\rho - \rho_1) \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} \cdot \sin^2 \frac{\beta}{2}}.$$

$$\text{Перевіримо одиницю шуканої величини: } [\epsilon] = \frac{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} - \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} = 1.$$

$$\text{Відповідь: } \epsilon = \frac{\rho \cdot \operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} \cdot \sin^2 \frac{\alpha}{2}}{(\rho - \rho_1) \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} \cdot \sin^2 \frac{\beta}{2}}.$$

1-й рівень складності

- ? 3.1. Що показує діелектрична проникність діелектрика?
- ? 3.2. У чому полягає явище електростатичної індукції?
- ? 3.3. У чому полягає явище електростатичного захисту і на якому явищі він заснований?
- ? 3.4. Чому в провіднику, поміщеному в електричне поле, електричне поле відсутнє?
- ? 3.5. Чому лінії напруженості електричного поля зарядженого металевого тіла завжди перпендикулярні його поверхні?
- ? 3.6. Як зміниться сила взаємодії між зарядженими тілами, якщо занурити їх в олію?
- ? 3.7. Якщо торкнутися стрижня зарядженого електроскопа рукою, то він розрядиться. Що відбудеться, якщо в цей момент поблизу зарядженого електроскопа знаходитиметься заряджене тіло?
- ? 3.8. Дві однаково заряджені кульки підвішені в одній точці на нитках однакової довжини. Як зміниться кут між нитками, якщо кульки занурити в рідкий діелектрик? Дією архімедової сили знехтувати.
- 3.9. З якою силою взаємодіють два заряди 6 нКл і $3,5 \text{ нКл}$, перебуваючи на відстані 5 см один від одного в гасі?
- 3.10. Два заряди по 40 нКл кожен, розділені слюдаю заготовшки 1 см , взаємодіють із силою 21 мН . Визначити діелектричну проникність слюди.
- 3.11. Визначити значення кожного із двох однакових зарядів, якщо у воді на відстані 5 см один від одного вони взаємодіють із силою $0,5 \text{ мН}$.
- 3.12. Заряд 3 мКл поміщений у воду на відстані 10 см від іншого заряду. Визначити знак і значення цього заряду, якщо сила притягання між зарядами становить $0,45 \text{ Н}$.

3.13. Два точкові заряди розміщені в повітрі на деякій відстані. Як зміниться сила взаємодії між зарядами, якщо відстань між ними зменшити в 2 рази й одночасно занурити в рідкий діелектрик з діелектричною проникністю 4?

3.14. Напруженість електричного поля, створеного точковим зарядом, поміщеним у гас, в деякій точці дорівнює 800 Н/Кл. Якою стане напруженість поля в цій точці, якщо гас замінити водою?

3.15. На відстані 5 см від заряду 8 нКл, що перебуває в рідкому діелектрику, напруженість поля становить 4 кН/Кл. Яку діелектричну проникність має діелектрик?

3.16. Напруженість електричного поля заряду, поміщеного в гас, у деякій точці дорівнює E . Як зміниться напруженість поля в цій точці, якщо гас замінити водою?

2-й рівень складності

3.17. Два заряди взаємодіють у повітрі на відстані 9 см. На якій відстані їх потрібно розмістити у воді, щоб сила взаємодії не змінилася?

3.18. Два заряди взаємодіють у повітрі з деякою силою. Як зміниться сила взаємодії між ними, якщо їх помістити в гас на відстань утричі більшу, ніж у повітрі?

3.19. Два заряди взаємодіють у гасі із силою 7,8 Н. З якою силою вони будуть взаємодіяти у воді, якщо їх помістити на відстань удвічі меншу, ніж у гасі?

3.20. Два заряди взаємодіють у вакуумі на відстані 27 см так само, як і в рідині на відстані 3 см. Визначити діелектричну проникність рідини.

3.21. Металева куля, заряд якої 8 нКл, поміщена у гас. Визначити напруженість електричного поля на поверхні кулі, якщо її радіус 20 см.

3.22. Два заряди 0,6 мкКл і $-0,2$ мкКл розташовані в гасі на відстані 40 см один від одного. Визначити напруженість поля в точці, розташованій на середині відрізка, що з'єднує заряди.

3-й рівень складності

- ? 3.23. У який спосіб заряджений провідник може віддати весь свій заряд іншому провіднику?
- 3.24. Металева куля радіусом 20 см має заряд 6 нКл. Визначити напруженість електричного поля на відстані: а) 10 см; б) 20 см; в) 30 см від центра кулі.
- 3.25. Металевій кулі радіусом R надається заряд Q . Зобразити графічно залежність напруженості E від відстані r від центра кулі.
- 3.26. Дві позитивно заряджені кульки, перебуваючи на відстані 40 см одна від одної у воді, відштовхуються із силою 50 мН. Визначити заряд кожної кульки, якщо їх загальний заряд 17 мкКл.
- 3.27. Куля радіусом 0,5 см, що має заряд 10 нКл, поміщена у гас. Густина матеріалу, з якого виготовлена куля, 1500 кг/м³. Знайти напруженість вертикального електричного поля, у яке треба помістити кулю, щоб вона плавала усередині гасу.
- 3.28. Дві маленькі кульки висять на довгих шовкових нитках, закріплених в одній точці. Коли кулькам надали однакові за величиною й знаком електричні заряди, нитки розійшлися на кут α . Визначити густину матеріалу, з якого виготовлені кульки, якщо після занурення в гас кут розбіжності ниток не змінився.

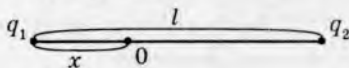
4. ПОТЕНЦІАЛ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ

Приклади розв'язування задач

Задача 1. Два точкові заряди 10 мкКл і 30 мкКл розташовані на відстані 20 см один від одного. Визначити, у якій точці поля на прямій між зарядами потенціали полів обох зарядів однакові.

<i>Дано:</i>	<i>СІ</i>
$q_1 = 10 \text{ мкКл}$	$q_1 = 10 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$
$q_2 = 25 \text{ мкКл}$	$q_2 = 25 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$
$l = 20 \text{ см}$	$l = 0,20 \text{ м}$
$x = ?$	

Розв'язання



Потенціал електричного поля, створюваного точковим зарядом q на відстані r від нього, дорівнює: $\varphi = \frac{kq}{r}$.

Позначимо на прямій, що з'єднує заряди q_1 і q_2 , точку O (див. рисунок), у якій потенціали полів обох зарядів однакові. Нехай вона розташована на відстані x від заряду q_1 . Тоді потенціал поля, створеного зарядом q_1 у цій точці, дорівнює: $\varphi_1 = \frac{kq_1}{x}$.

Точка O розташована на відстані $l - x$ від заряду q_2 . Тоді потенціал поля, створеного зарядом q_2 у цій точці, дорівнює $\varphi_2 = \frac{kq_2}{l - x}$.

За умовою задачі ці потенціали однакові: $\frac{kq_1}{x} = \frac{kq_2}{l - x}$.

Розв'яжемо це рівняння відносно x і одержимо: $x = \frac{q_1 l}{q_1 + q_2}$.

Перевіримо одиницю шуканої величини: $[x] = \frac{\text{Кл} \cdot \text{м}}{\text{Кл} + \text{Кл}} = \text{м}$.

Визначимо числове значення:

$$\{x\} = \frac{10 \cdot 10^{-6} \cdot 0,2}{9 \cdot 10^{-6} + 25 \cdot 10^{-6}} = \frac{10 \cdot 0,2}{34} \approx 0,059; \quad x \approx 0,05 \text{ м} = 5,9 \text{ см}$$

Відповідь: точка, у якій потенціали полів обох зарядів однакові, розташована на прямій, що з'єднує ці заряди, на відстані 5,9 см від заряду 10 мкКл.

Задача 2. Дві металеві кулі радіусами 10 см і 30 см мають потенціали 40 В і 50 В відповідно. Якими будуть потенціали куль, якщо з'єднати їх тонким дротом? (Відстань між кулями значно більша за їхні розміри.)

Дано:	СІ	Розв'язання
$R_1 = 10 \text{ см}$	$R_1 = 0,10 \text{ м}$	Потенціал поля зарядженої кулі усе-редині неї й на її поверхні всюди постійний і дорівнює: $\varphi = \frac{kq}{R}$, де R — радіус кулі, q — її заряд.
$R_2 = 30 \text{ см}$	$R_2 = 0,30 \text{ м}$	
$\varphi_1 = 40 \text{ В}$		
$\varphi_2 = 50 \text{ В}$		
$\varphi = ?$		

Відповідно, до з'єднання куль: $\varphi_1 = \frac{kq_1}{R_1}$; $\varphi_2 = \frac{kq_2}{R_2}$, де q_1 і q_2 — заряди куль до з'єднання їх дротом. Після з'єднання куль тонким і довгим дротом їх потенціали будуть однаковими, а загальний заряд системи не зміниться (за законом збереження електричного заряду). Позначивши q'_1 і q'_2 заряди куль після з'єднання їх дротом, запишемо: $q_1 + q_2 = q'_1 + q'_2$.

Одержавши з виразу для потенціалу значення зарядів $q_1 = \frac{\varphi_1 R_1}{k}$; $q_2 = \frac{\varphi_2 R_2}{k}$; $q'_1 = \frac{\varphi R_1}{k}$ і $q'_2 = \frac{\varphi R_2}{k}$ (де φ — загальний потенціал куль після з'єднання), маємо:

$$\frac{\varphi_1 R_1}{k} + \frac{\varphi_2 R_2}{k} = \frac{\varphi R_1}{k} + \frac{\varphi R_2}{k}. \text{ Звідси знайдемо: } \varphi = \frac{\varphi_1 R_1 + \varphi_2 R_2}{R_1 + R_2}.$$

Перевіримо одиницю шуканої величини:

$$[\varphi] = \frac{\text{В} \cdot \text{м} + \text{В} \cdot \text{м}}{\text{м} + \text{м}} = \frac{\text{В} \cdot \text{м}}{\text{м}} = \text{В}.$$

Знайдемо числове значення шуканої величини:

$$\{\varphi\} = \frac{40 \cdot 0,1 + 50 \cdot 0,3}{0,1 + 0,3} = \frac{19}{0,4} \approx 48; \varphi = 48 \text{ В}.$$

Відповідь: потенціали куль після їх з'єднання будуть однакові й дорівнюватимуть $\varphi = 48 \text{ В}$.

1-й рівень складності

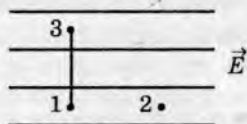
4.1. Яку роботу виконало поле, переміщуючи заряд 8 нКл між точками, різниця потенціалів між якими дорівнює 25 В?

4.2. Заряд 20 мкКл перемістився в електричному полі із точки з потенціалом 50 В у точку з потенціалом 30 В. Яку роботу виконало поле?

4.3. Заряд 8 нКл перемістився в електричному полі із точки з потенціалом -60 В у точку з потенціалом 20 В . Яку роботу виконало поле?

4.4. Порівняйте потенціали електричного поля в точках 1, 2 і 3 (див. рисунок).

4.5. Порівняйте потенціали електричного поля в точках 1, 2 і 3 (див. рисунок).



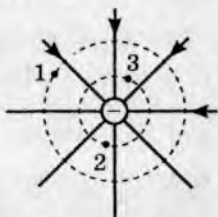
До задачі 4.4



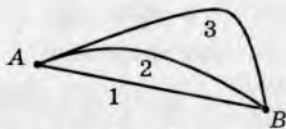
До задачі 4.5

4.6. Порівняйте потенціали точок 1, 2 і 3 (див. рисунок).

4.7. Заряд переміщують із точки A у точку B трьома різними траєкторіями (див. рисунок). У якому випадку виконується найбільша робота?



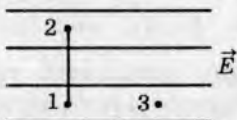
До задачі 4.6



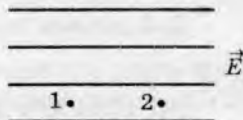
До задачі 4.7

4.8. Порівняти роботу з переміщення позитивного заряду між точками 1 і 2, 1 і 3, 2 і 3 (див. рисунок).

4.9. Між точками 1 і 2 переміщується електричний заряд (див. рисунок). Порівняти роботу з переміщення заряду, якщо: а) переміщують заряд Q ; б) переміщують заряд $-Q$.



До задачі 4.8



До задачі 4.9

4.10. Знайти потенціал електричного поля, створеного точковим зарядом 8 нКл у точці на відстані 20 см від заряду.

4.11. На якій відстані від точкового заряду 50 нКл потенціал електричного поля, створеного цим зарядом, дорівнює 45 В ?

✓ 4.12. Визначте заряд, що створює електричне поле, потенціал якого на відстані 10 см від заряду становить 90 В .

✓ 4.13. Напруженість електричного поля між двома пластинами 25 кВ/м , напруга між ними 5 кВ . Знайти відстань між пластинами.

4.14. Між двома паралельними пластинами відстань дорівнює 2 см , а різниця потенціалів 300 В . Знайти напруженість електричного поля між пластинами.

? 4.15. Є два провідники з однаковими зарядами, але різними потенціалами. Чи будуть переміщуватися заряди після з'єднання їх провідником і, якщо будуть, то в якому напрямку?

? 4.16. Один з двох провідників має більший заряд, але менший потенціал. Чи будуть переміщуватися заряди після з'єднання їх провідником і, якщо будуть, то в якому напрямку?

? 4.17. Є два провідники. Один із них має більший потенціал, але менший заряд. Чи будуть переміщуватися заряди після з'єднання їх провідником і, якщо будуть, то в якому напрямку?

? 4.18. Є два провідники з однаковими потенціалами, але різними за величиною зарядами. Чи будуть переміщатися заряди після з'єднання їх провідником і, якщо будуть, то в якому напрямку?

2-й рівень складності

4.19. Заряди q і $-q$ розташовані на відстані $2R$ один від одного. Знайти потенціал електричного поля в точці, розташованій посередині відрізка, що з'єднує заряди.

4.20. Заряди q і q розташовані на відстані $2R$ один від одного. Знайти потенціал електричного поля в точці, розташованій посередині відрізка, що з'єднує заряди.

4.21. Заряди $-q$ і $-q$ розташовані на відстані $2R$ один від одного. Знайти потенціал електричного поля в точці, розташованій посередині відрізка, що з'єднує заряди.

4.22. Знайти різницю потенціалів між точками, розташованими на відстанях 16 см і 20 см від заряду 4 нКл.

4.23. Електричне поле у вакуумі створюється точковим зарядом величиною 1,5 нКл. На якій відстані одна від одної розташовані дві еквіпотенціальні поверхні, потенціали яких відповідно дорівнюють 45 В і 30 В?

4.24. Електричне поле створене точковим зарядом q . Потенціали двох точок поля A і B становлять 6 В і 4 В відповідно. Знайти потенціал поля в точці C , що лежить посередині між точками A і B (див. рисунок).



4.25. Заряди 0,15 мкКл і 3 нКл розташовані на відстані 10 см один від одного. Яку роботу виконає електричне поле, якщо другий заряд віддалиться від першого на відстань 10 м?

4.26. Порожниста куля рівномірно заряджена. Потенціал поля у центрі кулі дорівнює 100 В, а на відстані 30 см від центра кулі — 50 В. Знайти радіус кулі.

4.27. Якої кінетичної енергії набуде електрон, пройшовши прискорюючу різницю потенціалів 800 кВ?

4.28. Яку різницю потенціалів має пройти електрон, щоб його швидкість збільшилася від 0 до 5000 км/с?

4.29. Електрон вилітає із точки з потенціалом 450 В зі швидкістю 190 м/с. Яку швидкість він матиме в точці з потенціалом 475 В?

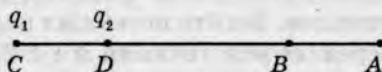
4.30. Під дією однорідного електричного поля напруженістю 6 В/м електрон набув кінетичну енергію $4,8 \cdot 10^{-19}$ Дж. Знайти прискорення, отримане електроном, якщо початкова швидкість електрона дорівнює нулю.

3-й рівень складності

4.31. Три заряди по 20 нКл кожен розташовані у вершинах рівностороннього трикутника зі стороною 9 см. Знайти потенціал електричного поля у центрі трикутника.

4.32. Чотири однакових заряди, які розташовані у вершинах квадрата зі стороною 10 см, створюють електричне поле, потенціал якого у центрі квадрата становить 40 кВ. Визначити заряди, що створюють поле.

4.33. Яку роботу треба виконати, щоб перемістити заряд 2 мкКл із точки A у точку B у полі двох точкових зарядів $q_1 = 4$ мкКл і $q_2 = 2$ мкКл (див. рисунок), якщо $CD = 5$ см, $DB = 10$ см, $BA = 5$ см?



4.34. Порошина масою 10 мг знаходиться у рівновазі в однорідному електричному полі між пластинами з різницею потенціалів 6 кВ. Знайти заряд порошини, якщо відстань між пластинами 6 см.

4.35. Між плоскими горизонтальними пластинами, що створюють однорідне електричне поле, знаходиться в рівновазі заряджена порошина масою 0,3 мг. Заряд порошини 10^{-13} Кл, відстань між пластинами 1,5 см. Знайти, до якої різниці потенціалів заряджені пластини.

4.36. Між двома вертикальними пластинами, розташованими на відстані 1 см одна від одної, висить на шовковій нитці маленька заряджена кулька масою 0,1 г. Після того як на пластини подали напругу 1 кВ, нитка з кулькою відхилилася на 10° . Знайти заряд кульки.

4.37. Дві металеві кулі, заряджені однаковими зарядами, мають потенціали 20 В і 30 В. Якими будуть потенціали куль, якщо з'єднати їх тонким дротом? (Відстань між кулями значно більша за їхні розміри.)

4.38. Заряджену до потенціалу 1 кВ кулю радіусом 20 см з'єднали із незарядженою кулею довгим провідником. У результаті потенціал куль виявився рівним 200 В. Знайти радіус кулі, яка була незарядженою.

4.39. Дві металеві кулі радіусами 2 см і 4 см мають однакові за модулем та знаком заряди 2 мкКл кожний. Кульки з'єднують довгим провідником. Визначити заряд, що пройшов по цьому провіднику. (Відстань між кулями значно більша за їхні розміри.)

4.40. На крапельках ртуті радіусом 1 мм знаходяться однакові заряди значенням 5 нКл кожний. Вісім таких крапель зливаються в одну велику краплю. Визначте її потенціал.

5. КОНДЕНСАТОРИ. ЕНЕРГІЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ

Приклади розв'язування задач

Задача 1. Плоский повітряний конденсатор від'єднали від джерела живлення. Як зміняться заряд і напруга на конденсаторі, якщо відстань між пластинами збільшити в 3 рази?

Дано:

$$d_2 = 3d_1$$

Розв'язання

Якщо заряджений конденсатор відключений від джерела живлення, то при зміні ємності конденсатора внаслідок зміни відстані між пластинами заряд на конденсаторі не зміниться.

$$\frac{q_1}{q_2} = ?$$

$$\frac{U_1}{U_2} = ?$$

$$\text{Отже, } \frac{q_1}{q_2} = 1.$$

Електроємність конденсатора визначають за формулою $C = \frac{q}{U}$, де q — заряд конденсатора, U — напруга на ньому.

З іншого боку, ємність плоского конденсатора $C = \frac{\epsilon \epsilon_0 S}{d}$, де S — площа обкладки конденсатора, d — відстань між ними;

ε — діелектрична проникність середовища, що розділяє обкладки (для повітряного конденсатора $\varepsilon = 1$); ε_0 — електрична стала.

Отже, для двох станів конденсатора маємо:

$$\frac{q}{U_1} = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d_1}; \quad \frac{q}{U_2} = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d_2}.$$

Звідси $U_1 = \frac{qd_1}{\varepsilon \varepsilon_0 S}$ і $U_2 = \frac{qd_2}{\varepsilon \varepsilon_0 S}$.

Знайдемо відношення: $\frac{U_1}{U_2} = \frac{d_1}{d_2}$.

Зважаючи на те, що $d_2 = 3d_1$, одержимо: $\frac{U_1}{U_2} = \frac{d_1}{3d_1} = \frac{1}{3}$, тобто напруга збільшиться в три рази.

Відповідь: заряд конденсатора не зміниться, напруга збільшиться в три рази.

Задача 2. Плоский повітряний конденсатор підключили до джерела живлення. Як зміниться енергія конденсатора, якщо відстань між пластинами збільшити у два рази, не відключаючи конденсатор від джерела живлення?

Дано: $d_2 = 2d_1$	Розв'язання
$\frac{W_1}{W_2} = ?$	Якщо конденсатор не відключати від джерела живлення, то напруга між його пластинами залишається незмінною: $U_1 = U_2$.

Енергія поля зарядженого конденсатора дорівнює:

$$W = \frac{CU^2}{2}, \text{ де } C \text{ — ємність конденсатора.}$$

Зважаючи на те, що ємність плоского конденсатора дорівнює:

$$C = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 S}{d}, \text{ одержимо: } W = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 SU^2}{2d}.$$

Отже, маємо:

$$W_1 = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 SU^2}{2d_1}; \quad W_2 = \frac{\varepsilon \varepsilon_0 SU^2}{2d_2}.$$

Знайдемо відношення: $\frac{W_1}{W_2} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{2d_1}{d_1} = 2$, тобто енергія конденсатора зменшиться в два рази.

Відповідь: енергія конденсатора зменшиться в два рази.

Задача 3. Ємності двох провідників становить 20 пФ і 40 пФ, а заряди на них 5 нКл і 2 нКл відповідно. Знайти заряди на провідниках після з'єднання їх дротом.

Дано:	СІ	Розв'язання
$C_1 = 20 \text{ пФ}$	$C_1 = 20 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}$	Електроємність провідника,
$C_2 = 30 \text{ пФ}$	$C_2 = 30 \cdot 10^{-12} \text{ Ф}$	що має заряд q і потенціал ϕ , до-
$q_1 = 5 \text{ нКл}$	$q_1 = 5 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$	рівнює: $C = \frac{q}{\phi}$.
$q_2 = 2 \text{ нКл}$	$q_2 = 2 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$	
$q'_1 - ?$		Після з'єднання провідників
$q'_2 - ?$		дротом їх потенціали будуть од-
		накові, а загальний заряд системи

не зміниться (за законом збереження електричного заряду). Позначимо q'_1 й q'_2 заряди провідників після з'єднання їх дротом, запишемо: $q_1 + q_2 = q'_1 + q'_2$.

Зважаючи на те, що $\phi = \frac{q'_1}{C_1} = \frac{q'_2}{C_2}$, виразимо q'_1 : $q'_1 = \frac{q'_2 \cdot C_1}{C_2}$.

Підставимо цей вираз у закон збереження електричного заряду, отримаємо:

$$q_1 + q_2 = \frac{q'_2 C_1}{C_2} + q'_2. \text{ Звідси знайдемо } q'_2: q'_2 = \frac{(q_1 + q_2) C_2}{C_1 + C_2}.$$

$$\text{Виразимо } q'_1: q'_1 = \frac{q'_2 C_1}{C_2} = \frac{(q_1 + q_2) C_1}{C_1 + C_2}.$$

Перевіримо одиниці шуканих величин:

$$[q'_2] = \frac{(\text{Кл} + \text{Кл}) \text{Ф}}{\text{Ф} + \text{Ф}} = \frac{\text{Кл} \cdot \text{Ф}}{\text{Ф}} = \text{Кл};$$

$$[q'_1] = \frac{(\text{Кл} + \text{Кл}) \text{Ф}}{\text{Ф} + \text{Ф}} = \frac{\text{Кл} \cdot \text{Ф}}{\text{Ф}} = \text{Кл}.$$

Визначимо числове значення:

$$\{q'_2\} = \frac{(5 \cdot 10^{-9} + 2 \cdot 10^{-9}) \cdot 30 \cdot 10^{-12}}{20 \cdot 10^{-12} + 30 \cdot 10^{-12}} = \frac{7 \cdot 10^{-9} \cdot 30}{50} = 4,2 \cdot 10^{-9};$$

$$q'_2 = 4,2 \cdot 10^{-9} \text{ Кл} = 4,2 \text{ нКл};$$

$$\{q'_1\} = \frac{(5 \cdot 10^{-9} + 2 \cdot 10^{-9}) \cdot 20 \cdot 10^{-12}}{20 \cdot 10^{12} + 30 \cdot 10^{-12}} = \frac{7 \cdot 10^{-9} \cdot 20}{50} = 2,8 \cdot 10^{-9};$$

$$q'_1 = 2,8 \cdot 10^{-9} \text{ Кл} = 2,8 \text{ нКл}.$$

Відповідь: заряди провідників після з'єднання їх дотом дорівнюють 2,8 нКл і 4,2 нКл.

1-й рівень складності

- ? 5.1. Як зміниться ємність повітряного конденсатора, якщо між пластинами помістити діелектрик?
- ? 5.2. Як зміниться ємність конденсатора, якщо площу пластин збільшити в три рази?
- ? 5.3. Як зміниться ємність конденсатора, якщо відстань між пластинами збільшити в чотири рази?
- 5.4. Знайти ємність конденсатора, якщо заряд на його обкладках дорівнює 20 мкКл, а напруга між обкладками 40 В.
- 5.5. Заряд на пластинах конденсатора ємністю 40 нФ дорівнює 20 мкКл. Визначити різницю потенціалів між обкладками конденсатора.
- 5.6. Знайти заряд на обкладках конденсатора ємністю 20 мкФ, підключеного до джерела живлення, напруга на виході якого становить 200 В.
- 5.7. Знайти ємність плоского повітряного конденсатора, якщо площа його пластин становить 100 см², а відстань між пластинами 2 мм.
- 5.8. Дано два конденсатори 5 мкФ і 3 мкФ. Якою стане загальна ємність при їх послідовному з'єднанні?
- 5.9. При послідовному з'єднанні двох конденсаторів їх загальна ємність становить 1,5 мкФ. Знайти ємність одного з конденсаторів, якщо ємність іншого дорівнює 2 мкФ.
- 5.10. Дано два конденсатори 5 мкФ і 4 мкФ. Визначити ємність батареї конденсаторів при їх паралельному з'єднанні.
- 5.11. При паралельному з'єднанні двох конденсаторів їх загальна ємність становить 8 мкФ. Знайти ємність одного з конденсаторів, якщо ємність іншого становить 3 мкФ.

5.12. Конденсатор ємністю 30 мкФ приєднали до джерела живлення, напруга на виході якого дорівнює 200 В. Визначити енергію електричного поля конденсатора.

5.13. Заряд на пластинах конденсатора ємністю 40 нФ дорівнює 40 мкКл. Визначити енергію електричного поля конденсатора.

5.14. Енергія електричного поля зарядженого конденсатора ємністю 30 мкФ становить 0,27 Дж. Знайти напругу на обкладках конденсатора.

2-й рівень складності

5.15. Плоский повітряний конденсатор від'єднали від джерела живлення. Як зміняться заряд і напруга на конденсаторі, якщо відстань між пластинами заповнити діелектриком?

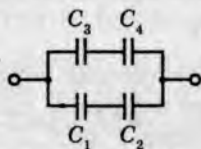
5.16. Плоский повітряний конденсатор підключили до джерела живлення. Як зміняться заряд і напруга на конденсаторі, якщо відстань між пластинами зменшити у два рази, не відключаючи конденсатор від джерела живлення?

5.17. Плоский повітряний конденсатор підключили до джерела живлення. Як зміняться заряд і напруга на конденсаторі, якщо відстань між пластинами заповнити діелектриком?

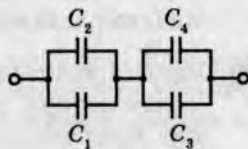
5.18. Плоский повітряний конденсатор, відстань між пластинами якого 2 мм, занурили в гас. На скільки треба змінити відстань між пластинами конденсатора, щоб його ємність не змінилася?

5.19. Визначити ємність батареї конденсаторів (див. рисунок), якщо $C_1 = 2$ мкФ, $C_2 = 6$ мкФ, $C_3 = 5$ мкФ і $C_4 = 15$ мкФ.

5.20. Визначити ємність батареї конденсаторів (див. рисунок), якщо $C_1 = C_2 = C_3 = 1$ мкФ і $C_4 = 6$ мкФ.



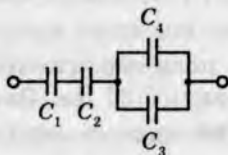
До задачі 5.19



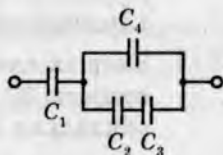
До задачі 5.20

5.21. Визначити ємність батареї конденсаторів (див. рисунок), якщо $C_1 = 1$ мкФ, $C_2 = 2$ мкФ, $C_3 = 4$ мкФ і $C_4 = 6$ мкФ.

5.22. Визначити ємність батареї конденсаторів (див. рисунок), якщо $C_1 = 4$ мкФ, $C_2 = 2$ мкФ, $C_3 = 6$ мкФ і $C_4 = 2,5$ мкФ.



До задачі 5.21



До задачі 5.22

5.23. Ємності двох провідників 30 і 40 пФ, а заряди на них 4 нКл і 5 нКл відповідно. Чи будуть переміщатися заряди, якщо провідники з'єднати дротом?

5.24. Як зміниться енергія конденсатора, якщо його ємність збільшити у три рази, а заряд на його обкладках зменшити у два рази?

5.25. Як зміниться енергія конденсатора, якщо його ємність зменшити у три рази, а напругу на обкладках збільшити у три рази?

5.26. Плоский повітряний конденсатор від'єднали від джерела живлення. Як зміниться енергія конденсатора, якщо відстань між пластинами заповнити діелектриком?

? **5.27.** Плоский повітряний конденсатор від'єднали від джерела живлення. Як зміниться енергія конденсатора, якщо відстань між пластинами збільшити у три рази, а площу пластин зменшити у два рази?

5.28. Плоский конденсатор складається із двох пластин площею 50 см² кожна, розміщених на відстані 2 мм одна від одної й розділених шаром слюди. Конденсатор зарядили до напруги 200 В. Визначте заряд на обкладках конденсатора.

5.29. Знайти відстань між пластинами плоского повітряного конденсатора, якщо при напрузі 2 кВ заряд на пластинах конденсатора дорівнює 4 нКл. Площа кожної пластини 10 см².

- 5.30.** Плоский конденсатор складається із двох круглих пластин діаметром 10 см, розділених шаром слюди завтовшки 1 мм. Який найбільший заряд може накопичити конденсатор, якщо допустима напруга 3 кВ?
- 5.31.** Плоский конденсатор, заряджений до напруги 160 В, помістили в гас. Площа кожної пластини 200 см², відстань між ними 2 мм. Знайти енергію електричного поля конденсатора.
- 5.32.** Напруженість електричного поля між обкладками повітряного конденсатора ємністю 0,8 мкФ дорівнює 1 кВ/м. Визначити енергію електричного поля конденсатора, якщо відстань між його обкладками 1 мм.
- 5.33.** Яка сила буде діяти на заряд 8 мкКл, поміщений між пластинами плоского конденсатора, напруга на обкладках якого 600 В? Відстань між пластинами конденсатора 2 см.
- 5.34.** Порошина масою 0,5 мг висить у повітрі між горизонтальними пластинами плоского конденсатора, до обкладок якого прикладена напруга 2 кВ. Відстань між пластинами конденсатора 4 см. Який заряд має порошина?
- 5.35.** Три конденсатори, що мають ємності 2 мкФ, 3 мкФ і 12 мкФ, з'єднали паралельно й підключили до джерела живлення, напруга на виході якого становить 120 В. Визначити заряд і напругу на обкладках кожного конденсатора.
- 5.36.** Три конденсатори, що мають ємності 2 мкФ, 3 мкФ і 12 мкФ, з'єднали послідовно й підключили до джерела живлення, напруга на виході якого становить 120 В. Визначити заряд і напругу на обкладках кожного конденсатора.

3-й рівень складності

- 5.37.** Конденсатор ємністю C_1 зарядили до напруги 400 В і приєднали паралельно до незарядженого конденсатора ємністю 4 мкФ. Вольтметр, приєднаний до них, показав 100 В. Визначте ємність C_1 .
- 5.38.** Два конденсатори з'єднали послідовно. На одному з них написано «1 мкФ, 6 В», на іншому — «2 мкФ, 6 В». Яку максимально допустиму напругу можна прикласти до цієї ділянки кола?

5.39. Провідник ємністю 10 пФ зарядили до потенціалу 6 кВ, а провідник ємністю 20 пФ — до потенціалу 12 кВ. Яка кількість теплоти виділиться після з'єднання їх дротом? (Відстань між провідниками значно більша за їхні розміри.)

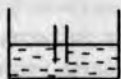
5.40. Дві металеві кулі мають ємності 10 пФ і 30 пФ і потенціали 40 В і 50 В відповідно. Якими будуть потенціали куль, якщо з'єднати їх тонким дротом? (Відстань між кулями значно більша за їхні розміри.)

5.41. Плоский конденсатор зарядили до напруги 2 кВ. Площа кожної пластини $0,24 \text{ м}^2$, відстань між ними 5 мм. Обкладки конденсатора розсовують так, що відстань між ними збільшується вдвічі. Визначити роботу, виконану при розсовуванні обкладок.

5.42. Два конденсатори, з'єднані паралельно, мають ємність 4 мкФ, а з'єднані послідовно — ємність 0,75 мкФ. Знайти ємність кожного конденсатора.

5.43. Є три різні конденсатори, ємність одного з них становить 2 мкФ. Коли всі три конденсатори з'єднали послідовно, ємність батареї дорівнювала 1 мкФ; коли їх з'єднали паралельно — 11 мкФ. Визначити ємності двох невідомих конденсаторів.

5.44. Плоский конденсатор, відстань між пластинами якого 2 мм, занурили до половини в гас (див. рисунок). На скільки треба розсунути пластини конденсатора, щоб його ємність не змінилася?



До задачі 5.44

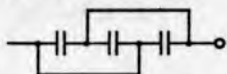


До задачі 5.45

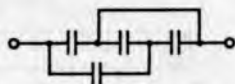
5.45. Плоский конденсатор, відстань між пластинами якого 2 мм, занурили до половини в гас (див. рисунок). Площа кожної пластини 5 см^2 . Визначити ємність конденсатора.

5.46. Визначити загальну ємність батареї конденсаторів (див. рисунок), якщо ємність кожного конденсатора дорівнює 4 мкФ.

- 5.47.** Визначити ємність батареї конденсаторів (див. рисунок), якщо ємність кожного конденсатора дорівнює 3 мкФ .



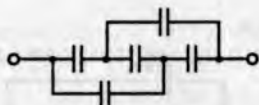
До задачі 5.46



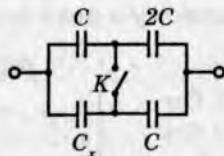
До задачі 5.47

- 5.48.** Визначити загальну ємність батареї конденсаторів (див. рисунок), якщо ємність кожного конденсатора дорівнює 4 мкФ .

- 5.49.** У схемі, зображеній на рисунку, ємність батареї конденсаторів не змінюється при замиканні ключа K . Знайти ємність конденсатора C_x .



До задачі 5.48



До задачі 5.49

- 5.50.** Два плоскі конденсатори C_1 і C_2 заряджені до напруги U_1 і U_2 відповідно. Довести, що при паралельному з'єднанні цих конденсаторів їх загальна енергія зменшується.

- 5.51*.** Знайти густину енергії електричного поля зарядженого плоского конденсатора, між пластинами якого знаходиться твердий діелектрик, якщо тиск пластин на діелектрик становить 2 Па .

- 5.52*.** Знайти густину енергії електричного поля зарядженого плоского повітряного конденсатора, якщо напруженість електричного поля між його пластинами дорівнює 10^6 В/м .

- 5.53*.** Знайти густину енергії електричного поля зарядженого плоского повітряного конденсатора, якщо сила притягання між пластинами 30 мН . Площа пластини 100 см^2 .

- 5.54*.** Знайти густину енергії електричного поля зарядженого плоского конденсатора, між пластинами якого знаходиться твердий діелектрик, якщо тиск пластин на діелектрик становить 2 Па .

6. ЗАКОН ОМА ДЛЯ ДІЛЯНКИ КОЛА

Приклади розв'язування задач

Задача 1. Два резистори, опори яких відповідно дорівнюють 2 Ом і 3 Ом, з'єднали послідовно й підключили до джерела постійної напруги 6 В. Знайдіть силу струму в колі та спад напруги на кожному з резисторів.

Дано:

$$R_1 = 2 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 3 \text{ Ом}$$

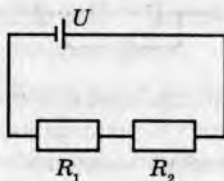
$$U = 6 \text{ В}$$

$$I = ?$$

$$U_1 = ?$$

$$U_2 = ?$$

Розв'язання



При послідовному з'єднанні резисторів їх загальний опір дорівнює: $R_0 = R_1 + R_2$.

$$\text{За законом Ома } I = \frac{U}{R_0} = \frac{U}{R_1 + R_2}.$$

Сила струму в обох резисторах R_1 та R_2 однакова й дорівнює загальній силі струму в колі. Напруга на кожному з резисторів

$$\text{дорівнює: } U_1 = IR_1 = \frac{UR_1}{R_1 + R_2}; \quad U_2 = IR_2 = \frac{UR_2}{R_1 + R_2}.$$

Визначимо значення шуканих величин:

$$[I] = \frac{\text{В}}{\text{Ом} + \text{Ом}} = \text{А}; \quad [U] = \frac{\text{В} \cdot \text{Ом}}{\text{Ом} + \text{Ом}} = \text{В}.$$

$$I = \frac{6}{2+3} = 1,2 \text{ (А)};$$

$$U_1 = \frac{6 \cdot 2}{2+3} = 2,4 \text{ (В)}; \quad U_2 = \frac{6 \cdot 3}{2+3} = 3,6 \text{ (В)}.$$

Відповідь: $I = 1,2 \text{ А}$; $U_1 = 2,4 \text{ В}$; $U_2 = 3,6 \text{ В}$.

Задача 2. Визначте опір мідного дроту масою 300 г і довжиною 340 м.

Дано:

$$m = 300 \text{ г}$$

$$l = 340 \text{ м}$$

$$\rho = 8900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

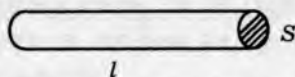
$$\rho_c = 1,70 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$R = ?$$

СІ

$$m = 0,3 \text{ кг}$$

Розв'язання



Маса циліндричного провідника $m = \rho \cdot V = \rho \cdot l \cdot S$, де ρ — густина міді, V — об'єм провідника, l — його довжина, S — площа його поперечного перерізу.

Опір провідника циліндричної форми $R = \rho_c \frac{l}{S}$, де ρ_c — питомий опір міді.

Таким чином, маємо систему рівнянь
$$\begin{cases} m = \rho l S; \\ R = \rho_c \frac{l}{S}. \end{cases}$$

Помноживши перше рівняння на друге, одержимо:

$$m \cdot R = \rho \cdot \rho_c \cdot l^2.$$

Виразимо опір провідника R :
$$R = \frac{\rho \cdot \rho_c \cdot l^2}{m}.$$

Визначимо значення шуканої величини:

$$[R] = \frac{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \text{Ом} \cdot \text{м} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}} = \text{Ом};$$

$$\{R\} = \frac{8900 \cdot 1,7 \cdot 10^{-8} \cdot 340^2}{0,3} = 58,3; R = 58,3 \text{ Ом}.$$

Відповідь: $R = 58,3 \text{ Ом}$.

1-й рівень складності

6.1. Визначте силу струму в провіднику, якщо напруга на його кінцях 60 В, а опір провідника 20 Ом.

6.2. Визначте напругу на кінцях провідника, опір якого 25 Ом, якщо сила струму в провіднику 2 А.

6.3. Визначте опір провідника, якщо напруга на його кінцях 80 В, а сила струму в ньому 2 А.

6.4. Який заряд пройде через поперечний переріз провідника за 5 хв, якщо сила струму в провіднику 0,5 А?

6.5. Знайдіть силу струму в провіднику, якщо за 1 хв через його поперечний переріз пройшов заряд 90 Кл.

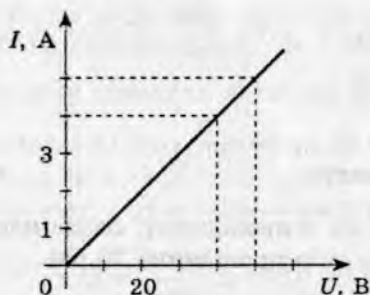
6.6. Знайдіть напругу на кінцях провідника опором 20 Ом, якщо за 10 хв через його поперечний переріз пройшов заряд 360 Кл.

6.7. Як зміниться сила струму на ділянці кола, якщо напругу на ділянці збільшити в два рази, а опір ділянки зменшити в 1,5 разу?

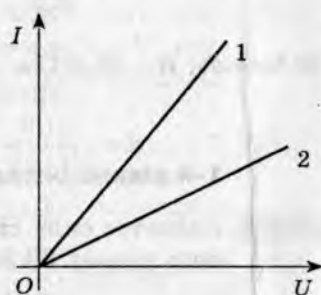
6.8. Якщо до кінців провідника прикласти напругу 100 В, то по ньому потече струм 2 А. Яку напругу потрібно прикласти до кінців цього провідника, щоб сила струму в ньому дорівнювала 0,8 А?

6.9. На рисунку подана вольт-амперна характеристика провідника. Визначте його опір.

6.10. На рисунку подані вольт-амперні характеристики двох провідників. Опір якого провідника більший? Відповідь обґрунтуйте.



До задачі 6.9



До задачі 6.10

6.11. Ділянка кола складається з трьох провідників, опори яких становлять 4 Ом, 5 Ом і 6 Ом. Їх з'єднали послідовно. Знайдіть загальний опір ділянки.

6.12. Ділянка кола складається з двох провідників, опори яких становлять 3 Ом і 6 Ом, з'єднаних паралельно. Знайдіть загальний опір ділянки.

6.13. Обмотка реостата з опором 84 Ом виготовлена з нікелінового дроту з площею поперечного перерізу 1 мм^2 . Знайдіть довжину дроту.

6.14. Реостат виготовлений з ніхромового дроту площею поперечного перерізу 1 мм^2 і довжиною 100 м. Визначте його опір.

2-й рівень складності

6.15. Сила струму в провіднику дорівнює 0,8 А. Скільки електронів проходить через поперечний переріз провідника за 1 хв?

6.16. У скільки разів відрізняються опори двох провідників, виготовлених з одного матеріалу, якщо перший довший від другого в три рази, а діаметр другого менший за діаметр першого в два рази.

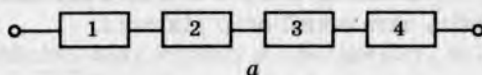
6.17. Знайдіть діаметр ніхромового дроту довжиною 20 м, якщо його опір 5 Ом.

6.18. Знайдіть силу струму в мідному провіднику довжиною 50 м і діаметром 1 мм, якщо напруга на його кінцях становить 1,2 В.

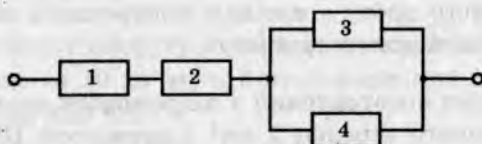
6.19. Є три однакові резистори з опором по 2 Ом кожний. Накресліть електричні схеми всіх можливих варіантів їх з'єднання й знайдіть загальний опір у всіх випадках.

6.20. Два резистори з опором 2 Ом і 3 Ом з'єднали паралельно й підключили до джерела постійної напруги 6 В. Знайдіть силу струму в колі та в кожному з резисторів.

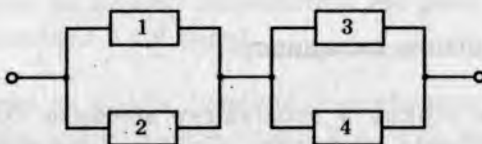
6.21. Всі резистори, з яких складається ділянка електричного кола (див. рисунок), мають однаковий опір 2 Ом. Напруга, підведена до ділянки, становить 36 В. Знайдіть загальний опір ділянки, напругу й силу струму в кожному з резисторів.



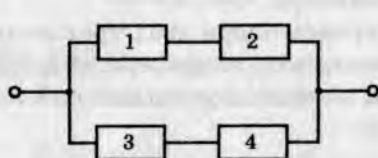
a



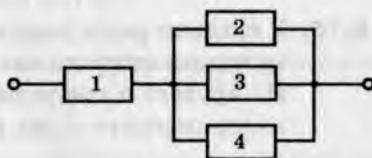
б



в



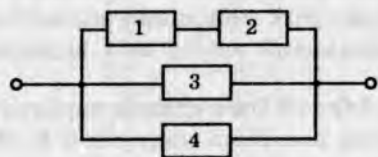
г



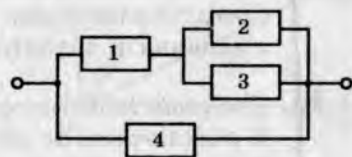
д



е

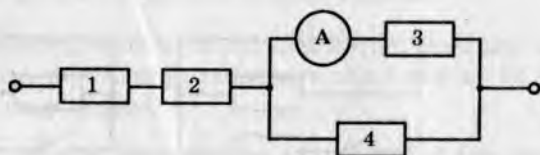


ж

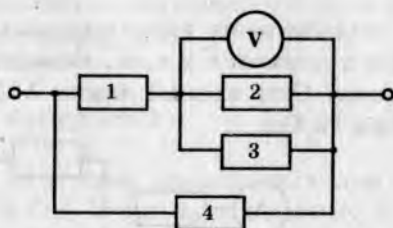


з

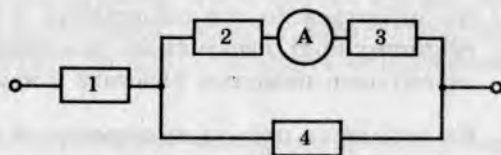
6.22. Всі резистори, з яких складається ділянка електричного кола (див. рисунок), мають однаковий опір 1 Ом . Амперметр* показує 2 А , вольтметр — 12 В . Знайдіть напругу й силу струму в кожному з резисторів, а також загальну силу струму й напругу, підведену до всієї ділянки.



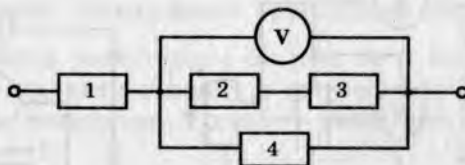
a



б



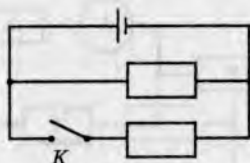
в



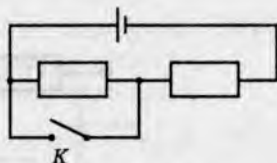
г

* Якщо в задачі немає спеціального застереження, вважайте всі вимірювальні прилади ідеальними.

6.23. Два однакові резистори увімкнені в електричне коло, як показано на рисунку. Як зміниться загальна сила струму в колі, якщо замкнути ключ K ?

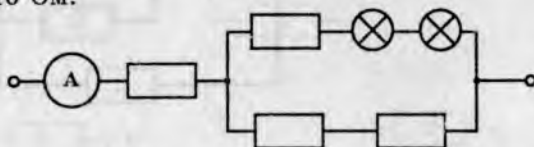


До задачі 6.23

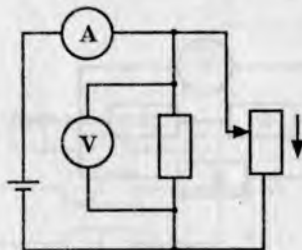


До задачі 6.24

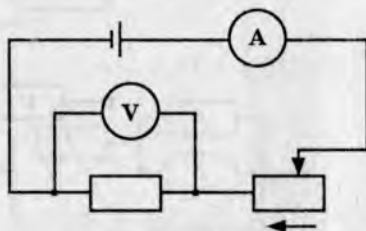
6.25. У скільки разів зміняться покази амперметра, якщо одна з лампочок у колі, наведеному на рисунку, перегорить? Опір кожної лампи 5 Ом, опір кожного резистора 10 Ом.



6.26. Як зміняться покази амперметра й вольтметра в електричному колі, схема якого наведена на рисунку, якщо переміщати повзунок реостата у напрямку стрілки?



До задачі 6.26



До задачі 6.27

6.28*. Який додатковий опір необхідно підключити до вольтметра, щоб розширити межі вимірювання від 50 В до 500 В? Опір вольтметра 1000 Ом.

6.29*. У скільки разів зміниться верхня межа вимірювання вольтметра, що має власний опір 2 кОм, якщо до нього приєднати додатковий опір 18 кОм?

6.30*. Межу вимірювання міліамперметра, власний опір якого 9 Ом, необхідно розширити від 1 мА до 10 мА. Знайдіть опір шунта.

6.31*. За допомогою амперметра з опором 0,9 Ом, розрахованого на вимірювання максимальної сили струму 10 А, необхідно вимірювати струми силою до 100 А. Якої довжини знадобиться залізний дріт перерізом 0,28 мм² для виготовлення шунта?

3-й рівень складності

6.32. Загальний опір двох провідників при послідовному з'єднанні 25 Ом, а при паралельному 6 Ом. Знайдіть опір кожного провідника.

6.33. У мережу з напругою 36 В увімкнули два послідовно з'єднані провідники. Сила струму склала 0,9 А. Коли ці самі провідники з'єднали паралельно, сила струму збільшилася до 4,8 А. Знайдіть опір кожного провідника.

6.34. Із дроту виготовили кільце, до якого приєднали з'єднувальні проводи. Опір ланцюга, виміряний між точками приєднання проводів, становить 24 % від опору дроту, з якого виготовлене кільце. У якому співвідношенні ділять кільце точки приєднання проводів?

6.35. З однакових резисторів з опором по 3 Ом кожен необхідно отримати ділянку з опором 4,8 Ом, використовуючи мінімальну кількість резисторів. Як їх треба з'єднати?

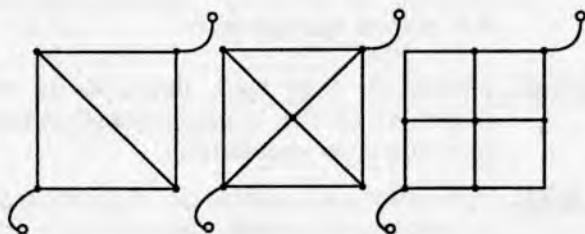
6.36. Мідний і алюмінієвий дроти мають однакові маси та опори. Площа перерізу якого дроту більша й у скільки разів? Який дріт довший і у скільки разів?

6.37. Два ніхромові дроти мають однакові маси, але діаметр одного у два рази більший, ніж іншого. Який із дротів має більший опір і в скільки разів?

6.38. Скільки витків алюмінієвого дроту площею поперечного перерізу $0,2 \text{ мм}^2$ необхідно намотати на порцеляновий циліндр діаметром 2 см , щоб опір реостата був $0,8 \text{ Ом}$?

6.39*. До амперметра з опором $0,1 \text{ А}$ й ціною поділки шкали 2 мА підключений шунт, виготовлений із нікелінового дроту довжиною 10 см і площею поперечного перерізу $1,5 \text{ мм}^2$. Знайдіть нову ціну поділки шкали амперметра.

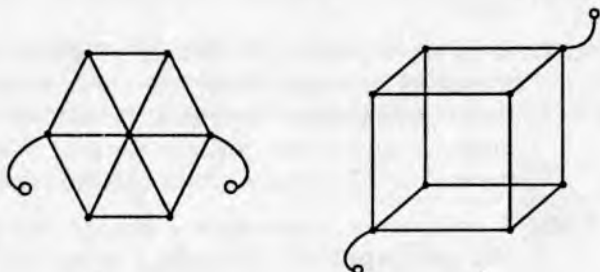
6.40. Опір ланки дротяної сітки дорівнює R . Знайдіть загальний опір ділянки кола (див. рисунок).



a

б

в



г

д

7. ЕЛЕКТРОРУШІЙНА СИЛА (ЕРС). ЗАКОН ОМА ДЛЯ ПОВНОГО КОЛА

Приклад розв'язування задач

Задача. До джерела струму з ЕРС 3,0 В підключили провідник опором 20 Ом. Вольтметр, підключений до провідника, показав 2,0 В. Знайдіть внутрішній опір джерела струму.

Дано:

$$\mathcal{E} = 3 \text{ В}$$

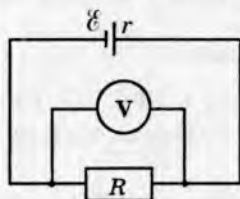
$$R = 20 \text{ Ом}$$

$$U = 2 \text{ В}$$

$$r = ?$$

Розв'язання

Виконаємо пояснювальний рисунок.



Вольтметр, підключений до провідника, показує напругу: $U = I \cdot R$.

За законом Ома для повного ланцюга сила струму дорівнює: $I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}$.

Після підстановки отримаємо:

$$U = \frac{\mathcal{E}R}{R + r}.$$

Знайдемо із цього виразу внутрішній опір джерела струму r :

$$r = \frac{\mathcal{E}R}{U} - R.$$

Визначимо значення шуканої величини:

$$[r] = \frac{\text{В} \cdot \text{Ом}}{\text{В}} - \text{Ом} = \text{Ом} - \text{Ом} = \text{Ом}.$$

$$\{r\} = \frac{3 \cdot 20}{2} - 20 = 10; \quad r = 10 \text{ Ом}.$$

Відповідь: $r = 10 \text{ Ом}$.

1-й рівень складності

7.1. Визначте ЕРС джерела струму, якщо при переміщенні заряду 10 Кл сторонні сили виконали роботу 120 Дж.

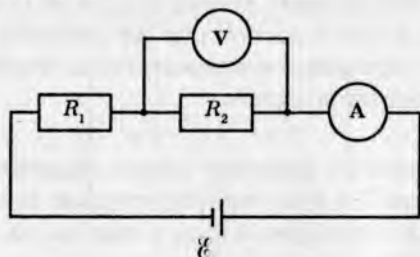
7.2. Сторонні сили виконали роботу 0,72 кДж. Визначте величину заряду, що перемістився по колу, якщо ЕРС джерела струму дорівнює 12 В.

- 7.3. До джерела струму, ЕРС якого 24 В, а внутрішній опір 0,5 Ом, підключили резистор з опором 7,5 Ом. Знайдіть силу струму в колі.
- 7.4. До джерела струму, внутрішній опір якого 1 Ом, підключили лампу з опором 8 Ом. Сила струму в колі склала 0,5 А. Знайдіть ЕРС джерела струму.
- 7.5. ЕРС джерела струму 220 В, його внутрішній опір 1,5 Ом. Знайдіть опір зовнішньої ділянки кола, якщо сила струму в колі дорівнює 4 А.
- 7.6. До джерела струму, ЕРС якого 4 В, підключили резистор з опором 3,5 Ом. Сила струму в колі становить 1 А. Знайдіть внутрішній опір джерела струму.

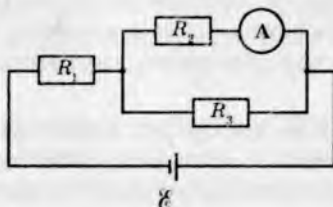
2-й рівень складності

- 7.7. До джерела струму з ЕРС 5 В і внутрішнім опором 0,5 Ом підключили лампу з опором 12 Ом. Знайдіть напругу на лампі.
- 7.8. Батарея акумуляторів має ЕРС 12 В. Сила струму в колі дорівнює 4 А, напруга на клеммах батареї 11 В. Визначте внутрішній опір батареї акумуляторів.
- 7.9. У колі, що складається із джерела струму з ЕРС 6 В і внутрішнім опором 2 Ом та резистором з опором R , сила струму дорівнює 1 А. Якою стане сила струму в колі, якщо зовнішній опір кола збільшиться в два рази?
- 7.10. Джерело струму з ЕРС 60 В і внутрішнім опором 2 Ом підключили до ділянки кола, що складається із двох послідовно з'єднаних резисторів. Сила струму в колі становить 2 А, опір одного з резисторів 20 Ом. Знайдіть опір іншого резистора.
- 7.11. Джерело струму з ЕРС 7,5 В і внутрішнім опором 0,3 Ом підключили до ділянки кола, що складається із двох паралельно з'єднаних резисторів. Опори резисторів 2 Ом і 3 Ом. Знайдіть силу струму в кожному з них.
- 7.12. Джерело струму з ЕРС 6 В і внутрішнім опором 0,2 Ом підключили до ділянки кола, що складається із двох послідовно з'єднаних резисторів. Опори резисторів 1,8 Ом і 10 Ом. Знайдіть силу струму в колі й напругу на кожному з резисторів.

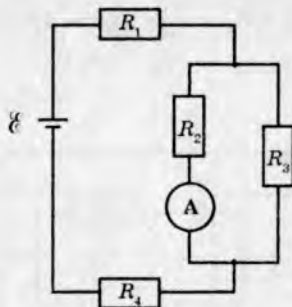
- 7.13.** Визначте покази амперметра й вольтметра (див. рисунок), якщо $R_1 = 3 \text{ Ом}$, $R_2 = 6 \text{ Ом}$, ЕРС джерела струму 10 В , а його внутрішній опір 1 Ом .



- 7.14.** Визначте покази амперметра (див. рисунок), якщо $R_1 = R_2 = R_3 = 2 \text{ Ом}$, ЕРС джерела струму 8 В , а внутрішній опір 1 Ом .



- 7.15.** Знайдіть значення сили струму, яку показує амперметр (див. рисунок), якщо $R_1 = 5 \text{ Ом}$, $R_2 = 3 \text{ Ом}$, $R_3 = 6 \text{ Ом}$, $R_4 = 4 \text{ Ом}$, ЕРС джерела струму 12 В , а внутрішній опір 1 Ом .



- 7.16.** Якщо до джерела струму з ЕРС 4 В підключити провідник з опором 7 Ом , то сила струму в колі дорівнюватиме $0,5 \text{ А}$. Знайдіть силу струму короткого замикання.

3-й рівень складності

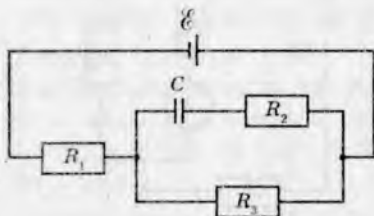
7.17. Ніхромовий провідник довжиною 50 см і діаметром 0,5 мм підключили до джерела струму з ЕРС 4,5 В і внутрішнім опором 3 Ом. Знайдіть напругу на кінцях провідника.

7.18. Коли до джерела струму підключили резистор з опором 7,5 Ом, сила струму в колі склала 2 А, а при підключенні резистора з опором 15,5 Ом — 1 А. Знайдіть ЕРС і внутрішній опір джерела струму.

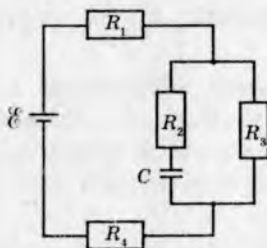
7.19. Якщо до джерела струму підключити резистор з опором 8 Ом, то в колі виникне струм певної сили. Якщо замінити резистор на інший, з опором 17 Ом, то сила струму стане в два рази меншою, ніж у першому випадку. Визначте внутрішній опір джерела струму.

7.20. Знайдіть напругу й заряд на обкладках конденсатора ємністю 4 мкФ, якщо ЕРС джерела струму 9 В, його внутрішній опір 1 Ом. Усі резистори однакові й мають опір по 4 Ом кожен (див. рисунок).

7.21. Визначте напругу й заряд на обкладках конденсатора ємністю 2 мкФ, якщо ЕРС джерела струму 12 В, його внутрішній опір 1 Ом, опори резисторів $R_1 = 1$ Ом, $R_2 = R_3 = R_4 = 5$ Ом (див. рисунок).

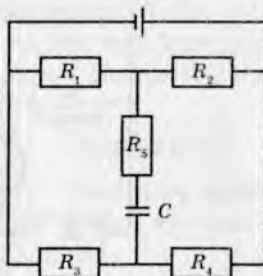


До задачі 7.20



До задачі 7.21

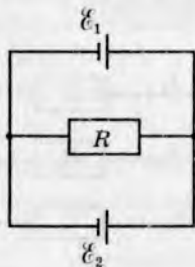
- 7.22.** Знайдіть напругу й заряд на обкладках конденсатора (див. рисунок) ємністю 2 мкФ , якщо ЕРС джерела струму 6 В , його внутрішній опір 1 Ом , опори резисторів: $R_1 = 1 \text{ Ом}$, $R_2 = R_4 = 2 \text{ Ом}$, $R_3 = R_5 = 4 \text{ Ом}$.



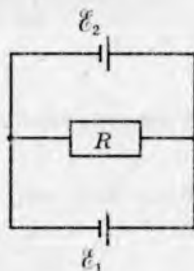
- 7.23*.** Знайдіть силу струму в резисторі з опором 5 Ом , якщо внутрішні опори джерел струму однакові й дорівнюють 2 Ом , а їхні ЕРС становлять $\mathcal{E}_1 = 7 \text{ В}$, $\mathcal{E}_2 = 1 \text{ В}$ (див. рисунок).

- 7.24*.** ЕРС першого джерела струму $\mathcal{E}_1 = 12 \text{ В}$, його внутрішній опір 1 Ом , внутрішній опір другого джерела струму 3 Ом . Якою повинна бути ЕРС другого джерела струму, щоб сила струму, що протікає через опір R , дорівнювала нулю (див. рисунок)?

- 7.25*.** ЕРС джерел струму $\mathcal{E}_1 = 10 \text{ В}$, $\mathcal{E}_2 = 15 \text{ В}$, їх внутрішні опори, відповідно, $0,2 \text{ Ом}$ і $0,3 \text{ Ом}$. Яким одним еквівалентним джерелом струму можна замінити ці два джерела (див. рисунок), підключені до зовнішнього опору R ? Знайдіть його ЕРС і внутрішній опір еквівалентного джерела струму.

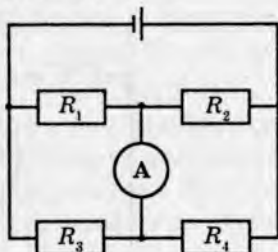


До задач 7.23, 7.24

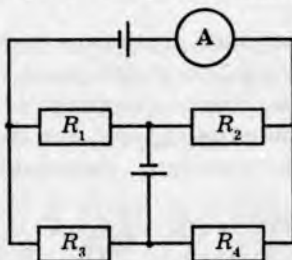


До задачі 7.25

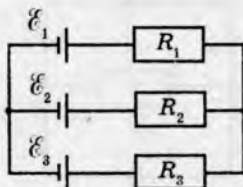
- 7.26*. Знайдіть покази амперметра (див. рисунок), якщо $R_1 = R_2 = R_3 = 2 \text{ Ом}$, $R_4 = 4 \text{ Ом}$, ЕРС джерела струму 14 В. (Внутрішніми опорами джерела струму та опором амперметра знехтувати.)



- 7.27*. Знайдіть покази амперметра (див. рисунок), якщо $R_1 = R_2 = R_3 = 2 \text{ Ом}$, $R_4 = 4 \text{ Ом}$, ЕРС джерел струму однакові й дорівнюють 12 В. (Внутрішніми опорами джерел струму та опором амперметра знехтувати.)



- 7.28*. Знайдіть ЕРС третього джерела струму (див. рисунок), при якому струм в опорі R_3 не існує, якщо $\mathcal{E}_1 = 10 \text{ В}$, $\mathcal{E}_2 = 30 \text{ В}$, $R_1 = 20 \text{ Ом}$, $R_2 = 5 \text{ Ом}$. (Внутрішніми опорами джерел струму знехтувати.)



8. РОБОТА Й ПОТУЖНІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ

Приклади розв'язування задач

Задача 1. Резистори з опорами 90 Ом і 150 Ом увімкнені в мережу послідовно. Яка кількість теплоти виділиться в другому резисторі за той же час, за який у першому резисторі виділилося 18 кДж теплоти?

Дано: $R_1 = 90 \text{ Ом}$ $R_2 = 150 \text{ Ом}$ $t_1 = t_2$ $Q = 18 \text{ кДж}$ $Q_2 = ?$	СИ $Q = 18 \cdot 10^3 \text{ Дж}$	Розв'язання Оскільки резистори з'єднані послідовно, то сила струму в них однакова: $I_1 = I_2 = I.$
--	--	---

За законом Джоуля — Ленца кількість теплоти, що виділяється в провіднику опором R при проходженні через нього струму силою I за час t , дорівнює: $Q = I^2 R t$. Враховуючи, що $t_1 = t_2$ і $I_1 = I_2$,

одержимо:
$$\begin{cases} Q_1 = I^2 R_1 t; \\ Q_2 = I^2 R_2 t. \end{cases}$$

Звідси $\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{R_1}{R_2}$, отже, $Q_2 = \frac{Q_1 R_2}{R_1}$.

Визначимо значення шуканої величини:

$$[Q_2] = \frac{\text{Дж} \cdot \text{Ом}}{\text{Ом}} = \text{Дж};$$

$$\{Q_2\} = \frac{18 \cdot 10^3 \cdot 150}{90} = 30 \cdot 10^3; \quad Q_2 = 30 \cdot 10^3 \text{ Дж} = 30 \text{ кДж}.$$

Відповідь: $Q = 30 \text{ кДж}$.

Задача 2. ЕРС джерела струму 2,0 В, його внутрішній опір 1,0 Ом. Знайдіть опір навантаження, якщо зовнішня ділянка кола споживає потужність 0,75 Вт.

Дано: $\mathcal{E} = 2,0 \text{ В}$ $r = 1,0 \text{ Ом}$ $P = 0,75 \text{ Вт}$ $R = ?$	Розв'язання Потужність, споживана зовнішньою ділянкою кола, дорівнює: $P = I^2 R$. З урахуванням закону Ома для повного кола $I = \frac{\mathcal{E}}{R + r}, \text{ одержимо: } P = \frac{\mathcal{E}^2 R}{(R + r)^2}.$
--	---

Очевидно, що отриманий вираз є квадратним рівнянням щодо невідомої величини R . Приведемо його до стандартного вигляду $P(R^2 + 2Rr + r^2) = \mathcal{E}^2 R$, тобто

$$P \cdot R^2 + R(2Pr - \mathcal{E}^2) + Pr^2 = 0;$$

$$D = (2Pr - \mathcal{E}^2)^2 - 4P^2 r^2 = \mathcal{E}^2 (\mathcal{E}^2 - 4Pr), \text{ звідси}$$

$$[R_{1,2}] = \frac{\mathcal{E}^2 - 4Pr \pm \mathcal{E} \sqrt{\mathcal{E}^2 - 4P^2}}{2P}.$$

Визначимо значення шуканої величини:

$$[R_{1,2}] = \frac{B^2 - B_{\text{т}} \cdot \text{Ом} \pm B \sqrt{B^2 - B_{\text{т}} \cdot \text{Ом}}}{B_{\text{т}}} =$$

$$= \frac{B^2 - \frac{B^2}{\text{Ом}} \cdot \text{Ом} \pm B \sqrt{B^2 - \frac{B^2}{\text{Ом}} \cdot \text{Ом}}}{\frac{B^2}{\text{Ом}}} = \frac{B^2}{\frac{B^2}{\text{Ом}}} = \text{Ом};$$

$$R_{1,2} = \frac{4 - 1,5 \pm \sqrt{4 - 3}}{1,5} = \frac{2,5 \pm 2}{1,5}; R_1 = 0,33 \text{ Ом}; R_2 = 3,0 \text{ Ом}.$$

Відповідь: $R_1 = 0,33 \text{ Ом}; R_2 = 3,0 \text{ Ом}.$

Задача 3. Трамвай масою 20 т рухається зі швидкістю 36 км/год по горизонтальній ділянці шляху. Коефіцієнт опору 0,1; напруга в лінії 500 В, ККД двигуна 80 %. Знайдіть силу струму в електродвигуні трамвая.

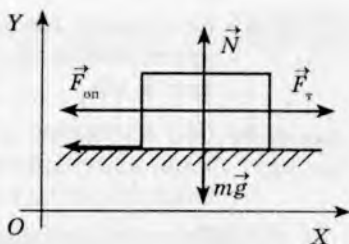
Дано:	СІ	Розв'язання
$m = 20 \text{ т}$	$m = 20 \cdot 10^3 \text{ кг}$	Коефіцієнт корисної дії двигуна визначається за формулою
$v = 36 \text{ км/год}$	$v = 10 \text{ м/с}$	$\eta = \frac{A_{\text{кор}}}{A_{\text{вик}}} \cdot 100 \%,$
$\mu = 0,1$		де $A_{\text{кор}} = F_{\text{т}} \cdot S$ ($F_{\text{т}}$ — сила тяги двигуна трамвая, S — відстань, пройде на трамваем), $A_{\text{вик}} = IUt$ (I — сила струму в електродвигуні трамвая, U — напруга в лінії; t — час, за який була пройдена відстань S).
$U = 500 \text{ В}$		
$\eta = 80 \%$		
$I = ?$		

Врахуємо, що рух трамвая був рівномірним і прямолінійним, тому $S = v \cdot t$, де v — швидкість руху трамвая.

Одержимо для ККД:

$$\eta = \frac{F_{\tau} \cdot vt}{IUt} \cdot 100 \% = \frac{F_{\tau} \cdot v}{IU} \cdot 100 \%$$

Для знаходження сили тяги трамвая розглянемо сили, що діють на трамвай (див. рисунок): $m\vec{g}$ — сила тяжіння; $\vec{N}$ — сила нормальної реакції опори; $\vec{F}_{\tau}$ — сила тяги; $\vec{F}_{\text{оп}}$ — сила опору руху трамвая.



Оскільки трамвай рухається рівномірно й прямолінійно, то сили, що діють на нього, скомпенсовані: $m\vec{g} + \vec{N} + \vec{F}_{\tau} + \vec{F}_{\text{оп}} = 0$.

У проекціях на осі OX і OY маємо:
$$\begin{cases} F_{\tau} - F_{\text{оп}} = 0; \\ N - mg = 0. \end{cases}$$

Зважаючи на те, що $F_{\text{оп}} = \mu N$, знайдемо силу тяги

$$F_{\tau} = F_{\text{оп}} = \mu N = \mu mg.$$

Підставимо отриманий вираз у формулу для ККД і одержимо формулу для розрахунку сили струму: $I = \frac{\mu mgv}{\eta U} \cdot 100 \%$.

Визначимо значення шуканої величини:

$$[I] = \frac{\frac{\text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \%}{\% \cdot \text{В}}} = \frac{\text{Н} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}}{\text{В}} = \frac{\frac{\text{Дж}}{\text{с}}}{\text{В}} = \frac{\text{Вт}}{\text{В}} = \frac{\text{В} \cdot \text{А}}{\text{В}} = \text{А};$$

$$\{I\} = \frac{0,1 \cdot 20 \cdot 10^3 \cdot 10 \cdot 10 \cdot 100}{80 \cdot 500} = 500; I = 500 \text{ А}.$$

Відповідь: $I = 500 \text{ А}$.

1-й рівень складності

8.1. Яку роботу виконало електричне поле, якщо через поперечний переріз провідника пройшов заряд 3 Кл, а напруга на провіднику склала 2 В?

8.2. Знайдіть напругу на кінцях провідника, якщо при проходженні через його поперечний переріз заряду в 5 Кл електричне поле виконало роботу 12,5 Дж.

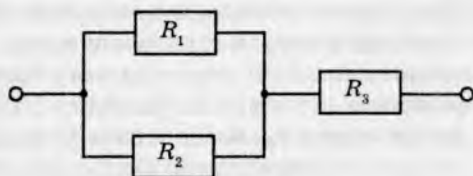
8.3. Який заряд пройшов через поперечний переріз провідника, якщо за напруги на кінцях провідника 20 В електричне поле виконало роботу 6 кДж?

- 8.4. Яку роботу виконує електродвигун, який працює за напруги 220 В, за 5 хв, якщо сила струму в ньому дорівнює 3 А?
- 8.5. Під напругою 24 В електродвигун насоса працював 10 хв, електричний струм виконав роботу 115,2 кДж. Знайдіть силу струму в обмотці електродвигуна.
- 8.6. Електричний струм у лампі, що горіла протягом 5 год, виконав роботу 1,8 МДж. Лампа працювала під напругою 220 В. Знайдіть її опір.
- 8.7. Електродвигун, опір обмотки якого 0,5 Ом, працює при силі струму 50 А. Визначте енергію, марно витрачену за 3 год його роботи.
- 8.8. За 10 с через поперечний переріз провідника пройшов заряд 20 Кл. Знайдіть потужність струму, якщо напруга на кінцях провідника становила 12 В.
- 8.9. Знайдіть опір електрочайника потужністю 600 Вт, увімкненого в мережу з напругою 220 В.
- 8.10. Знайдіть потужність електродвигуна верстата, якщо за напруги 220 В у ньому тече струм силою 5 А.

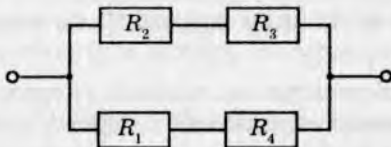
2-й рівень складності

- 8.11. В електричне коло увімкнули послідовно три провідники однакової довжини й однакового перерізу: мідний, алюмінієвий і нікеліновий. У якому провіднику електричне поле виконає більшу роботу? Чи зміниться відповідь і як, якщо провідники ввімкнути паралельно?
- 8.12. В електричне коло увімкнули три провідники, виготовлені з однієї речовини й із однаковими перерізами. Довжини провідників відносяться як 1 : 2 : 3. У якому провіднику електричне поле виконає більшу роботу, якщо їх з'єднати: а) послідовно; б) паралельно?
- 8.13. В електричне коло увімкнули послідовно три провідники, виготовлені з однієї речовини й із однаковими довжинами. Площі поперечного перерізу провідників відносяться як 1 : 2 : 3. У якому провіднику електричне поле виконає більшу роботу? Чи зміниться відповідь і як, якщо провідники ввімкнути паралельно?

- 8.14.** Спираль електричної плитки вкоротили в два рази. Як змінилася потужність плитки?
- 8.15.** Спираль електричної праски потужністю 300 Вт укоротили на одну чверть. Якою стала потужність праски?
- 8.16.** Дві електричні лампи з опорами 160 Ом і 240 Ом увімкнені паралельно в мережу з напругою 120 В. Визначте потужність кожної лампи.
- 8.17.** Дві електричні лампи з опорами 120 Ом і 180 Ом увімкнені в мережу паралельно. Яка з ламп споживає більшу потужність і в скільки разів?
- 8.18.** Дві електричні лампи з опорами 160 Ом і 240 Ом ввімкнені послідовно в мережу напругою 120 В. Яка потужність кожної лампи?
- 8.19.** Дві електричні лампи з опорами 120 Ом і 180 Ом ввімкнені в мережу послідовно. Яка з ламп споживає більшу потужність і в скільки разів?
- 8.20.** На лампі зазначено «220 В, 60 Вт». Якою буде потужність лампи, якщо її ввімкнути в мережу з напругою 127 В?
- 8.21.** На лампі зазначено «120 В, 30 Вт». Який опір і як слід підключити до лампи, щоб за напруги в мережі 160 В вона працювала в номінальному режимі?
- 8.22.** У якому з резисторів (див. рисунок) виділяється найбільша кількість теплоти внаслідок проходження струму? Опори резисторів: $R_1=10$ Ом, $R_2=40$ Ом, $R_3=2$ Ом.



- 8.23. У якому з резисторів (див. рисунок) виділяється найбільша кількість теплоти внаслідок проходження струму? Опори резисторів: $R_1=1$ Ом, $R_2=2$ Ом, $R_3=3$ Ом, $R_4=4$ Ом.



- 8.24. Провідник з опором 58 Ом підключили до джерела струму з ЕРС 120 В і внутрішнім опором 2 Ом. Знайдіть повну й корисну потужності джерела струму.
- 8.25. У провіднику з опором 7 Ом, підключеному до джерела струму з ЕРС 4 В, протікає струм силою 0,5 А. Знайдіть ККД джерела струму.

3-й рівень складності

- 8.26. ЕРС джерела струму 30 В, його внутрішній опір 5 Ом. Знайдіть силу струму в колі, якщо зовнішня ділянка споживає потужність 45 Вт.
- 8.27. Знайдіть ЕРС і внутрішній опір джерела струму, якщо за сили струму 5 А зовнішнє коло споживає потужність 15 Вт, а за сили струму в 7 А — 14 Вт.
- 8.28. Знайдіть силу струму короткого замикання, якщо за сили струму 2 А зовнішня ділянка кола споживає потужність 24 Вт, а за сили струму в 5 А — 30 Вт.
- 8.29. Якщо до джерела струму підключити резистор з опором 1 Ом, то він споживатиме деяку потужність. Якщо замінити резистор на інший, з опором 9 Ом, то потужність стане в чотири рази меншою, ніж у першому випадку. Знайдіть внутрішній опір джерела струму.
- 8.30. Два однакові резистори з опором по 50 Ом кожен підключають до джерела струму спочатку послідовно, а потім паралельно. При паралельному вмиканні струм у колі виявився рівним 1 А. Знайдіть ЕРС і внутрішній опір джерела струму, якщо в обох випадках потужність, яку споживала зовнішня ділянка кола, була однаковою.

8.31. Внаслідок зміни зовнішнього опору з 6 Ом до 84 Ом ККД джерела струму збільшився вдвічі. Знайдіть його внутрішній опір.

8.32. Два резистори підключають до джерела струму спочатку послідовно, а потім паралельно. У якому випадку ККД джерела буде більше?

8.33. Електродвигун піднімального крана працює під напругою 380 В і споживає струм силою 20 А. На яку висоту кран підніме вантаж масою 2 т за 1 хв, якщо ККД двигуна крана становить 80 %?

8.34. Знайдіть силу струму, що проходить через обмотку двигуна електровоза масою 20 т, який рухається униз схилом зі швидкістю 36 км/год, якщо коефіцієнт опору 0,3. Напруга в лінії 3 кВ, ККД двигуна електровоза 75 %, схил утворює з горизонтом кут 10° .

8.35. Знайдіть силу струму, що проходить через нагрівач, якщо за напруги в мережі 220 В за його допомогою можна закип'ятити 2 л води за 3 хв. Початкова температура води 20°C , ККД нагрівача 75 %.

8.36. Через який час закипить 1 л води, якщо через кип'ятильник протікає струм силою 1 А, а напруга в мережі становить 220 В? Початкова температура води становить 10°C .

8.37. До кінців свинцевого дроту довжиною 50 см приклали напругу 2 В. Скільки часу буде потрібно для того, щоб дріт розплавився? Початкова температура дроту 27°C .

8.38. Визначте довжину ніхромового дроту, з якого виготовили кип'ятильник, якщо з його допомогою за 5 хв нагріли 2 л води до температури кипіння. Початкова температура води 10°C , напруга в мережі 220 В, діаметр дроту 0,5 мм.

8.39. Електроплита має два нагрівальні елементи. Коли вмикають у мережу один з них, вода закипає за 20 хв. Коли ж вмикають інший — за 30 хв. Скільки знадобиться часу, щоб довести до кипіння ту саму кількість води, якщо обидва елементи ввімкнути в мережу, з'єднавши їх: а) послідовно; б) паралельно?

9. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ У РІЗНИХ СЕРЕДОВИЩАХ

Приклади розв'язування задач

Задача 1. Опір вольфрамової нитки електричної лампи при кімнатній температурі дорівнює 50 Ом. За умови повного розжарення опір нитки становить 600 Ом. Знайдіть температуру розжарення нитки, якщо кімнатна температура становить 20 °C.

Дано:

$$t_1 = 20^\circ\text{C}$$

$$R_1 = 50 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 600 \text{ Ом}$$

$$\alpha = 0,0048 \text{ К}^{-1}$$

$$t_2 = ?$$

Розв'язання

Залежність опору провідника від температури $R = R_0(1 + \alpha t)$, де R_0 — опір провідника при 0 °C, R — опір провідника при температурі t , α — температурний коефіцієнт опору. Запишемо цю залежність для температур t_1 і t_2 :

$$\begin{cases} R_1 = R_0(1 + \alpha t_1); \\ R_2 = R_0(1 + \alpha t_2). \end{cases}$$

Розділивши перше рівняння на друге, одержимо: $\frac{R_1}{R_2} = \frac{1 + \alpha t_1}{1 + \alpha t_2}$.

Виразимо звідси t_2 :

$$t_2 = \frac{R_2(1 + \alpha t_1) - R_1}{\alpha R_1}.$$

Визначимо значення шуканої величини:

$$[t_2] = \frac{\text{Ом} \left(1 + \frac{^\circ\text{C}}{\text{К}}\right) - \text{Ом}}{\text{К}^{-1} \cdot \text{Ом}} = \frac{\text{Ом} \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Ом}} = ^\circ\text{C} \quad (\text{враховуючи, що у формулі}$$

$R = R_0(1 + \alpha t)$, $t = t - t_0$, де $t_0 = 0^\circ\text{C}$, а $\Delta t^\circ\text{C} = \Delta T$, К).

$$t_2 = \frac{600(1 + 0,0048 \cdot 20) - 50}{0,0048 \cdot 50} \approx 2530; \quad t_2 \approx 2530^\circ\text{C}.$$

Відповідь: $t_2 \approx 2530^\circ\text{C}$.

Задача 2. Дві електролітичні ванни з розчинами FeCl_2 і FeCl_3 з'єднані послідовно. Визначте маси заліза й хлору, які виділилися в кожній ванні за 10 год, якщо сила струму становила 24,4 А.

Дано:

$$t = 3,6 \cdot 10^4 \text{ с}$$

$$I = 24,4 \text{ А}$$

$$n_1 = 2$$

$$n_2 = 3$$

$$n_3 = 1$$

$$M_1 = M_2 = 56 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

$$M_3 = 35,5 \cdot 10^{-3} \text{ кг/моль}$$

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$$

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

$$m_1 - ? \quad m_2 - ? \quad m_3 - ?$$

Розв'язання

За першим законом електролізу маса речовини, що виділилася на електродах: $m = kIt$, де k — електрохімічний еквівалент даної речовини, I — сила струму, що проходить через електроліт, t — час проходження струму.

Електрохімічний еквівалент даної речовини залежить від її молярної маси M і валентності n та виражається формулою $k = \frac{M}{|e| \cdot N_A \cdot n}$, де $|e|$ — заряд електрона, N_A — число Авогадро.

Оскільки ванни з'єднані послідовно, сила струму в них однакова. З урахуванням розходження молярних мас і валентностей одержимо:

$$m_1 = k_1 I t = \frac{M_1 \cdot I \cdot t}{|e| \cdot N_A \cdot n_1}; \quad m_2 = k_2 I t = \frac{M_2 \cdot I \cdot t}{|e| \cdot N_A \cdot n_2};$$

$$m_3 = k_3 I t = \frac{M_3 \cdot I \cdot t}{|e| \cdot N_A \cdot n_3}.$$

Визначимо значення шуканих величин:

$$[m] = \frac{\frac{\text{кг}}{\text{моль}} \cdot \text{А} \cdot \text{с}}{\text{Кл} \cdot \text{моль}^{-1}} = \frac{\text{кг} \cdot \text{А} \cdot \text{с}}{\text{А} \cdot \text{с}} = \text{кг};$$

$$m_1 = \frac{56 \cdot 10^{-3} \cdot 24,4 \cdot 36 \cdot 10^4}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 2} = 0,255; \quad m_1 = 0,225 \text{ кг};$$

$$m_2 = \frac{56 \cdot 10^{-3} \cdot 24,4 \cdot 36 \cdot 10^4}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 3} = 0,17; \quad m_2 = 0,17 \text{ кг};$$

$$m_3 = \frac{35,5 \cdot 10^{-3} \cdot 24,4 \cdot 36 \cdot 10^4}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 1} = 0,32; \quad m_3 = 0,32 \text{ кг}.$$

Відповідь: заліза 0,255 кг у першій ванні, 0,17 кг у другій, хлору 0,32 кг у кожній ванні.

Задача 3. Електрон влітає в плоский горизонтальний конденсатор паралельно його пластинам зі швидкістю 10^7 м/с. Напруга між обкладками конденсатора 100 В, відстань між ними 10 мм, довжина конденсатора 5,0 см. Знайдіть числове значення й напрямок швидкості електрона в момент виходу з конденсатора.

Дано:

$$v_0 = 10^7 \text{ м/с}$$

$$U = 100 \text{ В}$$

$$d = 10 \text{ мм}$$

$$l = 5,0 \text{ см}$$

$$m = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

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

$$v - ?$$

$$\alpha - ?$$

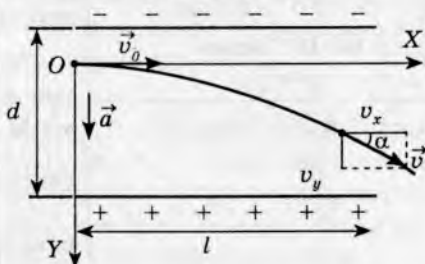
СІ

$$d = 1 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$l = 5 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

Розв'язання

Виконаємо рисунок.



Розглянемо рух електрона всередині конденсатора як суму рухів уздовж осей OX і OY . На електрон усередині конденсатора діють дві сили: сила тяжіння mg і сила з боку електричного поля конденсатора $F_{\text{ел}}$.

Оскільки маса електрона дуже мала, силою тяжіння можна знехтувати ($mg \ll F_{\text{ел}}$). Електричне поле конденсатора спрямоване вертикально, а тому вздовж осі OX рух електрона рівномірний, а вздовж осі OY — рівноприскорений. Таким чином, рух електрона всередині конденсатора подібний до руху тіла, кинутого горизон-

тально, під дією сили тяжіння:
$$\begin{cases} x = v_0 t, \\ y = \frac{at^2}{2}, \end{cases} \text{ де } a \text{ — прискорення, що}$$

надає електрону електричне поле.

За другим законом Ньютона: $a = \frac{F}{m}$ і з урахуванням того, що електричне поле всередині конденсатора однорідне $\left(F = |e|E = |e|\frac{U}{d} \right)$,

одержимо:
$$\begin{cases} x = v_0 t, \\ y = \frac{|e|Ut^2}{md}, \end{cases} \text{ і для проєкцій швидкості тіла в будь-який}$$

момент часу:
$$\begin{cases} v_x = v_0, \\ v_y = at = \frac{|e|U}{md} \cdot t. \end{cases}$$

Повна швидкість у будь-який момент часу визначається формулою $v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2} = \sqrt{v_0^2 + \frac{|e|^2 U^2}{m^2 d^2} t^2}$, а кут між напрямком швидкості електрона й віссю OX : $\operatorname{tg} \alpha = \frac{v_y}{v_x} = \frac{|e| U t}{m d v_0}$.

У момент виходу електрона з конденсатора $x = l$, отже, $t = \frac{l}{v_0}$. Звідси одержимо: $v = \sqrt{v_0^2 + \frac{|e|^2 U^2 l^2}{m^2 d^2 v_0^2}}$; $\operatorname{tg} \alpha = \frac{|e| U l}{m d v_0^2}$.

Визначимо значення величин:

$$\begin{aligned} [v] &= \sqrt{\frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} + \frac{\text{Кл}^2 \cdot \text{В}^2 \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^2}{\text{кг}^2 \cdot \text{м}^2 \cdot \text{м}^2}} = \sqrt{\frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} + \frac{\text{Дж}^2 \cdot \text{с}^2}{\text{кг}^2 \cdot \text{м}^2}} = \sqrt{\frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} + \frac{\text{Н}^2 \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^2}{\text{кг}^2 \cdot \text{м}^2}} = \\ &= \sqrt{\frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} + \frac{\text{кг}^2 \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}^2}{\text{с}^4 \cdot \text{кг}^2}} = \sqrt{\frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} + \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}} = \frac{\text{м}}{\text{с}}; \\ [\operatorname{tg} \alpha] &= \frac{\text{Кл} \cdot \text{В} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2}{\text{кг} \cdot \text{м} \cdot \text{м}^2} = \frac{\text{Дж} \cdot \text{с}}{\text{кг} \cdot \text{м}^2} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2}{\text{кг} \cdot \text{м}^2} = \frac{\text{Н}}{\text{Н}} = 1; \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \{v\} &= \sqrt{10^{14} + \frac{1,6^2 \cdot 10^{-38} \cdot 10^4 \cdot 25 \cdot 10^{-4}}{9,1^2 \cdot 10^{-62} \cdot 10^{-4} \cdot 10^{14}}} \approx 1,3 \cdot 10^7; v \approx 1,3 \cdot 10^7 \text{ м/с}; \\ \operatorname{tg} \alpha &= \frac{1,6 \cdot 10^{19} \cdot 100 \cdot 5 \cdot 10^{-2}}{9,1 \cdot 10^{31} \cdot 10^{-2} \cdot 10^{14}} \approx 0,88; \alpha \approx 41^\circ. \end{aligned}$$

Відповідь: $v \approx 1,3 \cdot 10^7 \text{ м/с}$; $\alpha \approx 41^\circ$.

1-й рівень складності

- ? 9.1. Як змінюється з підвищенням температури опір металів, електролітів, напівпровідників?
- ? 9.2. У кристал Германію як домішку додали: а) Фосфор, б) Індій, в) Арсеній. Яку провідність матиме Германій у кожному випадку?
- ? 9.3. У кристал Германію в якості домішки додали: а) Бор, б) Стибій, в) Галій. Яку провідність матиме Германій у кожному випадку?

- 9.4.** Укажіть вид електричного розряду, що відбувається:
а) між двома хмарами; б) в електронній трубці при зниженому тиску; в) при проходженні електричного струму високої напруги по тонкому провіднику?
- 9.5.** Скільки двовалентної міді виділиться під час електролізу протягом 3 год, якщо сила струму становить 10 А?
- 9.6.** Скільки часу має тривати електроліз, щоб з розчину електроліту виділилось 180 г нікелю? Сила струму становить 40 А.
- 9.7.** Визначте силу струму під час електролізу, якщо за 10 хв на катоді відклалося 0,316 г міді.
- 9.8.** Визначте електрохімічний еквівалент речовини, якщо при проходженні через розчин електроліту струму силою 1 А протягом 2 год на катоді виділилося 8,05 г речовини.
- 9.9.** Визначте витрати електроенергії на рафінування 200 кг міді, якщо напруга на електродах електролітичної ванни становить 0,4 В. (Електролітичне рафінування — електроліз водних розчинів або сольових розплавів, що дозволяє одержувати метали високої чистоти.)
- 9.10.** Яку роботу виконає електричний струм під час електролізу нікелю масою 1 кг? Напруга між електродами 0,6 В.
- 9.11.** Алюмінієвий провідник при 0°C має опір 20 Ом. Знайдіть опір цього провідника при температурі 300°C .
- 9.12.** Визначте температуру, при якій мідний провідник має опір 70 Ом, якщо при 0°C його опір становив 30 Ом.
- 9.13.** Знайдіть опір вольфрамового провідника при температурі 300°C , якщо при 0°C його опір 50 Ом.

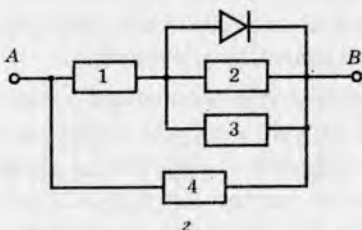
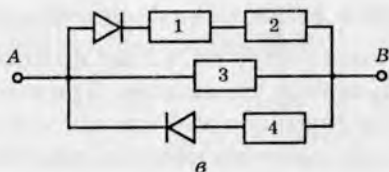
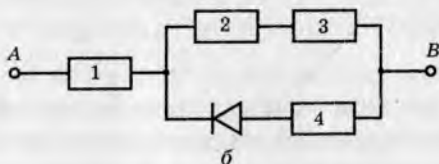
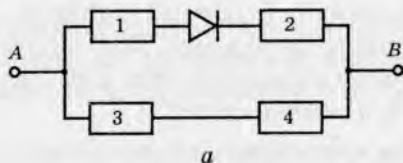
2-й рівень складності

- 9.14.** Опір платиного провідника при температурі 20°C становить 20 Ом, а при температурі 500°C — 59 Ом. Визначте температурний коефіцієнт опору платини.

- 9.15.** При температурі 10°C опір залізного дроту дорівнює $13,7\ \Omega$. Визначте, при якій температурі опір дроту становитиме $18,2\ \Omega$.
- 9.16.** На скільки градусів потрібно нагріти мідний провідник, узятий при 0°C , щоб його опір збільшився в три рази?
- 9.17.** При проходженні електричного струму по провіднику його опір збільшився в два рази внаслідок нагрівання від 0°C до 250°C . Визначте температурний коефіцієнт опору речовини, з якої виготовили провідник.
- ? 9.18.** Як зміниться кількість речовини, що виділилася на електродах у процесі електролізу, якщо: а) збільшити напругу на електродах; б) зблизити електроди; в) нагріти розчин?
- 9.19.** Дві електролітичні ванни з'єднані послідовно. Визначити, яка кількість тривалентного заліза виділиться в другій ванні за той самий час, за який у першій ванні виділилося $19,5\ \text{г}$ двовалентного цинку.
- 9.20.** Дві електролітичні ванни з'єднані паралельно. Яка кількість двовалентної міді виділиться в другій ванні за той самий час, за який у першій ванні виділилося $10\ \text{г}$ двовалентного цинку? Опір електроліту в першій ванні в три рази більший за опір другої ванни.
- 9.21.** За $10\ \text{хв}$ в електролітичній ванні виділилося $508\ \text{мг}$ двовалентного металу. Визначте, який це метал, якщо сила струму під час електролізу становила $2,5\ \text{А}$.
- 9.22.** За $10\ \text{хв}$ в електролітичній ванні виділилося $3,36\ \text{г}$ одновалентного металу. Визначте, який це метал, якщо сила струму під час електролізу становила $5\ \text{А}$.
- 9.23.** Електроди, занурені в розчин мідного купоросу, з'єднані із джерелом струму, ЕРС якого $12\ \text{В}$, а внутрішній опір $0,2\ \Omega$. Опір розчину між електродами $0,4\ \Omega$. Скільки міді виділиться внаслідок електролізу за $5\ \text{хв}$?

- 9.24.** Скільки одновалентного срібла виділиться на катоді за 5 год, якщо опір розчину між електродами становить 5,5 Ом, ЕРС джерела струму 6 В, а його внутрішній опір 0,5 Ом?
- 9.25.** В електролітичній ванні за 30 хв виділилося 3 г міді. Опір розчину між електродами 0,8 Ом. Визначте потужність електролітичної установки.
- 9.26.** Під час електролізу мідного купоросу виконана робота склала 55,6 Дж. Визначте масу отриманої міді, якщо напруга на затискачах ванни становила 6 В.
- 9.27.** Скільки часу потрібно для покриття електролітичним способом виробу шаром срібла товщиною 20 мкм, якщо площа поверхні виробу 200 см², а сила струму під час електролізу дорівнює 0,5 А?
- 9.28.** У процесі сріблення 10 ложок протягом 5 год через розчин солі срібла пропускали струм силою 2 А. Площа поверхні кожної ложки 50 см². Визначте товщину шару срібла.
- 9.29.** Яку мінімальну швидкість повинен мати електрон, щоб іонізувати молекулу кисню, робота іонізації якої становить 13,5 еВ? (1 еВ — це енергія, якої набуває електрон, пройшовши прискорюючу різницю потенціалів 1 В; $1 \text{ В} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.}$)
- 9.30.** З якою швидкістю вдаряється електрон об анод електронної трубки, якщо між її електродами підтримується напруга 220 В?
- 9.31.** Яку прискорюючу різницю потенціалів пройшов електрон у вакуумі, якщо він розігнався до швидкості $3 \cdot 10^6 \text{ м/с}$ зі стану спокою?
- 9.32.** У вакуумному діоді електрон підлітає до анода зі швидкістю 8000 км/с. Знайдіть напругу між електродами.
- 9.33.** Відстань між анодом і катодом вакуумного діода становить 1 см. Протягом якого часу рухається електрон від катода до анода, якщо між електродами підтримується напруга 440 В?

- 9.34.** Знайдіть загальну силу струму в ділянці кола (див. рисунок) під час протікання струму: 1) від А до В; 2) від В до А. Діод є ідеальним, всі резистори мають однаковий опір 2 Ом, напруга, підведена до ділянки кола, 36 В.



3-й рівень складності

- 9.35.** З мідного дроту довжиною 120 м і діаметром 3 мм виготовили котушку. Знайдіть, на скільки зміниться її опір внаслідок нагрівання від 20 °С до 70 °С. (Зміною геометричних розмірів у процесі нагрівання знехтувати.)

- 9.36.** Константановий дріт має масу 89 г і площу поперечного перерізу 0,1 мм². На скільки змінився опір дроту внаслідок його нагрівання від 0 °С до 100 °С. (Зміною геометричних розмірів при нагріванні знехтувати.)

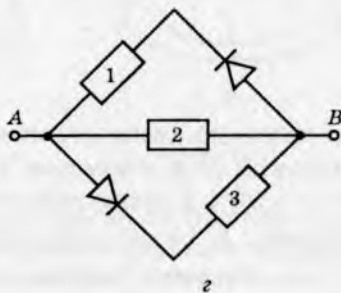
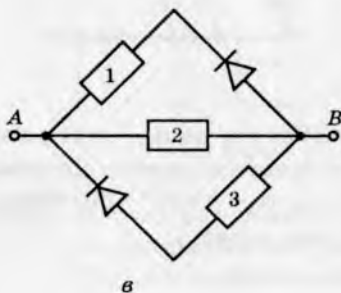
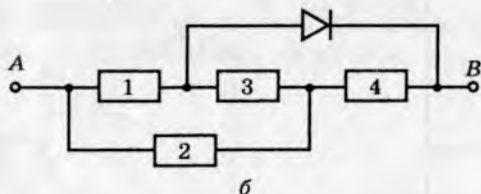
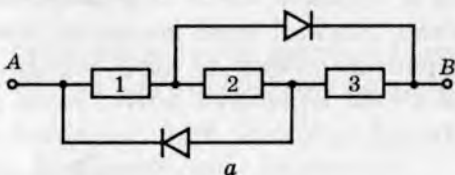
- 9.37.** Вугільний і мідний стрижні однакової довжини з'єднані послідовно. При якому відношенні їх поперечних перерізів загальний опір цих стрижнів не буде залежати від температури?
- 9.38.** Вугільний і мідний стрижні однакового перерізу з'єднані послідовно. При якому співвідношенні їхніх довжин загальний опір цих стрижнів не буде залежати від температури?
- 9.39.** Визначити температурний коефіцієнт опору провідника, складеного з послідовно з'єднаних алюмінієвого провідника з опором 3 Ом і залізного — з опором 2 Ом.
- 9.40.** Електрон влітає зі швидкістю 50 000 км/с у плоский конденсатор паралельно його пластинам. Відстань між пластинами 1 см, довжина пластин 5 см, напруга між ними 500 В. На який кут відхилиться електрон від початкового напрямку при виході з конденсатора?
- 9.41.** Пучок електронів влітає в плоский конденсатор паралельно його обкладкам. При виході з конденсатора пучок відхилився на 2 мм від початкового напрямку. Довжина обкладок конденсатора 5 см, відстань між ними 1 см, напруга 225 В. Знайдіть швидкість руху електронів у той момент, коли вони потрапляють у простір між обкладками конденсатора.
- 9.42.** Протон влітає в плоский конденсатор з довжиною пластин 10 см і напруженістю електричного поля всередині конденсатора 40 кВ/м. Знайдіть початкову енергію протона, якщо він влітає під кутом 60° , а вилітає під кутом 30° до пластин конденсатора.
- 9.43.** Електрони в осцилографі, пройшовши прискорюючу різницю потенціалів 500 В, розганяються і влітають у плоский горизонтальний конденсатор паралельно його пластинам. Напруга на обкладках конденсатора 50 В, відстань між пластинами 1 см, довжина конденсатора 5 см. Визначте відхилення плями на екрані осцилографа, якщо відстань між конденсатором і екраном осцилографа становить 10 см.
- 9.44.** За який час розкладеться 1 г води, якщо сила струму становить 1 А?

9.45. У процесі електролізу води сила струму дорівнює 59 А. Знайдіть об'єм гримучого газу (суміш водню й кисню у відношенні 2:1 за об'ємом), який виділився за нормальних умов протягом 1 хв.

9.46. Який заряд необхідно пропустити через електролітичну ванну, наповнену підкисленою водою, щоб заповнити воднем кулю-зонд діаметром 5 м за нормальних умов?

9.47. При якій силі струму протягом 1 год під час електролізу води виділиться 5 л Кисню при температурі 27°C й нормальному атмосферному тиску?

? **9.48.** Знайдіть загальну силу струму в ділянці кола (див. рисунок) під час протікання струму: 1) від A до B ; 2) від B до A . Діод є ідеальним; опори резисторів: $R_1=10\text{ Ом}$, $R_2=20\text{ Ом}$, $R_3=R_4=40\text{ Ом}$; напруга, підведена до ділянки кола, становить 36 В.



10. МАГНІТНЕ ПОЛЕ СТРУМУ. ІНДУКЦІЯ МАГНІТНОГО ПОЛЯ. ПОТІК МАГНІТНОЇ ІНДУКЦІЇ

Приклад розв'язування задач

Задача. Індукція магнітного поля усередині квадратної дрю-
тяної рамки зі стороною $a = 5$ см дорівнює $B = 0,5$ Тл. Визначте
потік магнітної індукції через поверхню, обмежену рамкою, роз-
міщеною перпендикулярно до ліній магнітної індукції поля. На
скільки зміниться магнітний потік, якщо рамку повернути на
кут $\varphi = 30^\circ$?

Дано:

$a = 5$ см

$N = 50$

$B = 0,5$ Тл

$\alpha_1 = 90^\circ$

$\varphi = 30^\circ$

$\Phi_1 = ?$

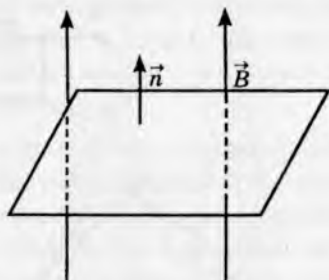
$\Delta\Phi = ?$

СІ

$a = 5 \cdot 10^{-2}$ м

Розв'язання

Виконаємо пояснювальний ри-
сунок.



Відповідно до визначення: $\Phi = BS \cos \alpha$, де α — кут між век-
тором індукції $\vec{B}$ й нормаллю $\vec{n}$ до поверхні рамки. До повороту
рамки $\alpha_1 = 90^\circ$, а після повороту $\alpha_2 = \alpha_1 - \varphi = 90^\circ - 30^\circ = 60^\circ$, тоді
 $\Phi_2 = BS \cos \alpha_2$, а $\Delta\Phi = \Phi_2 - \Phi_1 = BS(\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1)$.

Площа, обмежена рамкою, дорівнює: $S_1 = a^2$.

Після підстановки одержимо:

$$\Phi_1 = Ba^2 \cos \alpha_1;$$

$$\Delta \Phi = Ba^2 (\cos \alpha_2 - \cos \alpha_1).$$

Визначимо значення шуканих величин:

$$[\Phi_1] = T_{\text{л}} \cdot \text{м}^2 = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{А} \cdot \text{м}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{А}} = \text{Вб}; \quad [\Delta \Phi] = T_{\text{л}} \cdot \text{м}^2 = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{А} \cdot \text{м}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{А}} = \text{Вб};$$

$$\{\Phi_1\} = 0,5 \cdot 5^2 \cdot 10^{-4} \cdot 1 \approx 12,5 \cdot 10^{-4}; \quad \Phi_1 = 12,5 \cdot 10^{-4} \text{ Вб} = 1,25 \text{ мВб};$$

$$\{\Delta \Phi\} = 0,5 \cdot 5^2 \cdot 10^{-4} (0,5 - 1) \approx 6,25 \cdot 10^{-4}; \quad \Delta \Phi = 6,25 \cdot 10^{-4} \text{ Вб} = 625 \text{ мкВб}.$$

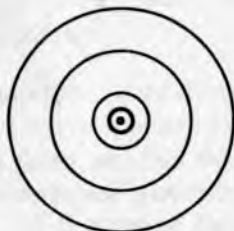
Відповідь: Потік магнітної індукції $\Phi_1 = 1,25 \text{ мВб}$; магнітний потік зміниться на $\Delta \Phi = 625 \text{ мкВб}$.

1-й рівень складності

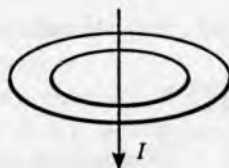
? 10.1. Чи можливо провести дослід Ерстеда під дзвоном повітряного насоса при сильно розрідженому повітрі?

? 10.2. Визначте напрямок ліній магнітної індукції прямого провідника зі струмом (див. рисунок).

? 10.3. Визначте напрямок ліній магнітної індукції прямого провідника зі струмом (див. рисунок).



До задачі 10.2



До задачі 10.3

? 10.4. На рисунку показані лінії магнітної індукції магнітного поля прямого провідника зі струмом. Визначте напрямок струму в провіднику.

10.5. На рисунку показані лінії магнітної індукції магнітного поля прямого провідника зі струмом. Визначте напрямок струму в провіднику.

10.6. На рисунку показані лінії індукції магнітного поля прямого провідника зі струмом. Чи існує магнітне поле в точці *A*?



До задачі 10.4



До задачі 10.5

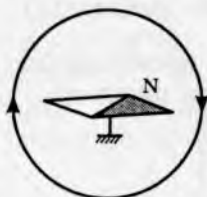


До задачі 10.6

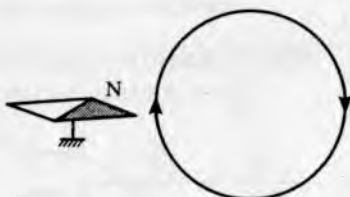
• A

10.7. У якому напрямку повернеться північний полюс магнітної стрілки, якщо вона перебуває усередині кільцевого струму (див. рисунок)?

10.8. У якому напрямку повернеться північний полюс магнітної стрілки, якщо вона перебуває збоку від кільцевого струму (див. рисунок)?



До задачі 10.7



До задачі 10.8

10.9. На рамку площею 100 см^2 , по якій проходить струм силою 10 А , в однорідному магнітному полі діє максимальний обертальний момент $2 \cdot 10^{-5} \text{ Н} \cdot \text{м}$. Визначте модуль вектора магнітної індукції.

10.10. Максимальний обертальний момент, що діє на рамку площею 1 см^2 , яка перебуває в магнітному полі, дорівнює $2 \text{ мкН} \cdot \text{м}$. Сила струму в рамці $0,5 \text{ А}$. Визначте модуль вектора магнітної індукції.

10.11. Яке значення має максимальний магнітний потік поля, створеного електромагнітом, якщо його індукція $0,5 \text{ Тл}$, а площа поперечного перерізу електромагніту 100 см^2 ?

10.12. Визначте магнітний потік однорідного магнітного поля з індукцією 50 Тл , що пронизує поверхню площею 800 см^2 , якщо кут між вектором магнітної індукції й нормаллю до поверхні становить 45° .

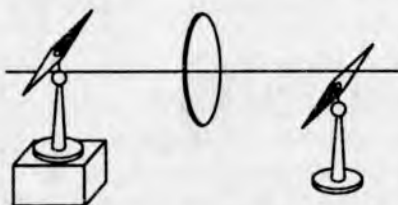
10.13. Який магнітний потік пронизує замкнений контур площею $2,5 \text{ м}^2$ в однорідному магнітному полі з індукцією 80 мТл ? Контур розміщений під кутом 30° до ліній індукції.

2-й рівень складності

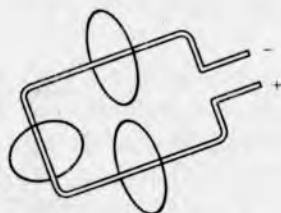
? 10.14. Досліди показують, що за межами кільцевого струму магнітна індукція менша, ніж усередині області, яку обтікає струм. Чим це пояснити? Виконайте пояснювальний рисунок.

? 10.15. У досліді Ерстеда магнітні стрілки розмістилися, як показано на рисунку. Чому стрілки відхилилися в протилежних напрямках? Укажіть на силові лінії напрямку індукції магнітного поля струму й напрямку струму в провіднику.

? 10.16. Укажіть напрямку ліній індукції магнітного поля струму, що існує в рамці (див. рисунок).

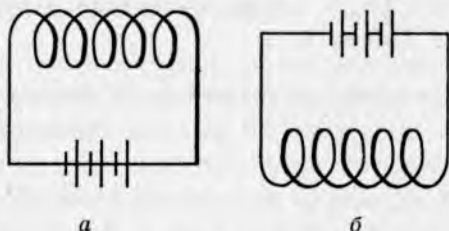


До задачі 10.15



До задачі 10.16

- ? 10.17. Визначте магнітні полюси соленоїдів, зображених на рисунку.



a

б

- ? 10.18. Визначте магнітні полюси електромагніту, зображеного на рисунку (див. рисунок).
 ? 10.19. Знаючи положення магнітних полюсів електромагніту, визначте полюси джерела струму (див. рисунок).

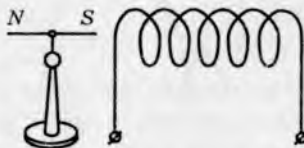


До задачі 10.18

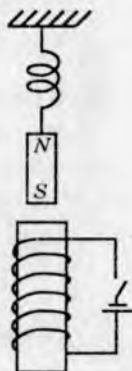


До задачі 10.19

- ? 10.20. Визначте, де мають розташовуватися полюси джерела струму, який живить соленоїд, щоб відбувалася взаємодія, зображена на рисунку (див. рисунок).
 ? 10.21. У якому напрямку буде переміщатися магніт, підвішений на пружині (див. рисунок), після замикання електричного кола?

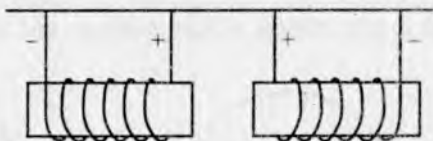


До задачі 10.20



До задачі 10.21

- ? 10.22. Як будуть взаємодіяти електромагніти, підвішені на нитках (див. рисунок)?



- 10.23. Визначте магнітний потік, що пронизує прямокутну поверхню розміром $50 \times 40 \text{ см}^2$, якщо індукція в усіх точках поверхні становить $2,5 \text{ Тл}$, а її вектор утворює з поверхнею кут: а) 0° ; б) 30° ; в) 90° .

- 10.24. Плоска прямокутна рамка зі сторонами 15 см і 5 см знаходиться в однорідному магнітному полі з індукцією 75 мТл . Визначте магнітний потік, що пронизує поверхню, обмежену рамкою, якщо вона розміщена під кутом 35° до ліній індукції.

- 10.25. Магнітний потік, що пронизує рамку, дорівнює 150 мкВб . Визначте індукцію магнітного поля, вважаючи його однорідним. Площа рамки 60 см^2 , вона розміщена під кутом 60° до ліній індукції.

- 10.26. В однорідному магнітному полі, індукція якого 60 мТл , обертається стрижень довжиною 80 см . Вісь обертання проходить через один із кінців стрижня паралельно лініям магнітної індукції. Визначте магнітний потік, що проходить через поверхню, яку утворює стрижень під час обертання.

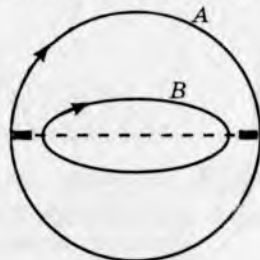
3-й рівень складності

- ? 10.27*. У двох взаємно перпендикулярних кільцевих провідниках (див. рисунок) протікає струм однакової величини. Визначте напрямок вектора індукції магнітного поля в центрі сфери, утвореної провідниками. Під яким кутом буде спрямований вектор магнітної індукції до площини кожного з кільцевих провідників?

- ? 10.28. Кільцевий провідник A закріплений, а кільцевий провідник B може обертатися навколо осі (див. рисунок). Як розміститься провідник B , якщо по провідниках пропустити струм у напрямках, які зазначені на рисунку?

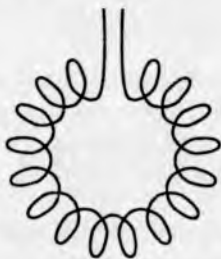


До задачі 10.27



До задачі 10.28

- ? 10.29. Який вигляд мають лінії магнітної індукції поля кільцевого соленоїда (див. рисунок)?

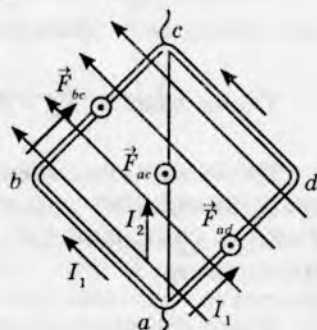


- ? 10.30*. Чому магнітна стрілка, розміщена в центрі тороїдального електромагніту, розміщується перпендикулярно до площини тора?

11. СИЛА АМПЕРА. СИЛА ЛОРЕНЦА

Приклади розв'язування задач

Задача 1. Контур у вигляді квадрата з діагоналлю, який виготовлений з мідного дроту із площею поперечного перерізу 1 мм^2 , підключили до джерела постійної напруги 110 В (див. рисунок). Площина квадрата розміщена паралельно лініям індукції магнітного поля, модуль якої $B = 170 \text{ мТл}$. Визначте модуль і напрямок сили, що діє на контур з боку магнітного поля.



Дано:

$$S = 1 \text{ мм}^2$$

$$U = 110 \text{ В}$$

$$B = 170 \text{ мТл}$$

$$\rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$F = ?$$

СІ

$$S = 10^{-6} \text{ м}^2$$

$$B = 1,7 \cdot 10^{-2} \text{ Тл}$$

Розв'язання

Щоб знайти силу, яка діє з боку магнітного поля на контур зі струмом, необхідно знайти модуль і напрямки сил, які діють на окремі елементи контуру, після чого знайти їх суму.

З огляду на розміщення елементів контуру, можна виділити п'ять прямолінійних провідників: ab , bc , cd , ad і ac . У них існують струми I_1 і I_2 , які можна визначити за законом Ома для ділянки кола. Оскільки напруга прикладена в точках a і c , то:

$$I_1 = \frac{U}{R_{abc}} = \frac{US}{2\rho l}; \quad I_2 = \frac{U}{R_{ac}} = \frac{US}{\rho l\sqrt{2}},$$

$$\text{де } l \text{ — сторона квадрата, а } R_{abc} = \frac{\rho l_{abc}}{S} = \frac{\rho \cdot 2l}{S}; \quad R_{ac} = \frac{\rho l_{ac}}{S} = \frac{\rho l\sqrt{2}}{S}.$$

На провідники зі струмом у магнітному полі діє сила Ампера, що визначається за формулою $F_A = BIl \sin \alpha$.

Провідники ab і cd розміщені паралельно лініям індукції, отже, за законом Ампера $F_{ab} = 0$ і $F_{cd} = 0$, оскільки кут між напрямком вектора магнітної індукції й напрямком струму становить 0° , синус якого дорівнює 0. Провідники bc і cd перпендикулярні до вектора $\vec{B}$, а $\sin 90^\circ = 1$, тому $F_{bc} = F_{ad} = BI_1 l$.

Ці сили прикладені до середини зазначених провідників і спрямовані за правилом лівої руки перпендикулярно до площини рисунка (до нас).

Провідник ac становить із вектором індукції $\vec{B}$ кут $\alpha = 45^\circ$, його довжина — діагональ квадрата — $l_{ac} = l\sqrt{2}$.

$$\text{Таким чином, } F_{ac} = BI_2 l\sqrt{2} \sin 45^\circ = BI_2 l\sqrt{2} \cdot \frac{\sqrt{2}}{2} = BI_2 l.$$

Ця сила напрямлена так само, як і сили $\vec{F}_{bc}$ й $\vec{F}_{ad}$. Модуль рівнодійної трьох однаково спрямованих сил дорівнює: $F = 2F_{bc} + F_{ac} = (2I_1 + I_2)Bl$, і точка її прикладання збігається із центром контуру.

Після підстановки виразів для I_1 і I_2 одержимо:

$$F = \left(\frac{2US}{2\rho l} + \frac{US}{\rho l\sqrt{2}} \right) Bl = \left(\frac{2 + \sqrt{2}}{2} \right) \frac{USBl}{\rho l}.$$

$$\text{Звідси } F = \left(\frac{2 + \sqrt{2}}{2} \right) \frac{USB}{\rho}.$$

Визначимо значення шуканої величини:

$$[F] = \frac{В \cdot м^2 \cdot Тл}{Ом \cdot м} = \frac{В \cdot м^2 \cdot Н}{Ом \cdot м \cdot А \cdot м} = \frac{В \cdot Н \cdot А}{В \cdot А} = Н;$$

$$\{F\} = \frac{(2 + \sqrt{2}) \cdot 110 \cdot 10^{-6} \cdot 1,7 \cdot 10^{-2}}{2 \cdot 1,7 \cdot 10^{-8}} \approx 190; F = 190 \text{ Н.}$$

Відповідь: на рамку діє сила $F \approx 190 \text{ Н}$.

Задача 2. Протон влітає зі швидкістю 10^3 м/с в однорідне магнітне поле під кутом 60° до вектора магнітної індукції, модуль якої 10^{-3} Тл . Визначте радіус і крок гвинтової лінії, уздовж якої буде рухатися протон.

Дано:

$$v = 10^3 \text{ м/с}$$

$$\alpha = 60^\circ$$

$$B = 10^{-3} \text{ Тл}$$

$$q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

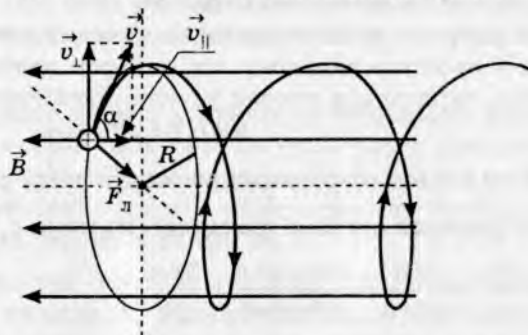
$$m = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$$

$$R = ?$$

$$h = ?$$

Розв'язання

Виконаємо пояснювальний рисунок.



Якщо протон влітає в однорідне магнітне поле так, що вектор його швидкості $\vec{v}$ спрямований під кутом α до вектора магнітної індукції $\vec{B}$, а дією всіх сил, крім сили Лоренца, можна знехтувати, то протон буде рухатися по гвинтовій лінії. У цьому можна переконатися, розклавши вектор швидкості відносно вектора індукції $\vec{B}$ на дві складові ($\vec{v}_{\parallel}$ — паралельну вектору $\vec{B}$ та $\vec{v}_{\perp}$ — перпендикулярну до вектора $\vec{B}$), модулі яких, як видно з рисунка, відповідно дорівнюють $v_{\parallel} = v \cos \alpha$ і $v_{\perp} = v \sin \alpha$.

При цьому на протон сила Лоренца $\vec{F}_L$ діє перпендикулярно до площини рисунка (напрявлена, за правилом лівої руки, до нас), безперервно змінюючи напрямок складової $\vec{v}_{\perp}$ й надаючи протону доцентрове прискорення $a_{\text{дц}}$. У результаті протон буде описувати в цій площині коло радіусом R .

Знаючи, що $F_L = qvB \sin \alpha$, а за другим законом Ньютона:

$$F_L = m a_{\text{дц}} = \frac{mv_{\perp}^2}{R} = \frac{mv^2 \sin^2 \alpha}{R}, \text{ оскільки } a_{\text{дц}} = \frac{v_{\perp}^2}{R} \text{ і } v_{\perp} = v \sin \alpha.$$

Прирівнюючи праві частини рівнянь, одержимо:

$$qvB \sin \alpha = \frac{mv^2 \sin^2 \alpha}{R}.$$

$$\text{Звідси виразимо радіус кола: } R = \frac{mv \sin \alpha}{qB}.$$

Визначимо одиниці вимірювання та значення радіуса:

$$[R] = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с} \cdot \text{Кл} \cdot \text{Тл}} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м} \cdot \text{А} \cdot \text{м}}{\text{с} \cdot \text{А} \cdot \text{с} \cdot \text{Н}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{Н}} = \text{м}.$$

$$\{R\} = \frac{1,67 \cdot 10^{-27} \cdot 10^3 \cdot \sqrt{3}}{2 \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{-3}} = 9 \cdot 10^{-3}; R = 9 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 9 \text{ мм}.$$

Оскільки у випадку руху частини вздовж лінії індукції поля сила Лоренца на частинку не діє, то складова швидкості $v_{\parallel}$ руху протона залишається незмінною.

У результаті накладення зазначених рухів протон буде описувати в просторі гвинтову лінію. Крок даної лінії — це відстань, на яку зміщується протон уздовж магнітних ліній за один оберт:

$$h = v_{\parallel} T = v T \cos \alpha,$$

де T — період обертання протона по колу радіусом R , що, як видно з формули лінійної швидкості протона $v_{\perp} = \frac{2\pi R}{T}$, дорівнюватиме

$$T = \frac{2\pi R}{v_{\perp}} = \frac{2\pi R}{v \sin \alpha} = \frac{2\pi m v \sin \alpha}{q B v \sin \alpha} = \frac{2\pi m}{q B}.$$

Після підстановки одержимо: $h = \frac{2\pi m v \cos \alpha}{q B}.$

Визначимо значення шуканої величини:

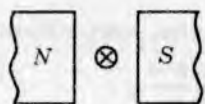
$$[h] = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с} \cdot \text{Кл} \cdot \text{Тл}} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м} \cdot \text{А} \cdot \text{м}}{\text{с} \cdot \text{А} \cdot \text{с} \cdot \text{Н}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{Н}} = \text{м};$$

$$h = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 1,67 \cdot 10^{-27} \cdot 0,5}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 10^{-3}} \approx 3,2 \cdot 10^{-2}; \quad h = 3,2 \cdot 10^{-2} \text{ м} = 3,2 \text{ см}.$$

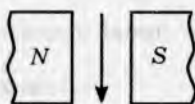
Відповідь: радіус гвинтової лінії $R = 9$ мм, а її крок $h = 3,2$ см.

1-й рівень складності

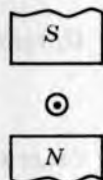
- ? 11.1. Визначте напрямок сили Ампера, що діє на провідник зі струмом, для випадків, зображених на рисунку.



a



b



v

- 11.2. Яка сила діє на провідник довжиною 0,1 м в однорідному магнітному полі з індукцією 2 Тл, якщо сила струму в провіднику становить 5 А, а кут між напрямком струму й лініями індукції 30° ?

11.3. З якою силою діє однорідне магнітне поле з індукцією 50 мТл на провідник, довжина активної частини якого 30 см, якщо сила струму в ньому 10 А? Напрямок магнітних ліній і напрямок струму взаємно перпендикулярні.

11.4. На прямий провідник зі струмом в однорідному магнітному полі, вектор магнітної індукції якого утворює із провідником кут 27° , діє сила 2 мН. Визначте модуль вектора магнітної індукції, якщо довжина провідника 50 см, а сила струму в ньому 20 А.

11.5. Визначте модуль вектора індукції магнітного поля, в якому на провідник, довжина активної частини якого 5 см, діє сила 50 мН, якщо сила струму в провіднику 25 А. Провідник розміщений перпендикулярно до ліній індукції магнітного поля.

11.6. На прямолінійний провідник зі струмом силою 14,5 А в однорідному магнітному полі з індукцією 0,34 Тл діє сила 1,65 Н. Визначте довжину активної частини провідника, якщо він розміщений під кутом 60° до силових ліній магнітного поля.

11.7. Визначте довжину активної частини прямого провідника, у якому тече струм силою 2 А. Провідник розміщений в однорідному магнітному полі, індукція якого дорівнює 400 Тл, під кутом 30° до ліній індукції. Сила, що діє на провідник, становить 100 Н.

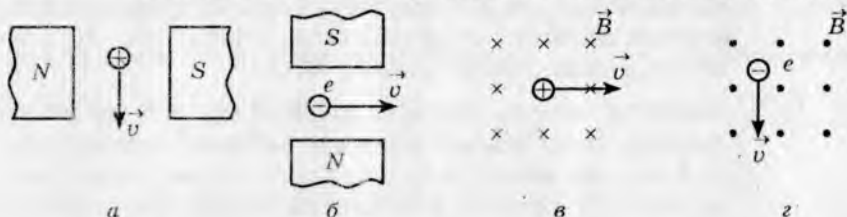
11.8. В однорідному магнітному полі з індукцією 0,8 Тл на прямий провідник зі струмом 30 А, довжина активної частини якого 10 см, діє сила 1,5 Н. Під яким кутом до вектора індукції розміщений провідник?

11.9. В однорідне магнітне поле, індукція якого 1 Тл, помістили прямий провідник довжиною 40 см, сила струму в ньому 25 А. Визначте кут між напрямком ліній магнітної індукції й напрямком струму в провіднику, якщо відомо, що на провідник діє сила Ампера 5 Н?

11.10. Визначте силу струму в прямолінійному провіднику, розміщеному перпендикулярно до ліній індукції однорідного магнітного поля з індукцією 10 Тл, якщо на активну частину провідника довжиною 40 см діє сила 20 Н.

11.11. Якої сили струм існує в провіднику, що перебуває в магнітному полі з індукцією 1 Тл, якщо довжина його активної частини 10 см, і він виштовхується полем із силою 1,5 Н? Кут між напрямком струму й напрямком вектора магнітної індукції становить 49° .

? 11.12. У якому напрямку відхилиться заряджена частинка, рухаючись у магнітному полі, як показано на рисунку?



11.13. Визначте силу Лоренца, що діє на електрон, який рухається зі швидкістю 10^6 м/с в однорідному магнітному полі з індукцією 2 Тл перпендикулярно до ліній індукції.

11.14. На заряд 2 мкКл, що рухається в однорідному магнітному полі зі швидкістю $5 \cdot 10^6$ м/с під кутом 45° до ліній індукції магнітного поля, діє сила 2,8 мН. Визначте модуль вектора магнітної індукції.

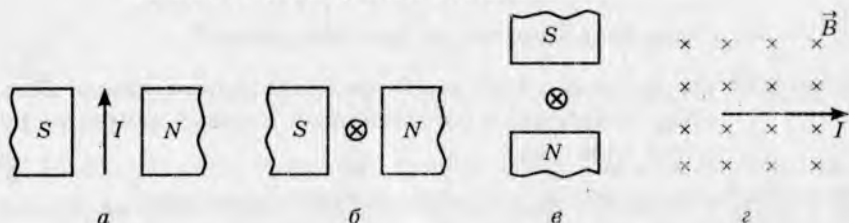
11.15. На електрон, що рухається в однорідному магнітному полі з індукцією 1,4 мТл перпендикулярно до ліній індукції, діє сила Лоренца $1,1 \cdot 10^{-16}$ Н. Визначте, з якою швидкістю рухається електрон.

11.16. Під яким кутом протон, швидкість руху якого $4 \cdot 10^5$ м/с, влітає в однорідне магнітне поле з індукцією 10 мТл, якщо з боку поля на нього діє сила Лоренца $3,2 \cdot 10^{-16}$ Н.

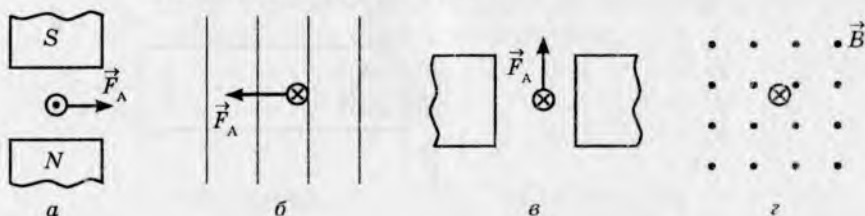
2-й рівень складності

? 11.17. Чому прямий провідник зі струмом рухається в магнітному полі поступально, а рамка, по якій проходить електричний струм, обертається?

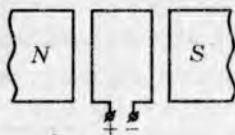
- ? 11.18. На рисунку зображені провідники зі струмом у магнітному полі. Сформулюйте задачу до кожного з наведених випадків і розв'яжіть її.



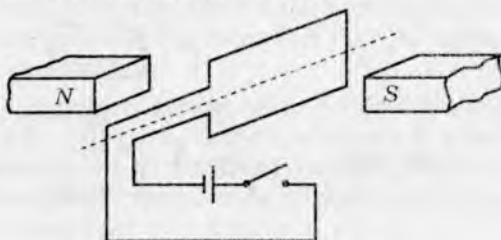
- ? 11.19. На рисунку зображені провідники зі струмом у магнітному полі. Сформулюйте задачу до кожного з наведених випадків і розв'яжіть її.



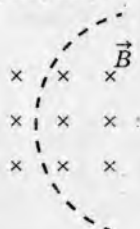
- ? 11.20. На рисунку зображена рамка зі струмом у магнітному полі. У який бік повернеться рамка? Що необхідно зробити, щоб рамка повернулася в протилежний бік?



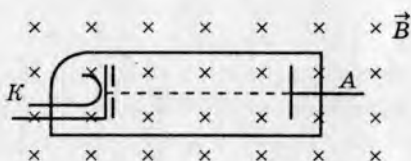
- ? 11.21. Чи буде обертатися рамка зі струмом у магнітному полі, якщо вона перебуває в положенні, зображеному на рисунку? Свою відповідь обґрунтуйте.



- ? 11.22. Які із частинок електронного пучка — швидкі чи повільні — відхиляються на більший кут в одному й тому магнітному полі?
- ? 11.23. Чому сила Лоренца не виконує роботи?
- ? 11.24. На рисунку зображений трек електрона в камері Вільсона, поміщеній в магнітне поле. У якому напрямку рухався електрон?
- ? 11.25. У який бік відхилиться під дією магнітного поля електронний промінь у вакуумній трубці, що зображена на рисунку?

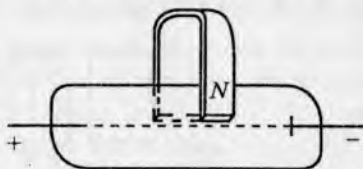


До задачі 11.24

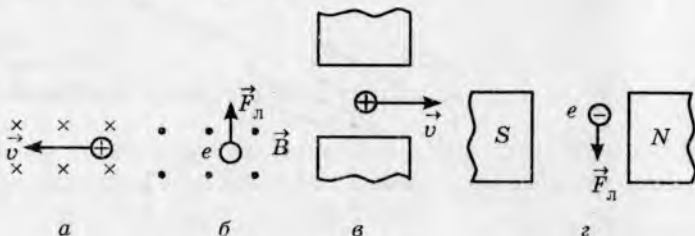


До задачі 11.25

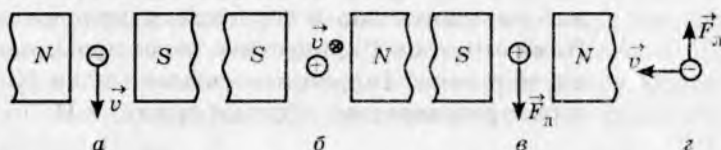
- ? 11.26. У який бік відхиляться катодні промені, якщо до трубки піднести магніт, як показано на рисунку?



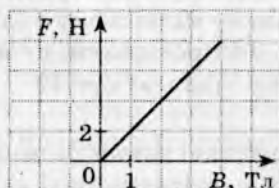
- ? 11.27. На рисунку зображені частинки, які рухаються в магнітному полі. Сформулюйте задачу до кожного з наведених випадків і розв'яжіть її.



- ? 11.28. На рисунку зображені частинки, які рухаються в магнітному полі. Сформулюйте задачу до кожного з наведених випадків і розв'яжіть її.



- ? 11.29. По якій траєкторії буде рухатися заряджена частинка, якщо вона влітає в однорідне магнітне поле зі швидкістю, напрямленою паралельно вектору магнітної індукції?
- 11.30. У процесі дослідження залежності сили, що діє на провідник довжиною 10 см, розташованому у магнітному полі перпендикулярно до лінії індукції, від модуля індукції отримано графік (див. рисунок). Розрахуйте за графіком силу струму в провіднику.



- 11.31. На провідник, активна довжина якого 1,5 м, в однорідному магнітному полі з індукцією 0,2 Тл, діє сила 2 Н. Який заряд проходить через поперечний переріз провідника за 0,5 хв, якщо кут між напрямком струму й вектором магнітної індукції становить 30° ?

- 11.32. Сила струму в горизонтально розміщеному провіднику, довжина якого 20 см, а маса 4 г, становить 10 А. Визначте індукцію магнітного поля, у яке слід помістити цей провідник, щоб сила тяжіння врівноважувалася силою Ампера.

- 11.33. Провідник зі струмом 20 А висить в однорідному магнітному полі. Визначте індукцію магнітного поля, якщо відомо, що маса провідника 200 г, а довжина його активної частини 2 м.

- 11.34. Прямолінійний провідник масою 2 кг і довжиною 50 см помістили в однорідне магнітне поле з індукцією 15 Тл перпендикулярно до ліній індукції. Визначте силу струму в провіднику, якщо сила тяжіння врівноважується силою Ампера.

11.35. Прямий провідник довжиною 2 м і масою 5 г підвісили горизонтально на двох тонких нитках в однорідному магнітному полі, вектор індукції якого спрямований горизонтально й перпендикулярно до провідника. Який струм слід пропустити через провідник, щоб підвіс обірвався? Індукція магнітного поля 10 Тл; кожна нитка розривається під дією сили 0,4 Н.

11.36. У вертикальному однорідному магнітному полі з індукцією 0,5 Тл на двох тонких нитках горизонтально підвісили провідник, довжина якого 20 см, а маса 20 г. На який кут від вертикалі відхиляться нитки, якщо сила струму в провіднику становить 2 А?

11.37. Визначте силу струму у прямому проводі довжиною 50 см і масою 30 г, горизонтально підвішеному у вертикальному магнітному полі з індукцією 60 мТл, якщо відомо, що провідники, на яких висить провід, утворюють з вертикаллю кут 45° .

11.38. Горизонтальні рейки розміщені у вертикальному однорідному магнітному полі на відстані 30 см одна від одної. На них лежить стрижень масою 500 г, перпендикулярний до рейок. Визначте індукцію магнітного поля, якщо стрижень під час проходження струму силою 50 А рівномірно рухається по рейках. Коефіцієнт тертя стрижня об рейки становить 0,2.

11.39. Прямий провід, довжина якого 25 см, маса 100 г, а сила струму в якому становить 10 А, лежить на горизонтальній поверхні перпендикулярно до ліній індукції однорідного магнітного поля з індукцією 0,2 Тл. Яку силу й у якому напрямку треба прикласти до проводу, щоб він рухався рівномірно прямолінійно? Коефіцієнт тертя 0,1.

11.40. Яку роботу виконує однорідне магнітне поле з індукцією 15 мТл під час переміщення провідника довжиною 2 м на відстань 20 см у напрямку дії сили. Провідник розміщений під кутом 30° до ліній індукції магнітного поля. Сила струму в провіднику дорівнює 10 А.

11.41. Під час переміщення провідника зі струмом в однорідному магнітному полі з індукцією $1,5 \text{ Тл}$ на відстань 25 см у напрямку, перпендикулярному до вектора магнітної індукції поля й напрямку струму, сила Ампера виконує роботу 380 мДж . Провідник розміщений під кутом 30° до ліній індукції. Визначте довжину активної частини провідника, якщо сила струму в ньому дорівнює 10 А .

11.42. Визначте силу струму в провіднику довжиною 2 м , якщо під час переміщення його в однорідному магнітному полі з індукцією 40 мТл на відстань 50 см сила Ампера виконує роботу 140 мДж . Напрямок переміщення перпендикулярний до напрямку струму й ліній індукції. Провідник розміщений під кутом 45° до силових ліній.

11.43. Електрон влітає зі швидкістю 500 км/с в однорідне магнітне поле з індукцією $1,4 \text{ мТл}$ перпендикулярно до ліній магнітної індукції. Визначте силу, що діє на електрон, і радіус кривизни траєкторії руху електрона.

11.44. Протон влітає зі швидкістю 10^6 м/с в однорідне магнітне поле з індукцією 10 мТл перпендикулярно лініям магнітної індукції поля. Визначте: а) силу, що діє на протон; б) радіус кривизни траєкторії руху протона.

11.45. Протон рухається в однорідному магнітному полі у вакуумі по колу радіусом 1 см . Визначте швидкість руху протона, якщо індукція магнітного поля становить $0,2 \text{ Тл}$.

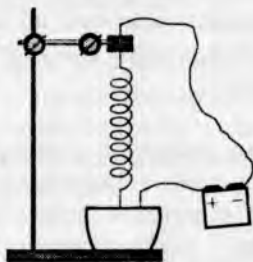
11.46. У камері Вільсона, що розміщена в однорідному магнітному полі з індукцією $1,5 \text{ Тл}$, α -частинка, влітаючи перпендикулярно до ліній індукції, залишає слід у вигляді дуги кола радіусом $2,7 \text{ см}$. Визначте імпульс і кінетичну енергію α -частинки, якщо її маса $6,7 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$, а заряд $3,2 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$.

11.47. Електрон рухається по коловій траєкторії в однорідному магнітному полі з індукцією 4 мТл . Визначте частоту й період обертання електрона.

- 11.48.** В однорідне магнітне поле з індукцією 20 мТл перпендикулярно до ліній індукції влітає протон, що має кінетичну енергію 120 кеВ *. Визначте радіус кола, яке описує протон, і період обертання протона.

3-й рівень складності

- ? 11.49.** Один кінець пружини закріплений у муфті штатива, а інший — занурений у чашу із ртуттю (див. рисунок). При пропусканні струму пружина починає коливатися, то розмикаючи коло, то замикаючи його. Поясніть це явище.



- ? 11.50.** По трьох паралельних провідниках тече струм. Як і чому буде відхилятися провідник, розміщений посередині, при різних напрямках струму в цих провідниках?
- ? 11.51*.** Як відносно один одного спрямовані вектори сил магнітної взаємодії двох паралельних електронних пучків, які мають: а) однакові напрямки; б) протилежні напрямки?
- ? 11.52.** Паралельні провідники зі струмами одного напрямку притягуються. Чи будуть притягуватися паралельні електронні пучки, у яких електрони рухаються в одному напрямку? Поясніть чому?
- ? 11.53.** Іскровий розряд може мати форму тонкого шнура. Що втримує плазму, яка заповнює канал шнура, від розширення?

* $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Дж.}$

- 11.54.** Чому площа поперечного перерізу струменя рідкого розплавленого металу при пропусканні по ньому струму зменшується (струміль звужується)? Яке застосування може знайти це явище в металургії?
- 11.55.** Заряджена частинка, що рухається прямолінійно, влітає в простір, де одночасно діють електричне й магнітне поля. Як орієнтовані ці поля, якщо частинка не змінює напрямку свого руху?
- 11.56.** У просторі одночасно існують однорідні постійні поля: магнітне з індукцією $0,2 \text{ Тл}$ і перпендикулярне до нього електричне, напруженість якого становить 200 кВ/м . Якими повинні бути напрямок і модуль швидкості електрона, щоб він в цьому просторі рухався прямолінійно?
- 11.57.** Протон влітає зі швидкістю 2 Мм/с у ділянку простору, де одночасно існують взаємно перпендикулярні однорідні постійні електричне й магнітне поля, і рухається рівномірно прямолінійно. Визначте напруженість електричного поля, якщо модуль вектора магнітної індукції 20 мТл .
- 11.58.** Пройшовши різницю потенціалів 2 кВ , електрон влітає в однорідне магнітне поле з індукцією 150 мкТл і рухається в ньому по колу радіусом 1 м . Визначте за цими даними відношення заряду електрона до його маси.
- 11.59.** Прискорений в електричному полі різницею потенціалів 150 кВ протон влітає в однорідне магнітне поле перпендикулярно до вектора магнітної індукції й рухається по колу радіусом 60 см . Визначте швидкість руху протона, модуль вектора магнітної індукції й силу, з якою магнітне поле діє на протон.
- 11.60.** В однорідному магнітному полі під дією сили Лоренца рухаються по колових траєкторіях протон і електрон. Визначте відношення їх кутових швидкостей. Маса протона в 1836 разів більше маси електрона.

11.61. Два іони, заряди й кінетичні енергії яких однакові, а маси різні, влетіли в однорідне магнітне поле. Перший іон описав коло радіусом 3 см, а другий — радіусом 1,5 см. Визначте відношення мас іонів.

11.62*. Прискорений в електричному полі різницею потенціалів 4,5 кВ електрон влітає в однорідне магнітне поле й рухається в ньому по гвинтовій лінії, радіус якої 30 см і крок 8 см. Визначте індукцію магнітного поля.

11.63*. Протон, швидкість руху якого 20 км/с, влітає в однорідне магнітне поле, індукція якого 3 мТл, під кутом 30° до напрямку ліній магнітної індукції поля. Визначте радіус і крок гвинтової лінії, по якій рухатиметься протон.

12. МАГНІТНІ ВЛАСТИВОСТІ РЕЧОВИНИ

Приклад розв'язування задач

Задача. Сильний магніт може втримувати гірлянди з кількох залізних кульок (див. рисунок). Що буде відбуватися з кульками, якщо знизу підносити до гірлянди інший постійний магніт так, щоб магніти були обернені один до одного: а) однойменними полюсами; б) різнойменними?

Розв'язання

У першому випадку в процесі наближення магніту кульки будуть одна за одною відриватися, притягуючись до магніту, що наближається. У другому випадку магніт, що наближається, буде притягуватися до гірлянди, внаслідок чого притягання між кульками збільшиться. Коли другий магніт торкнеться нижньої кульки, він притягнеться до неї й стане останньою ділянкою гірлянди, якщо сила тяжіння, що діє на магніт не буде більшою за силу магнітної взаємодії.



1-й рівень складності

- ? 12.1. У піддоні тракторного двигуна для зливу мастила є отвір, у який загвинчується магнітна пробка. Яке призначення має ця пробка?
- ? 12.2. Є два види сталі: один з великою залишковою індукцією, другий — з відносно невеликою. Яка сталь більш придатна для виготовлення постійних магнітів, а яка — для осердів електромагнітів та трансформаторів?

2-й рівень складності

- ? 12.3. З якою метою в деяких фізичних лабораторіях стіни й підлогу оббивають листами заліза?
- ? 12.4. Чому науково-дослідні судна, призначені для вивчення магнітного поля Землі, будують із дерева, а їх деталі скріплюють гвинтами із бронзи, латуні й інших кольорових металів?
- ? 12.5. Із двох однакових залізних брусків один є магнітом. Як, маючи тільки ці бруски, довідатися, який є магнітом?
- ? 12.6. На заводах для виявлення мікротріщин і внутрішніх дефектів у сталевій деталі її намагнічують так, щоб лінії індукції замикалися усередині деталі. Потім деталь поливають, наприклад, маслом з домішками дрібних залізних ошурок. Як за розміщенням цих ошурок можна виявити дефекти?
- ? 12.7. Над соленоїдом на пружині підвішують тонкі стрижні з заліза, чавуну, міді. Що відбудеться з кожним зі стрижнів при наявності струму в соленоїді?
- ? 12.8. Відомо, що при нагріванні магніту до температури, вищої за температуру Кюрі, він розмагнічується. У яку форму перетворюється при цьому енергія магнітного поля?
- ? 12.9. Чи можна за допомогою електромагнітного крана транспортувати розжарені сталеві болванки по цеху металургійного заводу?

3-й рівень складності

- ? 12.10. Накресліть лінії індукції поля підковоподібного магніту, між полюсами якого знаходиться сталеве кільце, площа якого паралельна площині магніту.
- ? 12.11. Штабовий магніт розрізали навпіл і виміряли силу взаємодії між частинами. Вона дорівнювала F_1 . Потім одну із частин знову розрізали на дві частини й виміряли силу взаємодії між ними. Вона дорівнювала F_2 . Чи однакові ці сили між собою? Свою відповідь обґрунтуйте.
- ? 12.12*. Фізик Ф. М. Шведов пропонував таку модель електродвигуна: до вертушки, зробленої із залізних проводів, підносять сильний електромагніт, а поруч із ним під вертушкою ставлять, наприклад, свічку, яка нагріває один із проводів вертушки. Чому вертушка обертається?

13. ЕЛЕКТРОМАГНІТНА ІНДУКЦІЯ

Приклад розв'язування задач

Задача. На горизонтальний вал електродвигуна рівномірно намотується нитка, до якої підвішений вантаж масою 0,8 кг. Двигун живиться від акумулятора з ЕРС 12 В і нехтовно малим внутрішнім опором. Опір двигуна дорівнює 3,4 Ом. Радіус вала двигуна 5 мм. Визначте частоту обертання n якоря й величину ЕРС індукції $\mathcal{E}_i$, які виникають у ньому, якщо сила струму в обмотці двигуна 3,3 А.

Дано:	СИ	Розв'язання
$m = 0,8 \text{ кг}$	$r = 5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$	Робота електричного струму ($\mathcal{E}It$) в обмотці витрачається на виконання механічної роботи й нагрівання обмотки (джоулеве тепло): $\mathcal{E}It = A + I^2 Rt$, де $A = mgh$ — механічна робота, що виконується під час піднімання вантажу на висоту h .
$\mathcal{E} = 12 \text{ В}$		
$R = 3,4 \text{ Ом}$		
$r = 5 \text{ мм}$		
$I = 3,3 \text{ А}$		
$n - ?$		
$\mathcal{E}_i - ?$		

Висоту можна визначити як довжину нитки, намотаної на вал двигуна за $N = nt$ обертів: $h = l_1 nt$, де $l_1 = 2\pi r$ — довжина нитки, яка намотується на вал за один оберт. Отже, $h = 2\pi r nt$.

$$\text{Тоді } \mathcal{E}It = mg \cdot 2\pi r nt + I^2 Rt, \text{ звідки } n = \frac{I(\mathcal{E} - IR)}{2\pi mgr}.$$

За законом Ома $\mathcal{E} - \mathcal{E}_i = IR$, звідки $\mathcal{E}_i = \mathcal{E} - IR$.

Визначимо значення шуканої величини:

$$[n] = \frac{A(B - A \cdot \text{Ом})}{\frac{\text{м} \cdot \text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}^2}}{\text{м} \cdot \text{Н}}} = \frac{A \left(B - A \cdot \frac{B}{A} \right)}{\text{м} \cdot \text{Н}} = \frac{A \cdot B}{\text{Дж}} = \frac{W_t}{\text{Дж}} = \frac{\text{Дж}}{\text{с} \cdot \text{Дж}} = \text{с}^{-1};$$

$$[\mathcal{E}_i] = B - A \cdot \text{Ом} = B - A \cdot \frac{B}{A} = B - B = 0.$$

$$\{n\} = \frac{3,3 \cdot (12 - 3,3 \cdot 3,4)}{2 \cdot 3,14 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cdot 0,8 \cdot 10} = 10; n = 10 \text{ об/с};$$

$$\{\mathcal{E}_i\} = 12 - 3,3 \cdot 3,4 = 0,78; \mathcal{E}_i = 0,78 \text{ В}.$$

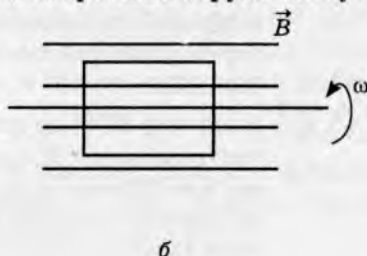
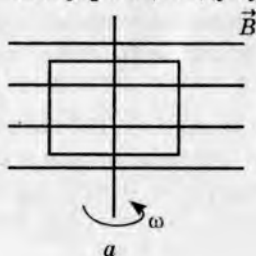
Відповідь: обертова частота якоря $n = 10$ об/с; величина ЕРС індукції $\mathcal{E}_i = 0,78$ В.

1-й рівень складності

? 13.1. Щоб одержати за допомогою магніту індукційний струм у замкненому контурі, їх переміщують у просторі так, що їхня відносна швидкість дорівнює нулю. Чи виникає в таких умовах індукційний струм у кільці?

? 13.2. Чи виникне індукційний струм у металевому кільці, що рухається в однорідному магнітному полі паралельно лініям індукції? Чому?

? 13.3. На рисунку показані два способи обертання рамки в однорідному магнітному полі. У якому з наведених випадків у рамці індукується електричний струм? Чому?



- 13.4.** В однорідному магнітному полі, лінії індукції якого вертикальні, падає кільце з міді. Чи виникне індукційний струм у кільці, якщо його площа розташована: а) горизонтально; б) вертикально?
- 13.5.** В однорідному магнітному полі, лінії індукції якого вертикальні, падає кільце з алюмінію. Чи виникне індукційний струм у кільці, якщо під час падіння воно буде обертатися: а) навколо горизонтальної осі; б) навколо вертикальної осі?
- 13.6.** Яка ЕРС індукції $\mathcal{E}_i$ виникає в металевій рамці, якщо за 8 мс магнітний потік через її поверхню рівномірно збільшується на 4 мВб?
- 13.7.** Унаслідок рівномірної зміни магнітного потоку протягом 0,2 мс у замкнутому металевому кільці виникає ЕРС індукції 4 В. Визначте зміну магнітного потоку, що проходить крізь кільце.
- 13.8.** Магнітний потік, що пронизує контур провідника, рівномірно змінився на 0,45 Вб, внаслідок чого виникла ЕРС індукції 1,5 В. Визначте час зміни магнітного потоку.
- 13.9.** Визначте зміну магнітного потоку через соленоїд, що має $2 \cdot 10^3$ витків, якщо за 10 мс у ньому виникає ЕРС 200 В.
- 13.10.** За 5 мс у рамці, обмотка якої складається з 25 витків проводу, магнітний потік збільшився з 6 мВб до 8 мВб. Визначте ЕРС індукції в рамці.
- 13.11.** Скільки витків містить обмотка соленоїда, якщо при рівномірній зміні магнітного потоку на 120 мВб за 2 с виникає ЕРС індукції 60 В?
- 13.12.** Реактивний літак з розмахом крил 43,3 м летить горизонтально зі швидкістю 800 км/год. Визначте різницю потенціалів, що виникає на кінцях крил, якщо вертикальна складова індукції магнітного поля Землі 50 мкТл.
- 13.13.** Визначте ЕРС індукції в провіднику, довжина активної частини якого 20 см, який переміщається в однорідному магнітному полі зі швидкістю 5 м/с під кутом 30° до вектора магнітної індукції. Відомо, що модуль вектора магнітної індукції дорівнює 6 мТл.

13.14. По горизонтальній залізничній колії шириною 1,2 м, рейки якої ізолювані одна від одної, рівномірно рухається поїзд. Вертикальна складова магнітного поля Землі дорівнює 50 мкТл. Вольтметр, увімкнений між рейками, показує 1 мВ. З якою швидкістю рухається поїзд?

13.15. В однорідному магнітному полі з індукцією 0,4 Тл із постійною швидкістю переміщується провідник під кутом 45° до ліній магнітної індукції. Внаслідок руху провідника у ньому індукується ЕРС 1,2 В. З якою швидкістю переміщається провідник, якщо довжина його активної частини дорівнює 1,2 м?

13.16. Під яким кутом до ліній індукції однорідного магнітного поля з індукцією 200 мТл треба переміщати зі швидкістю 7,5 м/с провідник, довжина активної частини якого 80 см, щоб у ньому виникла ЕРС індукції 0,85 В?

13.17. Провідник, довжина якого 50 см, переміщується зі швидкістю 4,8 м/с в однорідному магнітному полі з індукцією 0,4 Тл. Внаслідок руху провідника у ньому виникла ЕРС індукції 0,85 В. Під яким кутом до ліній магнітної індукції переміщується провідник?

2-й рівень складності

? **13.18.** Чи завжди виникає індукційний струм у замкнутому металевому кільці за умови зміни: а) магнітного потоку через площину кільця; б) індукції магнітного поля через площину кільця?

? **13.19.** На високе вертикальне осердя електромагніту надіто: а) кільце зі скла; б) кільце з металу. Що буде спостерігатися, якщо електромагніт ввімкнути в коло змінного струму?

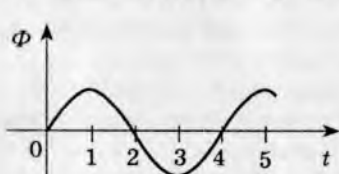
? **13.20.** Чому коливання стрілки компаса швидше загасають, якщо його корпус латунний, а якщо корпус пластмасовий — коливання загасають повільніше?

- ? 13.21. З короткозамкненої котушки вийняли магніт. Чи залежить від швидкості руху магніту: а) електрорушійна сила індукції; б) заряд, що проходить по провіднику; в) робота, що виконується для видалення магніту; г) струм у котушці? Свою відповідь обґрунтуйте.
- ? 13.22. Є дві дротяні котушки. Одна – короткозамкнена, інша – розімкнута, усередині яких знаходяться однакові магніти. Чи однакова робота буде виконана, якщо магніти виймати з котушок з однаковою швидкістю? Чому?
- ? 13.23. При видаленні магніту з короткозамкненої котушки, що складається з N витків проводу, площа кожного з яких S , максимальна ЕРС індукції становила $\mathcal{E}_i$, а максимальна сила струму I . Що зміниться, якщо в k разів збільшиться: а) кількість витків; б) площа витків; в) швидкість руху магніту?
- ? 13.24. В однорідному кільці з тонкого проводу ЕРС індукції становить 20 В. Чому дорівнює різниця потенціалів між двома його діаметрально протилежними точками?
- ? 13.25. У магнітному полі з вертикальними силовими лініями розташований соленоїд, площа витків якого горизонтальна. Як має змінюватися з часом індукція магнітного поля, щоб індукційний струм у соленоїді був незмінним?
- ? 13.26. В однорідному магнітному полі, вектор індукції якого спрямований вертикально вниз, горизонтально розташоване дротяне кільце. Як має змінюватися з часом модуль вектора індукції магнітного поля, щоб індукційний струм у кільці був спрямований проти ходу годинникової стрілки (якщо дивитися згори), а значення сили струму не змінювалося?
- ? 13.27. Дротяну короткозамкнену котушку вставили в іншу з таким самим напрямком обмотки, через яку можна пропускати електричний струм. Як має змінюватися сила струму в зовнішній котушці, щоб у внутрішній виник індукційний струм, протилежний по напрямку струму в зовнішній котушці?

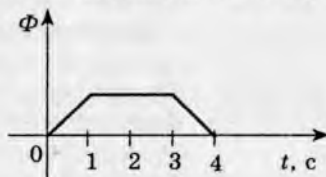
? 13.28. На залізне осердя у вигляді тора надіта котушка зі струмом і мідне кільце. Чи буде виникати індукційний струм у кільці, якщо: а) струм у котушці не змінюється й кільце рухається по поверхні тора; б) струм у котушці змінний, а кільце нерухоме?

? 13.29. Потік магнітної індукції через дріт'яне кільце змінюється, як показано на графіку (див. рисунок). У які моменти часу ЕРС індукції у кільці: а) дорівнює нулю; б) має максимальне значення?

? 13.30. Магнітний потік, що пронизує соленоїд, змінюється з часом, як показано на рисунку. Накресліть графік залежності ЕРС індукції, що виникає в соленоїді, від часу.



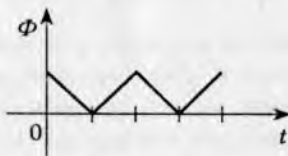
До задачі 13.29



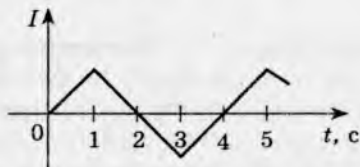
До задачі 13.30

? 13.31. Магнітний потік, що пронизує соленоїд, змінюється з часом, як показано на рисунку. Накресліть графік залежності ЕРС індукції, що виникає в соленоїді, від часу.

? 13.32. Дріт'яну короткозамкнену котушку вставили в іншу з таким самим напрямком обмотки, через яку можна пропускати електричний струм. Струм у зовнішній котушці змінюється з часом, як показано на рисунку. Побудуйте графік залежності від часу індукційного струму, що виникає у внутрішній котушці.

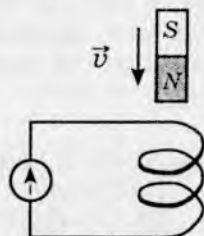


До задачі 13.31

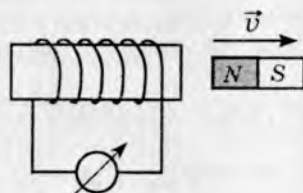


До задачі 13.32

- ? 13.33. До замкнутої дрютяної котушки наближають постійний магніт, як показано на рисунку. Визначте напрямок індукційного струму в котушці.



До задачі 13.33

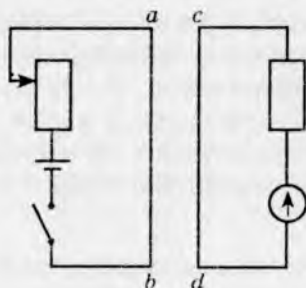


До задачі 13.34

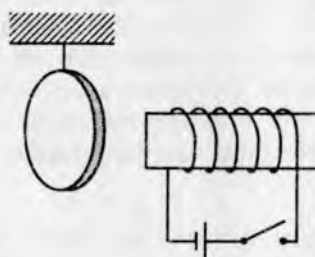
- ? 13.35. Який напрямок буде мати індукційний струм у провіднику cd (див. рисунок), якщо коло із провідником ab : а) замкнути; б) розімкнути?

- ? 13.36. Який напрямок буде мати індукційний струм у провіднику cd (див. рисунок), якщо замкнути коло і повзунк реостата перемістити: а) вниз; б) угору?

- ? 13.37. Навпроти замкнутого кільця розташований електромагніт (див. рисунок). Що відбудеться, якщо замкнути коло? Свою відповідь обґрунтуйте.



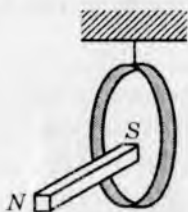
До задач 13.35, 13.36



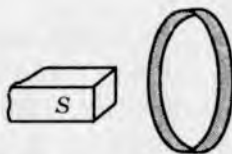
До задачі 13.37

- ? 13.38. Що відбудеться, якщо магніт віддаляти від кільця (див. рисунок)? Свою відповідь обґрунтуйте.

- ? 13.39. Визначте напрямок індукційного струму в кільці і напрямок руху магніту, якщо кільце притягується до магніту (див. рисунок). Свою відповідь обґрунтуйте.



До задачі 13.38



До задачі 13.39

- ? 13.40. Магніт у вакуумі вільно падає південним полюсом у центр дротяного кільця. Визначте напрямок індукційного струму, що виникатиме в кільці при наближенні до нього магніту. Чи збігається прискорення руху магніту із прискоренням вільного падіння? Виконайте пояснювальний рисунок.
- ? 13.41. Магніт у вакуумі вільно падає північним полюсом у центр дротяного кільця. Визначте напрямок індукційного струму, що буде виникати в кільці при наближенні до нього магніту. Чи збігається прискорення руху магніту із прискоренням вільного падіння? Виконайте пояснювальний рисунок.
- ? 13.42. Кільцевий магніт має вузький розріз, де магнітне поле можна вважати однорідним. У якому випадку прискорення вільно падаючої монети буде збігатися із прискоренням вільного падіння: при вході в розріз, усередині розрізу або на виході з нього?
- ? 13.43. Чому осердя трансформатора не роблять суцільним?
- ? 13.44. Чому в печах НВЧ не можна використовувати металевий посуд?
- 13.45. Контур площею 6 см^2 розташований в однорідному магнітному полі з індукцією 30 мТл так, що площина контуру перпендикулярна до ліній індукції. Протягом $1,5 \text{ мс}$ контур виймають із поля. Яка ЕРС $\mathcal{E}_i$ виникає внаслідок цього? Вважайте, що магнітний потік змінюється рівномірно.

13.46. На скільки протягом 0,08 с змінився модуль вектора індукції магнітного поля через поверхню, обмежену дрітаною рамкою площею 400 см^2 , розташовану перпендикулярно до магнітних ліній, якщо у рамці виникла ЕРС 125 мВ?

13.47. Визначте швидкість зміни магнітного потоку в соленоїді, що складається з 2000 витків проводу, при збудженні в ньому ЕРС індукції 120 В.

13.48. Скільки витків проводу має бути в обмотці котушки, щоб внаслідок рівномірної зміни магнітної індукції від 0,2 Тл до 0,3 Тл протягом 4 мс у ній збуджувалася ЕРС 10 В? Площа поперечного перерізу котушки 50 см^2 .

13.49. Прямокутна рамка зі сторонами 4 см і 5 см, що складається з 500 витків проводу, розміщена в однорідному магнітному полі з індукцією 0,75 Тл так, що вектор індукції перпендикулярний до площини рамки. Яка ЕРС індукції виникне в рамці, якщо її повернути на 90° за 0,1 с? Магнітний потік через поверхню, обмежену рамкою, змінюється рівномірно.

13.50. Дрітiane кільце радіусом 5 см розташоване в однорідному магнітному полі з індукцією 80 мТл перпендикулярно до ліній індукції. Унаслідок рівномірного зменшення індукції магнітного поля до 30 мТл протягом 0,5 с у кільці виникла ЕРС індукції 628 мВ. Зі скількох витків проводу складається кільце?

13.51. Соленоїд діаметром 8 см, що має 80 витків проводу, розташований в однорідному магнітному полі з індукцією 60 мТл так, що його вісь спрямована уздовж магнітних ліній. Соленоїд повернули на 180° протягом 0,2 с. Яке значення має ЕРС індукції, що виникла внаслідок цього?

13.52. Яка ЕРС індукції виникає внаслідок того, що магнітний потік, який пронизує контур провідника, рівномірно збільшився з 1,4 до 1,9 Вб за 50 мс? Визначте також силу індукційного струму, якщо відомо, що опір контуру становить 4 Ом.

13.53. На скільки змінився за 20 мс магнітний потік через прямокутний провідник, опір якого 5,1 Ом, якщо внаслідок цієї зміни у провіднику виник індукційний струм силою 2 А?

13.54. В однорідному магнітному полі з індукцією 0,15 Тл знаходиться дротяна котушка з 500 витків проводу. Вісь котушки паралельна лініям індукції. Який заряд пройде по обмотці котушки, якщо поле зникне? Опір котушки дорівнює 2 Ом, площа її поперечного перерізу становить 60 см².

13.55. Рамка із проводу, опір якого 25 Ом, а площа рамки 8 см², розташована в однорідному магнітному полі так, що її площина перпендикулярна до вектора магнітної індукції. Протягом деякого проміжку часу модуль вектора магнітної індукції рівномірно зменшився з 0,7 до 0,2 Тл, внаслідок чого в провіднику був індукований заряд 640 мкКл. Визначте, зі скількох витків складається рамка.

13.56. Дротяна котушка, що складається зі 100 витків проводу, перебуває в однорідному магнітному полі з індукцією 10 мТл, витки котушки перпендикулярні до ліній індукції. Котушка замкнена на балістичний гальванометр так, що загальний опір кола становить 10 Ом. Унаслідок повороту котушки через гальванометр проходить заряд 50 мкКл. Визначте кут повороту котушки, якщо площа її поперечного перерізу 10 см².

13.57. Мідне кільце радіусом 20 см і опором 2 Ом, розташоване в магнітному полі перпендикулярно до вектора магнітної індукції, модуль якої дорівнює 4 Тл. Кільце рівномірно розпрямляють у складену вдвічі пряму. Який заряд проходить при цьому по кільцю?

13.58. Тонкий мідний провід опором 1 Ом і довжиною 40 см зігнули у вигляді квадрата й помістили в однорідне магнітне поле з індукцією 0,2 Тл так, щоб його площина була перпендикулярна лініям індукції поля. Визначте заряд, що протікає по проводу, коли квадрат розпрямляють у лінію, тримаючи його за протилежні вершини.

13.59. Короткозамкнена котушка із площею поперечного перерізу 40 см^2 і опором 160 Ом , що має 1000 витків проводу, розташована в однорідному магнітному полі, лінії якого спрямовані уздовж осі котушки. Індукція магнітного поля змінюється зі швидкістю 5 мТл/с . Визначте потужність теплових втрат.

13.60. Провідник довжиною 30 см помістили в магнітне поле з індукцією 2 Тл . Кінці провідника замкнуті гнучким проводом, що перебуває поза полем. Опір ланцюга $0,75 \text{ Ом}$. Яка потужність необхідна, щоб провідник рухався зі швидкістю 5 м/с перпендикулярно до ліній індукції?

3-й рівень складності

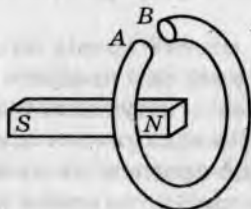
? **13.61.** Три однакові штабові магніти одночасно починають вертикально падати з однакової висоти. Перший падає вільно, другий під час падіння пролітає крізь незамкнений соленоїд, а третій – крізь замкнений соленоїд. Порівняйте час падіння магнітів.

? **13.62.** Крізь горизонтальне металеве кільце падають із однакової висоти алюмінієвий брусок і магніт. Чи одночасно вони впадуть?

? **13.63.** Магніт падає вертикально крізь три кільця однакових розмірів, які виготовлені зі: а) скла; б) міді; в) напівпровідника. Порівняйте час падіння магніту крізь кільця.

? **13.64.** На пружині підвісили циліндричний магніт так, що його вісь стала вертикальною. Чи залежить час загасання його коливань від матеріалу, з якого виготовлене металеве кільце навколо магніту?

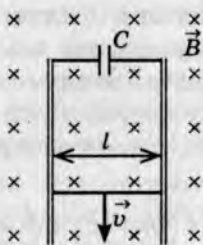
? **13.65.** Усередині скляного кільця з розрізом розташований постійний магніт (див. рисунок). Що буде спостерігатися на кінцях розрізу AB у процесі видалення магніту з кільця вліво?



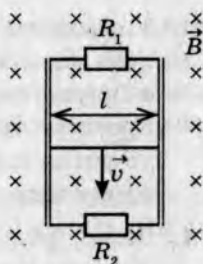
- 13.66.** Чи зміниться відповідь на питання (див. умову попереднього завдання), якщо кільце з розрізом буде дратюне, а швидкість руху магніту не зміниться?
- 13.67.** Існує легенда про те, що труна пророка Мохаммеда у священному для мусульман місті Мекка висить у повітрі. Як це можна реалізувати з найменшою витратою енергії?
- 13.68.** Магніт виймають із дратюного контуру, для чого виконують певну роботу. Як зміниться виконана робота, якщо час руху магніту зменшити в k разів?
- 13.69.** Як пояснити той факт, що удар блискавки може розплавити запобіжники, вивести з ладу чутливі електроприлади й напівпровідникові пристрої?
- 13.70.** У замкнуту накоротко котушку з мідного проводу вводять магніт, що створює усередині неї магнітне поле з індукцією 10 мТл . Визначте величину заряду q , що протікає при цьому через котушку. Відомо, що радіус витка котушки 10 см , а площа поперечного перерізу проводу $0,1 \text{ мм}^2$.
- 13.71.** Виток радіусом 5 см має електричний опір $8,5 \text{ Ом}$. У ньому існує постійний струм 3 А . Виток розташований так, що його площина перпендикулярна до ліній магнітної індукції, модуль якої дорівнює $0,1 \text{ Тл}$. Яку роботу необхідно виконати, щоб повернути контур на 90° навколо осі, яка збігається з діаметром витка. Визначте величину заряду, який пройде при цьому по контуру.
- 13.72.** Кільцевий контур площею 400 см^2 , що складається з 100 витків проводу, обертається в однорідному магнітному полі, індукція якого 10 мТл , з періодом $0,1 \text{ с}$. Визначте максимальне значення ЕРС індукції в контурі, якщо вісь обертання перпендикулярна до ліній індукції.
- 13.73.** В однорідному магнітному полі з індукцією $32\pi \cdot 10^{-4} \text{ Тл}$ обертається стрижень довжиною 20 см з постійною кутовою швидкістю 100 рад/с . Визначте величину ЕРС індукції, що виникає на кінцях стрижня, якщо вісь обертання проходить через кінець стрижня паралельно лініям індукції магнітного поля.

13.74*. Провідник довжиною 1 м ковзає по горизонтальних рейках у вертикальному однорідному магнітному полі з індукцією 0,1 Тл. Кінці рейок замкнені на конденсатор ємністю 1 мкФ (див. рисунок). Визначте величину заряду на конденсаторі, якщо швидкість руху провідника незмінна й дорівнює 100 м/с.

13.75*. Провідник опором 1 Ом і довжиною 50 см ковзає по горизонтальних рейках у вертикальному однорідному магнітному полі з індукцією 0,2 Тл. Кінці рейок замкнені на резистори опором 1 Ом і 2 Ом (див. рисунок). Визначте силу струму в провіднику, якщо він рухається зі швидкістю 20 м/с. (Опором рейок можна знехтувати.)



До задачі 13.74



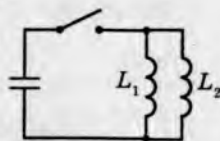
До задачі 13.75

13.76*. В однорідному магнітному полі рухається рівномірно поступально квадратна рамка зі стороною 8 см. Площина рамки перпендикулярна до ліній індукції, а дві її сторони паралельні границі поля. Опір рамки 1 Ом; магнітна індукція поля становить 0,63 Тл. З якою швидкістю рухається рамка, якщо за час її виходу з магнітного поля в рамці виділилося 1 мДж теплоти?

14. САМОІНДУКЦІЯ. ЕНЕРГІЯ МАГНІТНОГО ПОЛЯ

Приклад розв'язування задач

Задача. Конденсатор ємністю C та котушки індуктивністю L_1 і L_2 зв'язані в електричне коло, як показано на рисунку. Визначте найбільшу силу струму, якщо максимальна різниця потенціалів на котушках дорівнює U_0 .



Дано:

C

L_1

L_2

U_0

$I_1 - ?$

$I_2 - ?$

Розв'язання

Максимальна різниця потенціалів на котушках дорівнює максимальній напрузі на пластинах конденсатора.

Відомо, що енергія електричного поля конденсатора визначається за формулою $W_e = \frac{CU_0^2}{2}$.

Енергія магнітного поля котушки індуктивності визначається за формулою $W_m = \frac{LI^2}{2}$.

За законом збереження енергії: $\frac{CU_0^2}{2} = \frac{L_1 I_1^2}{2} + \frac{L_2 I_2^2}{2}$.

Магнітні потоки, що проходять через котушки, відповідно, становлять: $\Phi_1 = L_1 I_1$; $\Phi_2 = L_2 I_2$, які рівні між собою, тобто $\Phi_1 = \Phi_2$.

Таким чином, маємо систему рівнянь:
$$\begin{cases} \frac{CU_0^2}{2} = \frac{L_1 I_1^2}{2} + \frac{L_2 I_2^2}{2}; \\ L_1 I_1 = L_2 I_2. \end{cases}$$

Із другого рівняння системи знайдемо I_2 : $I_2 = \frac{L_1 I_1}{L_2}$.

Підставимо цей вираз в перше рівняння системи:

$$CU_0^2 = L_1 I_1^2 + \frac{L_2 L_1^2 I_1^2}{L_2^2} \text{ або } CL_2 U_0^2 = I_1^2 L_1 (L_1 + L_2), \text{ звідки}$$

$$I_1 = U_0 \sqrt{\frac{L_2 C}{L_1 (L_1 + L_2)}}.$$

Після підстановки одержимо: $I_2 = U_0 \sqrt{\frac{L_1 C}{L_2 (L_1 + L_2)}}.$

Перевіримо одиницю шуканої величини:

$$[I] = B \sqrt{\frac{\Gamma_H \cdot \Phi}{\Gamma_H(\Gamma_H + \Gamma_H)}} = B \sqrt{\frac{\Phi}{\Gamma_H}} = B \sqrt{\frac{K_{\text{д}} \cdot A}{B \cdot B \cdot C}} = B \sqrt{\frac{A \cdot C \cdot A}{B^2 \cdot C}} = \frac{B \cdot A}{B} = A.$$

$$\text{Відповідь: } I_1 = U_0 \sqrt{\frac{L_2 C}{L_1(L_1 + L_2)}}; \quad I_2 = U_0 \sqrt{\frac{L_1 C}{L_2(L_1 + L_2)}}.$$

1-й рівень складності

- ? 14.1. Чому при ввімкненні електромагніту в електричне коло сила струму в ньому не відразу досягає максимального значення?
- ? 14.2. Чи виникає ЕРС самоіндукції в котушці, в якій існує постійний струм?
- ? 14.3. У цеху, де працюють верстати з електричними двигунами, виникла необхідність негайно вимкнути рубильник на електророзподільному щиті. Як це краще зробити: а) не вимикаючи верстати; б) тільки після попереднього вимкнення всіх верстатів?
- ? 14.4. Як зменшити індуктивність котушки із залізним осердям, не змінюючи габарити її обмотки (довжину й площу поперечного перерізу)?
- 14.5. Визначте магнітний потік, що пронизує котушку індуктивністю 0,3 Гн, якщо сила струму в ній дорівнює 2 А.
- 14.6. Визначте індуктивність контуру, якщо при силі струму 5 А магнітний потік, створений цим струмом, становить 0,5 мВб.
- 14.7. Визначте індуктивність котушки, якщо внаслідок зміни сили струму в ній на 0,5 А протягом 0,4 с виникає ЕРС самоіндукції 2 В.
- 14.8. Яка індуктивність котушки із залізним осердям, якщо протягом інтервалу часу 0,5 с сила струму в ній рівномірно змінилася від 10 до 5 А, а ЕРС самоіндукції, що виникла під час цього, склала 35 мВ?

14.9. Яка ЕРС самоіндукції виникає в провіднику з індуктивністю $2,5 \text{ мГн}$ під час рівномірної зміни сили струму від 3 А до 5 А за $0,25 \text{ с}$?

14.10. У котушці індуктивністю 30 мкГн сила струму дорівнює $0,6 \text{ А}$. Визначте середнє значення ЕРС самоіндукції, що виникне в котушці внаслідок зменшення сили струму до нуля протягом 120 мкс .

14.11. На скільки змінилася протягом 8 с сила струму в обмотці електромагніту з індуктивністю $3,5 \text{ мГн}$, якщо під час цього виникла ЕРС самоіндукції $0,7 \text{ В}$?

14.12. За який час у котушці з індуктивністю 240 мГн сила струму рівномірно зросте від нуля до $11,4 \text{ А}$, якщо під час цього виникає ЕРС самоіндукції 30 мВ ?

14.13. Котушку з індуктивністю $2,4 \text{ Гн}$ замикають на джерело струму, ЕРС якого 12 В . Через який проміжок часу струм у котушці досягне значення 40 А ? (Опором котушки й внутрішнім опором джерела знехтувати.)

14.14. Визначте енергію магнітного поля електромагніту з індуктивністю 5 Гн , якщо сила струму в його обмотці становить 3 А .

14.15. Яку індуктивність повинна мати дротяна рамка, щоб при силі струму $2,5 \text{ А}$ енергія її магнітного поля дорівнювала $1,25 \text{ Дж}$?

14.16. Індуктивність котушки 100 мГн . Якою має бути сила струму в її обмотці, щоб енергія магнітного поля котушки становила 450 мДж ?

2-й рівень складності

? **14.17.** Коли іскрить рубильник: під час замикання або під час розмикання електричного кола? Якщо ж паралельно рубильнику під'єднати конденсатор, іскріння припиняється. Чому?

? **14.18.** При електрозварюванні застосовують стабілізатор — котушку зі сталевим осердям, яку вмикають послідовно з дугою. Чому така котушка забезпечує стійке горіння дуги?

- ? 14.19. Індуктивність котушки збільшилася в два рази, а сила струму зменшилася в два рази. Як при цьому змінилася енергія магнітного поля котушки?
- ? 14.20. Як зміниться індуктивність котушки із залізним осердям при підвищенні температури?
- 14.21. Обмотка котушки індуктивності має 1000 витків проводу. Внаслідок лінійної зміни струму в котушці від 4 А до 12 А за 1 с створений ним магнітний потік змінився на 2 мВб. Визначте ЕРС самоіндукції та індуктивність котушки.
- 14.22. Магнітний потік, що пронизує котушку, яка має 500 витків проводу, рівномірно змінюється протягом 0,2 с від нуля до 12 мВб. Визначте ЕРС самоіндукції, що виникає в котушці, і її індуктивність, якщо сила струму за цей час змінилася від нуля до 0,5 А.
- 14.23. Струм силою 4 А, протікаючи по замкнутому контуру, створює магнітний потік 100 мВб. Струм рівномірно зменшується до 2 А за 0,002 с. Яка ЕРС самоіндукції виникає в контурі в цьому випадку?
- 14.24. Замкнена котушка опором 20 Ом й індуктивністю 10 мГн поміщена в змінне магнітне поле. Коли створюваний цим полем магнітний потік рівномірно збільшився на 1 мВб, сила струму зросла від нуля до 50 мА. Який заряд пройшов за цей час по котушці?
- 14.25. Усередині котушки, індуктивність якої 0,25 мГн, знаходиться плоский виток проводу з опором 10 Ом. Площина витка перпендикулярна до осі котушки. Сила струму в котушці рівномірно змінюється від 2 А до 10 А. Який заряд пройде через поперечний переріз проводу?
- 14.26. Яку індуктивність має дрітjana котушка, якщо зміна струму в ній від 4 А до 8 А за 0,1 с викликає ЕРС самоіндукції 5 В. Як при цьому змінюється енергія магнітного поля?

14.27. Сила струму в провіднику зменшилася протягом 20 с від 12 А до 8 А. При цьому енергія магнітного поля провідника зменшилася на 2 Дж. Визначте індуктивність провідника й ЕРС самоіндукції, що виникла в ньому.

14.28. На клемі котушки опором 8 Ом з індуктивністю 25 мГн подається напруга 56 В. Яка енергія виділиться в процесі розмикання ланцюга?

3-й рівень складності

? **14.29.** Соленоїд має один шар витків проводу. Як зміниться його індуктивність, якщо зверху намотати другий шар витків проводу?

? **14.30*.** Чи можна вважати індуктивність електромагніту величиною, постійною для нього?

? **14.31.** Мідний лист розмістили в магнітному полі. Якщо його спробувати виштовхнути з поля, виникне сила опору. Чому?

14.32. До джерела струму з ЕРС 40 В і внутрішнім опором 1 Ом приєднали соленоїд, опір обмотки якого 3 Ом. Визначте індуктивність соленоїда, якщо після встановлення постійної сили струму енергія магнітного поля в ньому дорівнює 7,5 Дж. Яке середнє значення матиме ЕРС самоіндукції в соленоїді під час розмикання кола за 15 мс?

14.33*. Котушка індуктивністю 25 мГн і опором 5 Ом паралельно з'єднана з резистором R_2 , на якому підтримується постійна напруга 50 В. Електричне коло розмикають. Визначте енергію, що виділиться при зменшенні сили струму до нуля протягом 10 мс. Яке значення має середня ЕРС самоіндукції, що виникає при цьому в котушці?

15. ЗМІННИЙ СТРУМ

Приклад розв'язування задачі

Задача. Максимальна потужність, яку може одержати споживач, підключений до мережі за допомогою двопровідної лінії електропередачі (рис. 1), становить $P_1 = 10$ кВт. Напруга в мережі $U = 120$ В. Визначте ККД лінії передачі, якщо з мережі до споживача надходить потужність $P_2 = 1,0$ кВт.

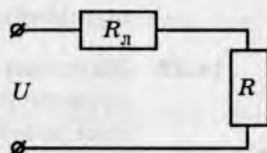


Рис. 1

Дано:

$$P_1 = 10 \text{ кВт}$$

$$P_2 = 1,0 \text{ кВт}$$

$$U = 120 \text{ В}$$

$$\eta = ?$$

СІ

$$P_1 = 1,0 \cdot 10^4 \text{ Вт}$$

$$P_2 = 1,0 \cdot 10^3 \text{ Вт}$$

Розв'язання

Потужність, одержувана споживачем, дорівнює:

$$P = I^2 R = \left(\frac{U}{R_{\text{л}} + R} \right)^2 \cdot R \text{ і залежить від опору навантаження}$$

(рис. 2).

Очевидно, що при деякому значенні опору (R_1) споживач одержує максимальну потужність (P_1). Знайдемо екстремум функції $P(R)$,

$$\text{прирівнюючи до нуля похідну} \quad \frac{dP}{dR} = U^2 \frac{(R_{\text{л}} + R)^2 - R \cdot 2R(R_{\text{л}} + R)}{(R_{\text{л}} + R)^4} = 0,$$

маємо: $(R_{\text{л}} + R)^2 - 2R(R_{\text{л}} + R) = 0 \Rightarrow (R_{\text{л}} + R)(R_{\text{л}} + R - 2R) = 0$, звідки $R_1 = R_{\text{л}}$.

Підставляючи отримане значення опору R_1 у формулу потужності, знайдемо P_1 : $P_1 = \left(\frac{U}{R_{\text{л}} + R_{\text{л}}} \right)^2 R_{\text{л}} = \frac{U^2}{4R_{\text{л}}} \Rightarrow R_{\text{л}} = \frac{U^2}{4P_1}$.

Перевіривши одиниці вимірювання й виконавши розрахунки, визначаємо, що $R_{\text{л}} = 0,36$ Ом.

Очевидно, що потужність $P_2 < P_1$ можна передати при двох різних опорах навантаження R_2 і R_3 . Струми теж будуть різні, і ми одержимо різні значення ККД лінії електропередачі:

$$\eta_1 = \frac{P_2}{UI_1} \cdot 100\% \text{ і } \eta_2 = \frac{P_2}{UI_2} \cdot 100\%.$$

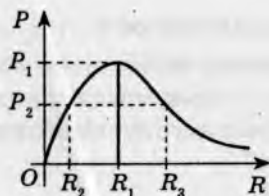


Рис. 2

Щоб знайти силу струму, скористаємося законом збереження енергії, з якого випливає, що потужність, яка надходить у лінію, дорівнює сумі потужності, яка надходить до споживача, і потужності теплових втрат у лінії: $UI = P_2 + I^2 R_{\text{л}}$.

Розв'язавши отримане квадратне рівняння $R_{\text{л}} I^2 - UI + P_2 = 0$ відносно I , одержимо:

$$I_{1,2} = \frac{U \pm \sqrt{U^2 - 4P_2 R_{\text{л}}}}{2R_{\text{л}}}.$$

Визначимо значення сили струму:

$$[I_{1,2}] = \frac{B \pm \sqrt{B^2 - B_{\text{т}} \cdot \text{Ом}}}{\text{Ом}} = \frac{B \pm \sqrt{B^2 - B \cdot A \cdot \frac{B}{A}}}{\frac{B}{A}} = A;$$

$$\{I_1\} = \frac{120 + \sqrt{120^2 - 4 \cdot 10^3 \cdot 0,36}}{2 \cdot 0,36} \approx 324,8;$$

$$\{I_2\} = \frac{120 - \sqrt{120^2 - 4 \cdot 10^3 \cdot 0,36}}{2 \cdot 0,36} \approx 8,6.$$

Одержали два значення сили струму: $I_1 = 324,8$ А; $I_2 = 8,6$ А.

Визначимо значення шуканої величини:

$$[\eta_{1,2}] = \frac{B_{\text{т}}}{B \cdot A} \cdot \% = \frac{B_{\text{т}}}{B_{\text{т}}} \cdot \% = \%;$$

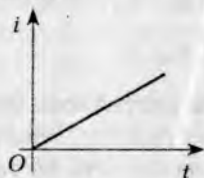
$$\eta_1 = \frac{10^3}{120 \cdot 324,8} \cdot 100 \% \approx 2,6 \% ; \quad \eta_2 = \frac{10^3}{120 \cdot 8,6} \cdot 100 \% \approx 97 \% .$$

Опір навантаження слід брати такий, щоб ККД лінії був максимальним.

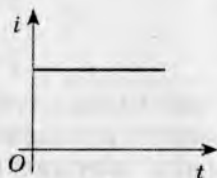
Відповідь: ККД лінії $\eta \approx 97 \%$.

1-й рівень складності

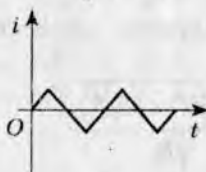
- ? 15.1. Дротяна рамка обертається в однорідному магнітному полі з постійною кутовою швидкістю. Який із графіків, наведених на рисунку, відображає залежність сили струму від часу?



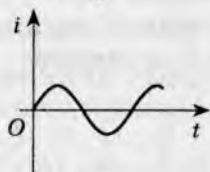
a



b

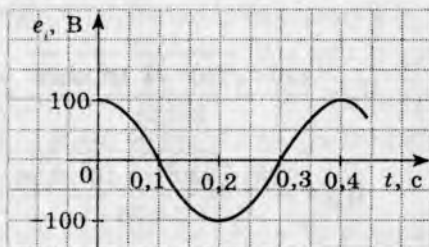


v

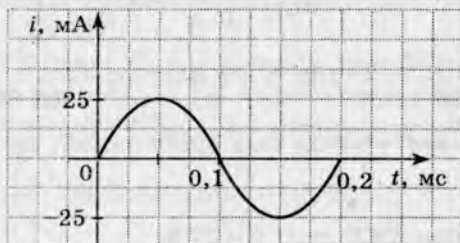


z

- 15.2. За графіком залежності ЕРС індукції від часу (див. рисунок) визначте максимальне значення ЕРС, період і частоту її коливань.



- 15.3. За графіком залежності сили змінного струму від часу (див. рисунок) визначте амплітуду, період і частоту коливань сили струму.



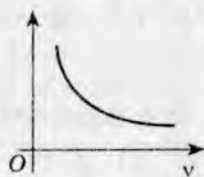
- 15.4.** Залежність напруги в колі змінного струму від часу виражена рівнянням $u = 220 \sin 100\pi t$ (В). Визначте амплітуду, період і частоту коливань напруги, а також її значення в момент часу $t = 2,5$ мс. Побудуйте графік залежності напруги від часу.
- 15.5.** Сила струму змінюється відповідно до рівняння $i = 5 \cos 200\pi t$ (А). Визначте максимальне значення сили змінного струму, період і частоту його коливань, а також силу струму в момент часу $t = 2,5$ с. Побудуйте графік коливань сили струму.
- ? 15.6.** У стінній розетці квартири напруга становить, як відомо, 220 В. Це максимальне або діюче значення напруги?
- 15.7.** На яку напругу треба розрахувати ізолятори лінії електропередачі, якщо її діюче значення становить 430 кВ?
- 15.8.** Чи можна лампочку, яка розрахована на максимальну напругу 240 В, вмикати в мережу змінного струму з напругою 220 В?
- 15.9*.** Визначте індуктивний опір соленоїда з індуктивністю 35 мГн, що ввімкнений у коло змінного струму із частотою: а) 50 Гц; б) 60 Гц; в) 800 Гц. Як залежить індуктивний опір провідника від частоти змінного струму?
- 15.10*.** При якій частоті змінного струму індуктивний опір провідника з індуктивністю 0,2 Гн дорівнює 200 Ом?
- 15.11*.** Визначте опір конденсатора ємністю 150 мкФ, на який подана змінна напруга частотою: а) 50 Гц; б) 60 Гц; в) 1 кГц. Як залежить ємнісний опір конденсатора від частоти змінного струму?
- 15.12*.** Конденсатор у ланцюзі змінного струму із частотою 2 кГц має опір 15 Ом. Яка ємність цього конденсатора?

15.13*. Який опір ділянки кола змінного струму із частотою 500 Гц, що складається з послідовно з'єднаних резистора з активним опором 15 Ом і котушки індуктивністю 50 мГн?

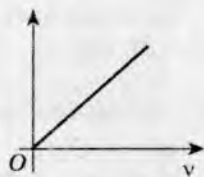
15.14*. До резистора з опором 108 Ом послідовно приєднали конденсатор ємністю 40 мкФ. Визначте опір цієї ділянки, якщо її підключити до мережі змінного струму стандартної частоти.

15.15*. Визначте опір ділянки кола змінного струму із частотою 1 кГц, що складається з послідовно з'єднаних конденсатора ємністю 0,1 мкФ і котушки індуктивністю 0,5 Гн.

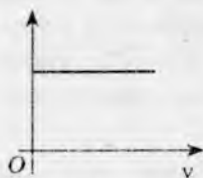
15.16. У якому з випадків, поданих на рисунку, графік відображає залежність: а) ємнісного опору; б) індуктивного опору; в) активного опору від частоти змінного струму?



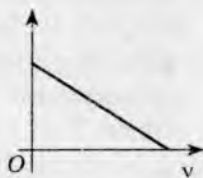
1



2



3



4

? 15.17. Які перетворення енергії відбуваються в індукційних генераторах?

? 15.18. Як зміниться напруга змінного струму, який генерується, якщо: а) частота обертання ротора генератора збільшиться в два рази; б) індукція магнітного поля збільшиться в три рази внаслідок заміни сталі в електромагніті ротора?

- 15.19*.** Визначте потужність змінного струму в ділянці кола, якщо сила струму в ній становить 2,5 А, напруга на ділянці 150 В, а різниця фаз між силою струму й напругою дорівнює $\frac{\pi}{4}$.
- ? 15.20.** У якому трансформаторі (підвищувальному чи понижувальному) кількість витків у первинній обмотці більша, ніж у вторинній?
- ? 15.21.** Ідеальний трансформатор підвищує напругу в чотири рази. У якій з котушок (первинній чи вторинній) сила струму більше й у скільки разів?
- 15.22*.** Який коефіцієнт трансформації має трансформатор, що підвищує напругу з 380 В до 1900 В?
- 15.23.** Напруга на виході трансформатора з коефіцієнтом трансформації 38 дорівнює 10 В. Визначте напругу, подану на первинну обмотку.
- 15.24.** Трансформатор підвищує напругу від 220 В до 380 В. Скільки витків має вторинна обмотка, якщо в первинній обмотці трансформатора 660 витків?
- 15.25.** Обмотки котушок понижувального трансформатора містять 150 і 60 витків проводу відповідно. Яку напругу знімають із вторинної обмотки, якщо трансформатор увімкнений у мережу з напругою 220 В?
- 15.26.** Первинна обмотка підвищувального трансформатора ввімкнена в мережу змінного струму з напругою 120 В. Напруга на вторинній обмотці 2400 В, а сила струму в ній 2 А. Визначте силу струму в первинному колі, а також вхідну й вихідну потужності, вважаючи, що втрат енергії в трансформаторі немає.
- 15.27.** Вхідна потужність трансформатора 1,1 кВт. Визначте силу струму у вторинній обмотці, якщо напруга на ній 400 В, а втратами енергії можна знехтувати.
- 15.28.** Сила струму в первинній обмотці понижувального трансформатора 0,6 А, а напруга на вхіді 120 В. Визначте ККД трансформатора, якщо напруга на вторинній обмотці 12 В, а сила струму в ній 4,8 А.

- 15.29. ККД трансформатора 95 %. Вхідна напруга 1500 В, сила струму в первинній обмотці трансформатора 4 А. Визначте силу струму у вторинній обмотці, якщо напруга на її клеммах 250 В.

2-й рівень складності

- 15.30. Рамка площею 200 см^2 , що складається з 100 витків проводу, обертається в однорідному магнітному полі з індукцією 10 мТл. Визначте максимальне значення ЕРС, що виникає в рамці, якщо вісь обертання перпендикулярна до ліній індукції. Період обертання 0,1 с.
- 15.31. Скільки витків проводу треба намотати на рамку площею 400 см^2 , що обертається зі швидкістю 300 об/хв в однорідному магнітному полі з індукцією 0,5 Тл, щоб максимальне значення ЕРС індукції дорівнювало 31,5 В?
- 15.32. Амплітуда змінного струму 100 мА, період коливань сили струму 4 с. Запишіть рівняння залежності сили струму від часу $i=i(t)$. Визначте силу струму при фазі $\pi/3$, а також у момент часу 0,25 с. Побудуйте графік коливань сили струму.
- 15.33. У колі змінного струму із частотою 2 кГц амплітудне значення напруги 100 В. Побудуйте графік коливань напруги. Через який мінімальний проміжок часу після нульового значення напруга дорівнюватиме 25 В?
- 15.34. Коливання напруги на конденсаторі в колі змінного струму виражене рівнянням $u = 25 \cos 20\pi t$ (В). Ємність конденсатора 4 нФ. Побудуйте графік коливань заряду на конденсаторі. Визначте заряд конденсатора через чверть періоду після початку коливань.
- 15.35. Миттєве значення сили струму при фазі $\pi/6$ дорівнює 6 А. Визначте амплітудне й діюче значення сили струму, якщо в момент початку спостереження сила струму дорівнює нулю.
- 15.36. Запишіть формулу, за якою можна розраховувати миттєве значення напруги в колі змінного струму із частотою 100 Гц, якщо вольтметр у цьому колі показує напругу 110 В.

15.37. У резисторі — постійний струм, сила якого 1 А, а в лампочці — змінний струм, діюче значення якого 1 А й частота 50 Гц. Який заряд переноситься через поперечний переріз кожного провідника за 1 хв?

15.38*. У коло змінного струму з напругою 220 В і частотою 50 Гц увімкнений конденсатор ємністю 15 мкФ. Визначте амплітудне значення сили струму.

15.39*. У коло змінного струму стандартної частоти 50 Гц увімкнений конденсатор. Діюче значення сили струму в колі 2,5 А, а діюче значення напруги 220 В. Яка ємність конденсатора?

15.40*. Сила струму на ділянці кола, що містить конденсатор ємністю 0,75 мкФ, змінюється з часом відповідно до рівняння $i = 0,15 \cos 100\pi t$ (А). На яку напругу має бути розрахований конденсатор, щоб не трапилося пробую?

15.41*. Ділянка кола змінного струму з частотою 75 Гц містить котушку індуктивністю 0,25 Гн. Яке максимальне значення напруги на кінцях котушки, якщо амплітудне значення сили струму в її обмотці дорівнює 2 А?

15.42*. Діючі значення напруги й сили струму в котушці індуктивності, відповідно, 127 В і 0,5 А. Визначте індуктивність котушки, якщо частота змінного струму становить 50 Гц.

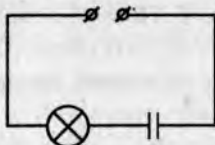
15.43*. Ділянка кола складається з послідовно з'єднаних котушки індуктивністю 0,51 Гн, конденсатора ємністю 2 мкФ і резистора опором 100 Ом. Визначте напругу на конденсаторі, якщо ділянка ввімкнена у мережу з напругою 220 В і частотою 50 Гц.

15.44*. У мережу змінного струму із частотою 50 Гц послідовно ввімкнений провідник з активним опором 15 Ом і котушка з індуктивністю 50 мГн. Визначте діючу напругу, якщо відомо, що амплітуда сили струму у колі дорівнює 7 А.

15.45*. Трансформатор живиться від мережі змінного струму із частотою 50 Гц і напругою 220 В. Сила струму холостого ходу в первинній обмотці 0,2 А. Визначте індуктивність цієї обмотки, якщо її активний опір 100 Ом.

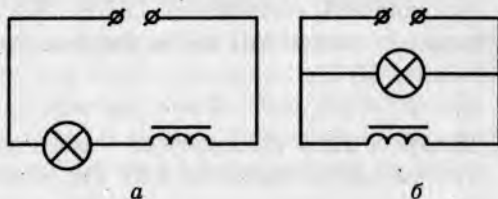
15.46*. На рисунку зображена схема ділянки кола змінного струму. Як зміниться яскравість світіння лампочки, якщо: а) зменшити відстань між пластинами конденсатора; б) увести між його обкладками промаслений папір; в) змістити одну пластину щодо іншої в паралельній площині?

15.47*. Як зміниться яскравість світіння лампочки (див. рисунок), якщо до даного конденсатора підключити ще один конденсатор: а) паралельно; б) послідовно?



До задач 15.46, 15.47

15.48*. На рисунку подані два способи вмикання лампочки розжарювання в коло змінного струму. Як буде змінюватися яскравість світіння лампочки при зміні частоти змінного струму? Напруга, яка подається, не змінюється.



? **15.49.** Електроплитка може працювати як на постійному, так і на змінному струмі. Чи однаковим буде розжарення спіралі електроплитки, якщо покази вольтметра в обох випадках однакові?

? **15.50.** Амплітудні значення змінного струму розрізняються в n разів ($I_{\max 2} = n I_{\max 1}$). Як відрізняються: а) їхні діючі значення; б) їхня теплова дія?

15.51. Електропіч із опором $R = 20$ Ом живиться від генератора змінного струму. За який час виділиться кількість теплоти $Q = 4$ МДж, якщо амплітудне значення сили струму 8 А?

15.52. Напруга в мережі змінюється за законом $u = 310 \cos 314t$ (В). Яка кількість теплоти виділиться за 2 хв в електроплитці з активним опором 100 Ом, якщо її ввімкнути в цю мережу?

15.53*. В електричному колі послідовно з'єднані конденсатор змінної ємності, котушка індуктивності й резистор. Як буде змінюватися амплітуда сили струму, якщо при незмінній амплітуді й частоті змінної напруги на кінцях кола зменшувати ємність конденсатора від нескінченності до нуля?

15.54*. В електричному колі послідовно з'єднані конденсатор змінної ємності, котушка індуктивності й резистор. Як буде змінюватися амплітуда сила струму, якщо за незмінної амплітуди й частоти змінної напруги на кінцях кола індуктивність конденсатора зменшувати від нескінченності до нуля?

15.55. При якій частоті змінного струму в колі, що містить конденсатор ємністю 90 нФ і котушку індуктивністю 0,25 Гн, виникне резонанс?

? 15.56. Чи доцільно для зменшення мерехтіння газорозрядних джерел світла переходити зі змінного струму, наприклад, із частотою 50 Гц на струм із частотою 200 Гц?

15.57. Частота змінного струму, який виробляє генератор, 300 Гц. З якою частотою (в об/хв) повинен обертатися ротор генератора такого струму, якщо він має: а) одну пару полюсів; б) 5 пар полюсів?

15.58. Дванадцятиполюсний ротор генератора змінного струму обертається із частотою 1200 об/хв. Визначте частоту струму, який виробляє генератор.

- 15.59. Індукція магнітного поля між полюсами двополюсного генератора 1 Тл. Обмотка ротора генератора має 100 витків проводу і обмежує площу 600 см^2 . З якою частотою обертається ротор генератора, якщо максимальне значення ЕРС індукції 200 В? Якою буде частота обертання ротора, якщо він матиме 8 полюсів?
- ? 15.60. Чи буде працювати трансформатор, якщо його первинну й вторинну обмотки розташувати на одному боці замкнутого осердя? Свою відповідь обґрунтуйте.
- ? 15.61. Чи може трансформатор: а) мати одну первинну обмотку й кілька вторинних; б) змінювати напругу постійного струму; в) підвищувати напругу одночасно зі збільшенням сили змінного струму?
- ? 15.62. Як зміниться вихідна напруга трансформатора при збільшенні: а) частоти струму в первинній обмотці; б) магнітної проникності матеріалу осердя?
- ? 15.63. Чому осердя трансформатора не роблять суцільним?
- ? 15.64. Навіщо в сплави, з яких виготовляють осердя електромагнітів, вводять домішки Кремнію?
- 15.65. При ввімкненні первинної обмотки трансформатора в мережу змінного струму на клеммах вторинної обмотки напруга стає 30 В. При ввімкненні в ту саму мережу вторинної обмотки на клеммах первинної виникає напруга 120 В. У якій обмотці й у скільки разів кількість витків є більшою?
- 15.66. Трансформатор з коефіцієнтом трансформації 5 знижує напругу від 1200 В до 220 В. При цьому у вторинній обмотці сила струму дорівнює 0,2 А. Визначте опір вторинної обмотки. (Втратами енергії в первинній обмотці знехтувати.)
- 15.67*. Первинна обмотка понижувального трансформатора ввімкнена в мережу з напругою 220 В. Напруга на застискачах вторинної обмотки 20 В, її опір 1 Ом, а сила струму в ній 2 А. Визначте коефіцієнт трансформації й ККД трансформатора.

15.68*. Визначте напругу на затискачах вторинної обмотки понижувального трансформатора й силу струму у вторинній обмотці, якщо трансформатор увімкнений у мережу з напругою 380 В. Відомо також, що опір вторинної обмотки 1,2 Ом, ККД трансформатора 94 %, а коефіцієнт трансформації становить 8.

15.69*. Трансформатор з коефіцієнтом трансформації 10 увімкнений у мережу змінного струму з напругою 120 В. Сила струму у вторинній обмотці 1 А, а її опір 1,5 Ом. Визначте напругу на затискачах вторинної обмотки, опір корисного навантаження, а також ККД трансформатора.

15.70*. На первинну обмотку трансформатора з коефіцієнтом трансформації 10 подана напруга 380 В. У коло вторинної обмотки з опором 0,8 Ом ввімкнене корисне навантаження, опір якого 6,8 Ом. Визначте напругу на виході трансформатора і його ККД.

3-й рівень складності

? 15.71. Яка різниця фаз між зміною магнітного потоку в генераторі змінного струму й напругою, що знімають з нього?

? 15.72*. З якою метою при виготовленні багатошарових котушок індуктивності послідовні шари укладають із максимальним схрещуванням, а не паралельно один одному?

? 15.73. Як за допомогою сильного магніту визначити, постійним чи змінним струмом живиться електрична лампочка?

15.74. Визначте час, протягом якого горить неоновна лампа кожні півперіода, якщо лампа спалахує і гасне при напрузі 77 В, а діюче значення напруги в колі змінного синусоїдального струму стандартної частоти дорівнює 110 В.

15.75. У мережу змінного струму з напругою 70 В і частотою 50 Гц ввімкнена неоновна лампа з напругою запалювання 85 В. Визначте кількість спалахів неонові лампи за 1 с.

15.76. Неонова лампа на 10 хв ввімкнена в мережу змінного струму з діючою напругою 110 В і частотою 60 Гц. Визначте час горіння лампи, якщо вона спалахує й гасне при напрузі 109 В.

? 15.77. Чому працюючий трансформатор гуде? Яка частота звуку, якщо трансформатор увімкнений у коло змінного струму стандартної частоти?

15.78*. Активний опір первинної обмотки трансформатора $R = 200$ Ом, а її індуктивний опір $X_L = 180$ Ом. Кількість витків проводу n у вторинній обмотці у 2 рази більша за кількість витків у первинній. На первинну обмотку подана змінна напруга $U_1 = 100$ В. Визначте напругу на виході трансформатора в режимі холостого ходу.

15.79. Споживачеві передається корисна потужність 200 кВт. Опір лінії електропередачі 5 Ом, напруга на шинах станції 2000 В. На скільки зміниться ККД електропередачі, якщо напругу на шинах електростанції збільшити в 2,5 рази, а передану споживачеві потужність залишити тою самою?

ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ КОЛИВАННЯ Й ХВИЛІ

16. ВІЛЬНІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ КОЛИВАННЯ. КОЛИВАЛЬНИЙ КОНТУР

Приклади розв'язування задач

Задача 1. Напруга на обкладках конденсатора в коливальному контурі змінюється з часом відповідно до рівняння $U = 155 \cos\left(10^5 \pi t - \frac{\pi}{2}\right)$ (В). Запишіть рівняння коливань сили струму в контурі, якщо відомо, що ємність конденсатора, уведеного в цей контур, 40 нФ.

Дано:	СІ	Розв'язання
$U = 155 \cos\left(10^5 \pi t - \frac{\pi}{2}\right)$ В	$C = 4,0 \cdot 10^{-8}$ Ф	За визначенням електричної ємності:
$C = 40$ нФ		$C = \frac{q}{U}.$
$i = i(t) - ?$		

Отже, миттєве значення заряду на обкладках конденсатора в коливальному контурі може бути отримане за формулою $q = Cu$, тобто $q = 6,2 \cdot 10^{-6} \cos\left(10^5 \pi t - \frac{\pi}{2}\right)$.

Сила струму, що є похідною заряду за часом, дорівнюватиме:

$$i = -6,2 \cdot 10^{-6} \cdot 10^5 \cdot 3,14 \sin\left(10^5 \pi t - \frac{\pi}{2}\right) = 1,95 \cos\left(10^5 \pi t - \frac{\pi}{2} + \frac{\pi}{2}\right) = 1,95 \cos 10^5 \pi t \text{ (А)}.$$

Відповідь: $i = 1,95 \cos 10^5 \pi t$ А.

Задача 2. Паралельно джерелу постійного струму ввімкнули конденсатор ємністю 20 мкФ і котушку індуктивністю 20 мГн. При цьому напруга на конденсаторі дорівнює 100 В, а сила струму в котушці – 2,0 А. Джерело струму відключили. Яким буде заряд на обкладках конденсатора в той момент, коли сила струму в контурі дорівнюватиме 1,0 А?

<i>Дано:</i>	CI	<i>Розв'язання</i>
$C = 20 \text{ мкФ}$	$C = 2,0 \cdot 10^{-5} \text{ Ф}$	Після відключення джерела
$L = 20 \text{ мГн}$	$L = 2,0 \cdot 10^{-2} \text{ Гн}$	струму в контурі виникнуть вільні
$U_1 = 100 \text{ В}$		електромагнітні коливання, про-
$I_1 = 2,0 \text{ А}$		тягом яких, відповідно до закону
$I_2 = 1,0 \text{ А}$		збереження енергії, сума енергії
$q_2 = ?$		електричного поля конденсатора
		й енергії магнітного поля котуш-
		ки зі струмом є незмінною, тобто
		$W_{\text{ел1}} + W_{\text{м1}} = W_{\text{ел2}} + W_{\text{м2}}, \quad (*)$

де $W_{\text{ел1}} = \frac{CU_1^2}{2}$, $W_{\text{ел2}} = \frac{q_2^2}{2C}$ — початкова й кінцева енергія електричного поля конденсатора, а $W_{\text{м1}} = \frac{LI_1^2}{2}$, $W_{\text{м2}} = \frac{LI_2^2}{2}$ — початкова й кінцева енергія магнітного поля котушки.

Підставляючи ці вирази в формулу (*), одержимо рівняння:

$$\frac{CU_1^2}{2} + \frac{LI_1^2}{2} = \frac{q_2^2}{2C} + \frac{LI_2^2}{2},$$

$$\text{звідки } q_2 = \sqrt{C(CU_1^2 + L(I_1^2 - I_2^2))}.$$

Визначимо значення шуканої величини:

$$\begin{aligned} [q_2] &= \sqrt{\text{Ф}(\text{Ф} \cdot \text{В}^2 + \text{Гн}(\text{А}^2 - \text{А}^2))} = \sqrt{\frac{\text{Кл}}{\text{В}} \left(\frac{\text{Кл}}{\text{В}} \cdot \text{В}^2 + \frac{\text{В} \cdot \text{с}}{\text{А}} \text{А}^2 \right)} = \\ &= \sqrt{\frac{\text{Кл}}{\text{В}} \cdot \text{Кл} \cdot \text{В}} = \text{Кл}. \end{aligned}$$

$$\{q_2\} = \sqrt{2 \cdot 10^{-5} (2 \cdot 10^{-5} \cdot 10^4 + 2 \cdot 10^{-2} (2^2 - 1^2))} = 2,3 \cdot 10^{-3};$$

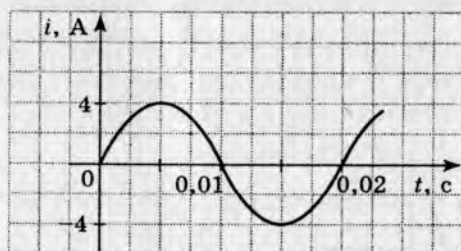
$$q_2 = 2,3 \cdot 10^{-3} \text{ Кл} = 2,3 \text{ мКл}.$$

Відповідь: заряд на обкладках конденсатора $q_2 = 2,3 \text{ мКл}$.

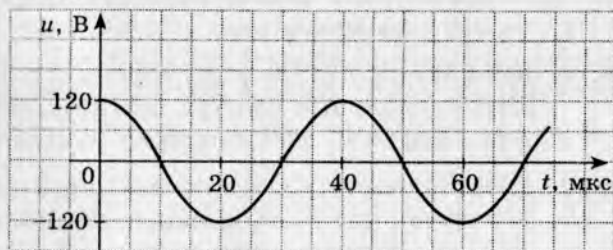
1-й рівень складності

16.1. Серед наведених коливальних систем виберіть ті, у яких можуть існувати вільні електромагнітні коливання: а) нитковий маятник; б) ідеальний коливальний контур; в) пружинний маятник; г) відкритий коливальний контур?

16.2. За наведеним на рисунку графіком залежності сили струму в котушці коливального контуру від часу визначте амплітуду, період і частоту коливань сили струму в цьому контурі.



16.3. За наведеним на рисунку графіком коливань напруги на обкладках конденсатора коливального контуру визначте амплітуду, період і частоту коливань струму в цьому контурі.



16.4. Ємність конденсатора у коливальному контурі зменшили в два рази, а індуктивність котушки збільшили в чотири рази. У скільки разів при цьому змінився період вільних електромагнітних коливань у контурі?

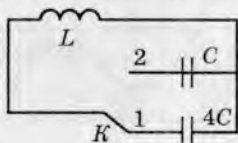
16.5. Як зміниться період вільних електромагнітних коливань у коливальному контурі, якщо ємність конденсатора збільшити в 9 разів, а індуктивність котушки зменшити в 16 разів?

16.6. Як зміниться власна частота вільних електромагнітних коливань у коливальному контурі, якщо і ємність конденсатора й індуктивність котушки збільшити в два рази?

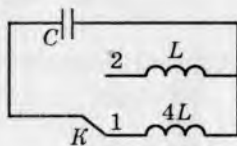
16.7. У скільки разів зміниться власна частота вільних електромагнітних коливань у коливальному контурі, якщо ємність конденсатора буде збільшена в 25 разів, а індуктивність зменшена в 36 разів?

16.8. Як зміниться власна частота вільних електромагнітних коливань у контурі (див. рисунок), якщо ключ K перевести з положення 1 у положення 2?

16.9. Як зміниться період вільних електромагнітних коливань у контурі (див. рисунок), якщо ключ K перевести з положення 1 у положення 2?



До задачі 16.8



До задачі 16.9

16.10. Коливальний контур складається з конденсатора ємністю $1,2 \text{ мкФ}$ і котушки з індуктивністю 42 мГн . Визначте період і частоту вільних електромагнітних коливань у цьому контурі.

16.11. Визначте період і циклічну частоту вільних електромагнітних коливань у контурі, що складається з конденсатора ємністю 17 пФ і котушки індуктивністю $4,5 \text{ мкГн}$.

16.12. Визначте частоту вільних електромагнітних коливань у контурі, що складається з конденсатора ємністю $13,4 \text{ пФ}$ і котушки індуктивністю 3 мГн .

16.13. Визначте частоту вільних електромагнітних коливань у коливальному контурі, у якому послідовно з'єднані конденсатор ємністю 8 нФ і котушка індуктивністю 37 мкГн ?

16.14. Коливальний контур складається з конденсатора ємністю 45 нФ і котушки з індуктивністю 8 мкГн . Визначте циклічну частоту й період вільних електромагнітних коливань у цьому контурі.

16.15. Визначте циклічну частоту вільних електромагнітних коливань у коливальному контурі, що складається з котушки індуктивністю $1,8 \text{ мГн}$ і конденсатора ємністю 22 мкФ .

16.16. Сила струму в коливальному контурі змінюється з часом відповідно до рівняння $i = 2,5 \sin 50\pi t \text{ А}$. Визначте амплітудне значення сили струму, власну частоту й період вільних електромагнітних коливань у цьому контурі.

16.17. Заряд на обкладках конденсатора в коливальному контурі змінюється з часом відповідно до рівняння $q = 0,5 \cdot 10^{-6} \cos(2\pi \cdot 10^3 t + 0,785)$ (Кл). Визначте максимальний заряд на обкладках конденсатора, а також період і частоту коливань у контурі.

16.18. Конденсатору ємністю 10 нФ у коливальному контурі надали заряд 10 мкКл , після чого в контурі виникли загасаючі електромагнітні коливання. Яка кількість теплоти виділиться в коливальному контурі до моменту, коли коливання повністю загаснуть?

16.19. Конденсатор ємністю 16 нФ зарядили до напруги 50 В і з'єднали послідовно з котушкою індуктивності. У контурі виникли загасаючі електромагнітні коливання. Яка кількість теплоти виділиться в коливальному контурі на той момент, коли коливання повністю загаснуть?

2-й рівень складності

? 16.20. Через півперіод знаки зарядів на обкладках конденсатора змінюються на протилежні. Чи означає це, що ті самі електрони, які спочатку були на одній обкладці, через півперіод виявляться на іншій?

? 16.21. Як зміняться період вільних електромагнітних коливань у контурі й амплітудне значення сили струму в ньому, якщо початковий заряд на обкладках конденсатора збільшити в n разів?

- 16.22.** Як зміниться: а) період вільних електромагнітних коливань у контурі; б) амплітудне значення сили струму в ньому; в) енергія коливань, якщо початкову напруженість електричного поля в конденсаторі збільшити в 1,5 разу?
- 16.23.** Чи існують які-небудь обмеження для максимального значення початкової енергії в коливальному контурі?
- 16.24.** Яку ємність C повинен мати конденсатор у коливальному контурі, що містить, крім того, котушку індуктивністю 25 мГн, якщо період вільних електромагнітних коливань у цьому контурі 2 мкс?
- 16.25.** Коливальний контур містить котушку з індуктивністю 2 мГн. Яку ємність повинен мати конденсатор у цьому контурі, щоб період електромагнітних коливань у ньому дорівнював 2,5 мс?
- 16.26.** У коливальний контур увімкнений конденсатор ємністю $C=0,2$ мкФ. Яку індуктивність потрібно включити в контур, щоб у ньому виникли вільні електромагнітні коливання звукової частоти ($\nu=700$ Гц)?
- 16.27.** Котушку якої індуктивності слід ввести в коливальний контур, щоб при ємності конденсатора 40 нФ частота електромагнітних коливань склала 200 кГц?
- 16.28.** У процесі вільних електромагнітних коливань у коливальному контурі заряд на обкладках конденсатора із часом змінюється згідно з даними, наведеними у таблиці. Обчисліть індуктивність котушки, якщо ємність конденсатора дорівнює 10 пФ. Запишіть рівняння коливань заряду.

t , мкс	0	2	4	6	8	10	12	14	16	18
q , нКл	0	2,12	3	2,12	0	-2,12	-3	-2,12	0	2,12

- 16.29.** Дані таблиці показують, як змінюється заряд конденсатора в коливальному контурі із часом у процесі вільних електромагнітних коливань. Визначте енергію магнітного поля котушки в момент часу 5 мкс, якщо ємність конденсатора дорівнює 50 пФ.

t , мкс	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
q , нКл	2	1,42	0	-1,42	-2	-1,42	0	1,42	2	1,42

16.30. Циклічна частота електромагнітних коливань у контурі дорівнює $45 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$. Визначте ємність конденсатора, ввімкненого в цей контур, якщо індуктивність котушки дорівнює 8 мГн .

16.31. Яка індуктивність котушки, що входить у коливальний контур, якщо відомо, що ємність конденсатора 200 пФ , а циклічна частота електромагнітних коливань у контурі $5 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$?

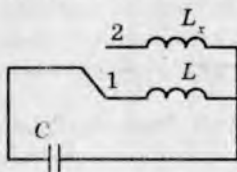
16.32. Частота вільних електромагнітних коливань у коливальному контурі 20 МГц . Визначте частоту коливань у контурі, якщо конденсатор ємністю 1 мкФ замінити конденсатором, ємність якого 4 мкФ .

16.33. Визначте період вільних електромагнітних коливань у коливальному контурі, що складається з котушки індуктивністю 15 мкГн і плоского конденсатора, дві пластини якого площею 48 см^2 кожна розташовані на відстані 1 см , а простір між ними заповнено парафіном.

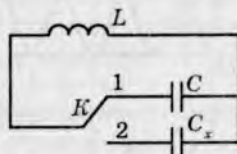
16.34. Коливальний контур складається з котушки індуктивністю 2 мГн і повітряного конденсатора, що складається із двох круглих пластин діаметром 20 см , розташованих на відстані 8 мм одна від одної. Визначте період вільних електромагнітних коливань у цьому контурі.

16.35. Якою має бути індуктивність L_x котушки в коливальному контурі (див. рисунок), щоб при переведенні ключа з положення 1 у положення 2 період вільних електромагнітних коливань зменшився в $\sqrt{3}$ разу?

16.36. Якою має бути ємність C_x конденсатора в коливальному контурі (див. рисунок), щоб при переведенні ключа з положення 1 у положення 2 період вільних електромагнітних коливань збільшився в три рази?



До задачі 16.35



До задачі 16.36

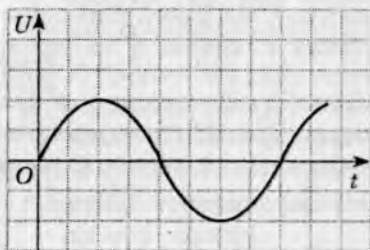
16.37. До конденсатора, що входить у коливальний контур, паралельно підключають такий самий конденсатор. Як при цьому зміниться період електромагнітних коливань у контурі?

16.38. До конденсатора, що входить у коливальний контур, послідовно підключають такий самий конденсатор. Як при цьому зміниться період електромагнітних коливань у контурі?

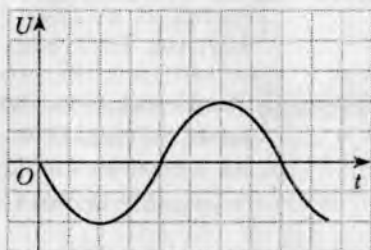
16.39. У коливальний контур паралельно конденсатору вмикають інший конденсатор, ємність якого в три рази більша за ємність першого, після чого частота електромагнітних коливань у контурі зменшилася на $\Delta\nu = 300$ Гц. Визначте початкову частоту коливань у контурі.

16.40. У коливальний контур послідовно з конденсатором вмикають ще один конденсатор, ємність якого в чотири рази менша, ніж у першого. У результаті частота коливань у контурі стала 8 МГц. На скільки змінилася частота електромагнітних коливань?

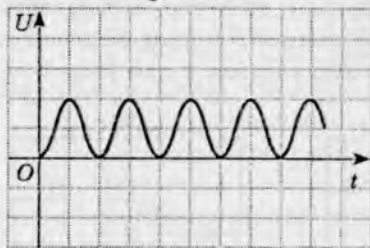
16.41. Сила струму в коливальному контурі змінюється за синусоїдальним законом. Який із графіків (див. рисунок) відповідає характеру змін напруги на обкладках конденсатора?



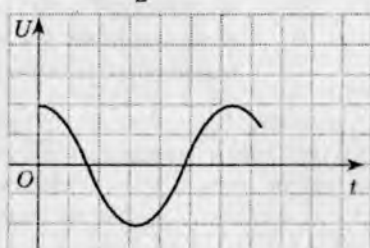
1



2



3



4

До задач 16.41, 16.42

- 16.42. Заряд на обкладках конденсатора в коливальному контурі змінюється за законом косинуса. Який із графіків (див. рисунок) відповідає характеру змін напруги на обкладках цього конденсатора?
- 16.43. Амплітудне значення сили струму дорівнює 40 мА, а частота 1 кГц. Визначте миттєве значення сили струму через 0,1 мс від його нульового значення.
- 16.44. Період коливань напруги на обкладках конденсатора в коливальному контурі, що змінюється за законом косинуса, дорівнює 4 мкс. Яким буде напруга через 33 мкс від початку коливань?
- 16.45. Заряд на пластинах конденсатора коливального контуру змінюється із часом відповідно до рівняння $q = 10^{-6} \cos 10^4 \pi t$ (Кл). Який вигляд має в цьому випадку залежність сили струму від часу $i = i(t)$?
- 16.46. Яким буде максимальне значення сили струму в коливальному контурі, якщо рівняння коливань заряду в ньому має вигляд: $q = 0,002 \sin 10^4 \pi t$ (Кл)? Запишіть рівняння коливань сили струму в цьому контурі.
- 16.47. Напруга на пластинах конденсатора коливального контуру змінюється з часом відповідно до рівняння $u = 70 \cos 10^4 \pi t$ (В). Ємність конденсатора 0,02 мкФ. Визначте амплітудне значення заряду конденсатора, період і частоту електромагнітних коливань у цьому контурі. Як змінюється заряд конденсатора в процесі вільних електромагнітних коливань?
- 16.48. Напруга на обкладках конденсатора ємністю 30 нФ у коливальному контурі змінюється відповідно до рівняння $u = 50 \cos 10^5 \pi t$ (В). Визначте максимальний заряд на обкладках конденсатора й частоту електромагнітних коливань у контурі, а також заряд конденсатора через третину періоду після початку коливань.
- 16.49. Доведіть, що період електромагнітних коливань у коливальному контурі визначається відношенням максимального заряду на конденсаторі до максимальної сили струму в котушці індуктивності.

16.50. У коливальному контурі відбуваються вільні гармонічні коливання. Знаючи, що максимальний заряд конденсатора 1 мкКл , а максимальна сила струму в котушці 10 А , визначте власну частоту коливань у контурі.

16.51. Електромагнітні коливання в коливальному контурі відбуваються з періодом $3,5 \text{ мкс}$. Визначте амплітудне значення сили струму в цьому контурі, якщо відомо, що початковий заряд конденсатора дорівнював 7 нФ . Запишіть рівняння коливань сили струму в контурі.

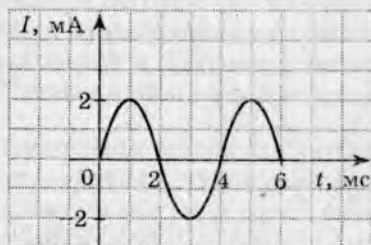
16.52. Струм у котушці коливального контуру при вільних електромагнітних коливаннях змінюється за законом $i = 0,2 \sin 10^2 t$, де всі величини задані в СІ. Ємність конденсатора 1 мкФ . Визначте максимальну енергію електричного поля конденсатора.

16.53. Заряд на обкладках конденсатора коливального контуру змінюється відповідно до рівняння $q = 13 \cdot 10^{-9} \cos 10^7 t$ (Кл). Визначте максимальну енергію магнітного поля котушки індуктивністю 3 мГн , ввімкненої в цей контур.

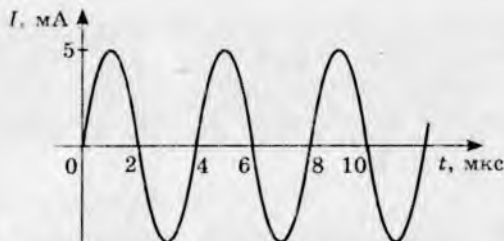
16.54. Індуктивність котушки коливального контуру дорівнює $0,2 \text{ Гн}$, а амплітуда сили струму — 40 мА . Знайдіть енергію електричного поля конденсатора й енергію магнітного поля котушки в той момент, коли сила струму буде в два рази менша за її максимальне значення.

16.55. Ємність конденсатора коливального контуру $0,2 \text{ мкФ}$, а амплітуда коливань напруги 40 В . Знайдіть енергію електричного поля конденсатора й магнітного поля котушки в той момент, коли напруга на пластинах конденсатора буде в чотири рази менша її максимального значення.

16.56. На рисунку наведений графік залежності сили електричного струму від часу в коливальному контурі. Чому дорівнює період коливань енергії магнітного поля котушки?

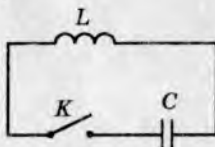


- 16.57.** За графіком залежності сили електричного струму в коливальному контурі від часу (див. рисунок) визначте період коливань енергії електричного поля в конденсаторі.



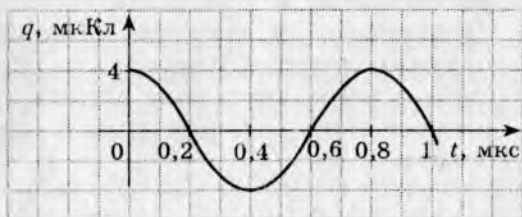
- 16.58.** Через який мінімальний проміжок часу після замикання ключа K (див. рисунок) енергія магнітного поля стане максимальною?

- 16.59.** Через який мінімальний проміжок часу після замикання ключа K (див. рисунок) енергія магнітного поля дорівнюватиме нулю?



До задач 16.58, 16.59

- 16.60.** За графіком залежності заряду на пластинах конденсатора в коливальному контурі від часу визначте, у які моменти часу енергія магнітного поля максимальна.



- 16.61.** Індуктивність коливального контуру 5 мГн, електроємність 8 пФ, а його активний опір дуже малий. Визначте максимальну напругу на обкладках конденсатора, якщо максимальна сила струму в контурі 40 мА.

16.62. Коливальний контур складається з конденсатора ємністю 400 пФ і котушки з індуктивністю 10 мГн . Визначте амплітудну напругу на обкладках конденсатора, якщо амплітуда сили струму в контурі $0,1 \text{ А}$.

16.63. Коливальний контур складається з конденсатора ємністю 20 мкФ і котушки з індуктивністю 5 мГн . Визначте максимальну силу струму в контурі, якщо максимальна напруга на обкладках конденсатора 12 В .

16.64. Коливальний контур складається з конденсатора ємністю 200 пФ і котушки з індуктивністю 40 мкГн . Конденсатор зарядили до напруги 150 В . Визначте силу струму в контурі в той момент, коли напруга на обкладках конденсатора дорівнює 50 В .

16.65. У коливальному контурі, в якому індуктивність котушки дорівнює 200 мкГн , а ємність конденсатора 25 нФ , амплітудне значення сили струму становить $0,4 \text{ А}$. Визначте напругу на обкладках конденсатора, коли сила струму в контурі зменшилася до $0,2 \text{ А}$.

16.66. У коливальному контурі ємністю 250 пФ та індуктивністю $2,5 \text{ мкГн}$ максимальна сила струму дорівнює $1,5 \text{ А}$. Який максимальний заряд на обкладках конденсатора? Запишіть рівняння коливань заряду.

16.67. Коливальний контур складається з конденсатора ємністю $2,5 \text{ мкФ}$ і котушки індуктивністю $0,3 \text{ мГн}$. Конденсатору надали заряд 44 мкКл . Визначте силу струму в котушці й напругу на обкладках конденсатора в той момент, коли енергія електричного поля конденсатора дорівнює енергії магнітного поля котушки.

16.68. Амплітуда коливань сили струму в коливальному контурі 104 мА , амплітуда напруги 280 В . Визначте силу струму й напругу в той момент, коли енергія магнітного поля котушки дорівнює енергії електричного поля конденсатора.

16.69. Сила струму в коливальному контурі змінюється відповідно до рівняння $i = 0,2 \cos 2 \cdot 10^3 t$, де всі величини дані в СІ. Індуктивність котушки дорівнює 125 мГн. Визначте амплітудне значення напруги на конденсаторі.

16.70. Сила струму в коливальному контурі змінюється відповідно до рівняння $i = 0,2 \cos 12,5 t$, де всі величини дані в СІ. Ємність конденсатора дорівнює 16 мкФ. Визначте амплітудне значення напруги на конденсаторі.

3-й рівень складності

16.71. Коливальний контур складається із плоского повітряного конденсатора ємністю C і котушки індуктивністю L . У скільки разів зміниться період коливань, якщо: а) простір між пластинами конденсатора заповнять діелектриком з діелектричною проникністю $\epsilon = 9$; б) зменшити площу пластин в чотири рази; в) відстань між пластинами зменшити в 6,25 рази?

16.72. Період вільних електромагнітних коливань у контурі, що складається з котушки індуктивністю 40 мГн і плоского конденсатора, площа кожної пластини якого 25 см^2 , дорівнює 5 мкс. Визначте товщину шару слюди, що заповнює простір між обкладками конденсатора.

16.73. Визначте діелектричну проникність діелектрика товщиною 0,6 мм, що заповнює простір між обкладками плоского конденсатора із площею кожної пластини 40 см^2 , увімкненого в коливальний контур з котушкою індуктивністю 15 мкГн. Період коливань у контурі 0,3 мкс.

16.74. На скільки змінилася ємність конденсатора, якщо при збільшенні індуктивності котушки в 3,2 рази період коливань збільшився в два рази? Початкова ємність конденсатора дорівнювала 200 нФ.

16.75. У результаті збільшення ємності конденсатора в коливальному контурі в три рази й деякої зміни індуктивності котушки період електромагнітних коливань у цьому контурі зменшився в 1,2 рази. На скільки змінилася індуктивність котушки, якщо спочатку вона дорівнювала 0,5 мГн?

16.76. Коливальний контур складається із плоского конденсатора й котушки індуктивності. Власна частота коливального контуру 30 кГц. Якою буде його власна частота, якщо відстань між пластинами плоского конденсатора збільшити в 1,44 рази?

16.77. Як змінилася відстань між пластинами плоского повітряного конденсатора, послідовно з'єданого з котушкою індуктивності, якщо частота електромагнітних коливань у цьому коливальному контурі змінилася від 2 МГц до 3,6 МГц?

16.78. На скільки змінилася частота електромагнітних коливань у коливальному контурі, що складається з котушки індуктивності й плоского повітряного конденсатора, після того як простір між обкладками конденсатора заповнили олією? Спочатку частота коливань дорівнювала 4 МГц.

16.79. Заряджений конденсатор ємністю 0,2 мкФ послідовно з'єднали з котушкою індуктивністю 8 мГн. Через який проміжок часу від початку вільних електромагнітних коливань у контурі енергія електричного поля конденсатора дорівнюватиме енергії магнітного поля котушки?

17. ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ХВИЛІ

Приклад розв'язування задачі

Задача. Коливальний контур генератора, що складається з котушки індуктивності й конденсатора ємністю C_1 , випромінює електромагнітну хвилю довжиною 30 м. Якщо паралельно першому конденсатору ввімкнути ще один конденсатор ємністю 3 нФ, то довжина випромінюваної хвилі дорівнюватиме 60 м. Визначте ємність C_1 .

Дано:

$$\lambda_1 = 30 \text{ м}$$

$$\lambda_2 = 60 \text{ м}$$

$$C_2 = 3 \text{ нФ}$$

$$c = 3 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

$$C_1 = ?$$

Розв'язання

Швидкість електромагнітної хвилі може

бути визначена за формулою $c = \frac{\lambda}{T}$, звідки $\lambda = cT$.

Період коливань у цій хвилі визначається періодом коливань у контурі генератора, який, у свою чергу, розраховується за формулою Том-

$$\text{сона: } T = 2\pi\sqrt{LC}.$$

Таким чином, після підстановки одержуємо формулу для визначення довжини електромагнітної хвилі, що генерується: $\lambda = 2\pi\sqrt{LC}$.

Тоді в першому випадку $\lambda_1 = 2\pi\sqrt{LC_1}$, а в другому, з урахуванням, що ємність двох паралельно з'єднаних конденсаторів дорівнює сумі їх ємностей, $\lambda_2 = 2\pi\sqrt{L(C_1 + C_2)}$, одержуємо систему

$$\text{рівнянь} \quad \begin{cases} \lambda_1 = 2\pi\sqrt{LC_1}, \\ \lambda_2 = 2\pi\sqrt{L(C_1 + C_2)}. \end{cases}$$

Розділимо перше рівняння на друге й піднесемо кожне з них до квадрату. Одержимо:

$$\left(\frac{\lambda_1}{\lambda_2}\right)^2 = \frac{C_1}{C_1 + C_2} \quad \text{або} \quad \lambda_1^2 C_1 + \lambda_1^2 C_2 = \lambda_2^2 C_1, \quad \text{звідки} \quad C_1 = \frac{\lambda_1^2 C_2}{\lambda_2^2 - \lambda_1^2}.$$

Визначимо значення шуканої величини:

$$[C_1] = \frac{m^2 \cdot n\Phi}{m^2 - m^2} = \frac{m^2 \cdot n\Phi}{m^2} = n\Phi;$$

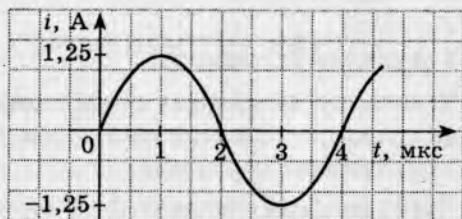
$$\{C_1\} = \frac{30^2 \cdot 3}{60^2 - 30^2} = 1; \quad C_1 = 1 \text{ нФ}.$$

Відповідь: ємність конденсатора $C_1 = 1 \text{ нФ}$.

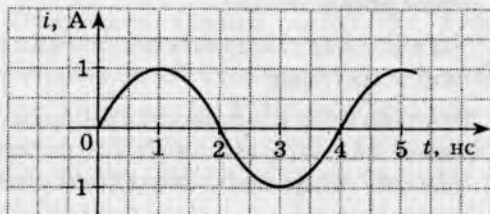
1-й рівень складності

- ? 17.1. У випадку якого руху — рівномірного або рівноприскореного — електричний заряд буде випромінювати електромагнітні хвилі?
- ? 17.2. Які коливання відбуваються в середовищі у випадку поширення в ньому електромагнітних хвиль?
- ? 17.3. Чи залежить швидкість поширення електромагнітних хвиль у вакуумі від: а) частоти коливань; б) напрямку поширення хвиль?
- ? 17.4. Чи однакова швидкість поширення радіосигналів на Місяці й на Землі?
- ? 17.5. Завдяки якій властивості електромагнітних хвиль можливий радіозв'язок на коротких хвилях між радіоапаратами, якщо вони знаходяться на протилежних півкулях Землі?

- 17.6.** Чому в горах утруднений радіозв'язок на коротких хвилях?
- 17.7.** У якому діапазоні радіохвиль можна вести з поверхні Землі космічну радіолокацію?
- 17.8.** На яких частотах може здійснюватися радіозв'язок на поверхні Місяця?
- 17.9.** Телемовлення ведеться в дециметровому діапазоні. Визначте довжину випромінюваної електромагнітної хвилі, якщо її частота дорівнює 2,5 ГГц.
- 17.10.** Радіостанція веде передачі на частоті 75 МГц. На яку довжину хвилі повинен бути налаштований радіоприймач?
- 17.11.** Радіослухач налаштував свій радіоприймач на хвилю довжиною 150 м. На якій частоті станція веде радіомовлення?
- 17.12.** На якій частоті судна передають сигнал небезпеки SOS, якщо за міжнародною згодою довжина цієї радіохвилі має дорівнювати 600 м?
- 17.13.** Визначте довжину випромінюваної електромагнітної хвилі, якщо зміна сили струму в антені передавача відбувається, як показано на графіку (див. рисунок).



- 17.14.** На рисунку наведений графік коливань сили струму в коливальному контурі генератора радіопередавача. На якій довжині хвилі можна приймати його передачі?



17.15. Через який проміжок часу на Землі прийняли сигнал, переданий міжпланетним кораблем, що перебував на орбіті Юпітера? Відстань між планетами прийміть за 630 млн км.

17.16. Через який мінімальний проміжок часу можна одержати відповідь на питання ЦУПу від екіпажа космічного корабля, що проводить дослідження на поверхні Місяця?

17.17. Радіосигнал, відправлений на планету Венера, повернувся після відбиття від її поверхні через 5 хв. Якою була відстань від Землі до Венери в момент радіолокації?

2-й рівень складності

17.18. Коливання напруженості електричного поля в електромагнітній хвилі виражені рівнянням $E = 10 \sin(\pi \cdot 10^8 t + \pi)$ (В/м). Визначте частоту хвилі.

17.19. Як зміниться напруженість електричного поля випромінюваної зарядом хвилі, якщо прискорення заряду збільшиться в п'ять разів?

? **17.20.** Чи випромінює електромагнітну хвилю заряд, який рухається в даній системі відліку рівномірно прямолінійно?

? **17.21.** У якому напрямку вібратор Герца не випромінює хвилі?

? **17.22.** Передавальні й приймальні вібратори розташовані взаємно перпендикулярно. Чи виникнуть коливання в приймальному вібраторі?

? **17.23.** З випромінюючою антеною з'єднують коливальний контур генератора електромагнітних коливань. Чому в цьому випадку не використовують багатополосні генератори з обертовими частинами?

? **17.24.** Чому під час грози радіоперешкоди виникають, по суті, незалежно від того, на яку довжину хвилі налаштований приймач?

17.25. Амплітуда напруженості електромагнітного поля $3 \cdot 10^{-5}$ В/м. Активна висота приймальної антени 3 м. Визначте амплітуду наведеної ЕРС.

17.26. Як зміниться частота радіохвилі, на яку налаштований коливальний контур радіоприймача, якщо ємність конденсатора збільшити в 1,21 разу?

17.27. Індуктивність коливального контуру радіопередавача зменшили в дев'ять разів. Як змінилася довжина випромінюваної ним радіохвилі?

17.28. В антені радіоприймача сила струму змінюється за законом синуса $i = 0,2 \sin(6 \cdot 10^5 \pi t)$, де всі величини дані в СІ. Визначте, на яку довжину хвилі налаштований радіоприймач.

17.29. Рівняння коливань сили струму в антені передавача має вигляд $i = 0,3 \sin 15,7 \cdot 10^9 t$ (А). На якій довжині хвилі ведеться передача?

17.30. На яку довжину хвилі налаштований радіоприймач, якщо його коливальний контур має індуктивність 2 мГн і ємність 2 нФ?

17.31. У якому діапазоні радіохвиль працює радіоприймач, якщо індуктивність вхідного коливального контуру 25 мкГн, а ємність змінного конденсатора в цьому контурі може змінюватися від 25 пФ до 250 нФ?

17.32. Радіоприймач налаштований на довжину хвилі 1300 м. Визначте індуктивність котушки коливального контуру радіоприймача, якщо ємність конденсатора дорівнює 105 пФ.

17.33. Коливальний контур генератора радіохвиль містить котушку індуктивністю 48 мкГн. Яку індуктивність повинна мати котушка в цьому контурі, щоб радіостанція, що працює на хвилі довжиною 200 м, перейшла на хвилю довжиною 58 м?

17.34. Радіопередавач працює на хвилі довжиною 24 см. При цьому коливальний контур генератора має ємність 12 пФ. На скільки треба змінити ємність конденсатора в контурі, щоб передачі велися на довжині хвилі 56 см?

17.35. Індуктивність вхідного коливального контуру радіоприймача дорівнює 800 мкГн. На скільки її потрібно змінити, щоб радіоприймач, налаштований на радіохвилю довжиною 400 м, перейшов на прийом радіостанції, що веде передачі на хвилі довжиною 180 м?

17.36. Скільки коливань відбувається в електромагнітній хвилі довжиною 70 см протягом одного періоду звукових коливань з частотою 1500 Гц?

17.37. Протягом одного періоду звукових коливань частотою 160 Гц в електромагнітній хвилі відбувається $2,5 \cdot 10^5$ коливань. Визначте довжину цієї хвилі.

17.38. Тривалість імпульсів, випромінюваних радіолокатором, 8 мкс. На якій мінімальній відстані може виявити ціль цей локатор?

17.39. Яка тривалість високочастотних імпульсів радіолокатора, якщо мінімальна дальність виявлення ним цілей 1,8 км?

17.40. Радіолокатор випромінює імпульси з періодичністю 0,3 мс. На якій максимальній відстані може виявити ціль цей локатор?

17.41. Яка глибина розвідки радіолокатора, що випромінює щосекунди 1200 імпульсів?

17.42. Радіолокатор працює на хвилі 25 см і дає 3000 імпульсів щосекунди. Тривалість кожного імпульсу 2 мкс. Скільки коливань міститься в кожному імпульсі і яка глибина розвідки цього локатора?

17.43. Радіолокатор веде розвідку на глибині 30 км, випромінюючи високочастотні імпульси тривалістю 200 нс на хвилі довжиною 20 см. Скільки коливань міститься в кожному імпульсі? Визначте також частоту випромінювання імпульсів.

3-й рівень складності

17.44. Як зміниться інтенсивність випромінюваних електромагнітних хвиль, якщо при незмінній амплітуді частота коливань електрона збільшиться в n разів?

17.45. Яка причина відбиття електромагнітних хвиль від плоскої поверхні провідника?

- ? 17.46*. Чи може відбивати електромагнітні хвилі дротяна сітка із квадратними вічками?
- ? 17.47*. Електромагнітна хвиля з вакууму потрапляє в діелектрик з діелектричною проникністю ϵ . Які характеристики хвилі зміняться при цьому і як?
- ? 17.48. Чому ослаблюється випромінювання електромагнітних хвиль незаземленою антеною у порівнянні з антеною, що є у два рази коротшою?
- ? 17.49*. Чому взимку й уночі радіоприйом ведеться краще, ніж улітку й удень?
- 17.50. Вхідний коливальний контур радіоприймача складається з котушки індуктивністю 10 мГн і плоского конденсатора із площею обкладок 5 см^2 , розділених парафіновим папером ($\epsilon = 2,2$) завтовшки $0,1 \text{ мм}$. На яку довжину хвилі налаштований радіоприймач?
- 17.51. Яку індуктивність повинна мати котушка у вхідному коливальному контурі приймача, налаштованого на прийом радіохвилі довжиною 1400 м ? Контур містить також плоский конденсатор із площею пластин 100 см^2 , зазор між якими заповнено слюдою. Ширина зазору 1 мм .
- 17.52. Котушка індуктивністю 60 мкГн з'єднана з конденсатором, площа пластин якого 100 см^2 , а відстань між ними $0,2 \text{ мм}$. Контур налаштований на прийом радіохвилі довжиною 750 м . Визначте діелектричну проникність речовини між пластинами конденсатора.
- 17.53. Площа пластин конденсатора вхідного коливального контуру радіоприймача дорівнює 120 см^2 , якщо радіоприймач налаштований на хвилю довжиною 57 м . Якою повинна стати площа пластин конденсатора, щоб перейти на прийом радіостанції, яка веде передачі на хвилі довжиною 76 м ?

17.54. На скільки необхідно змінити площу пластин конденсатора вхідного коливального контуру радіоприймача, щоб вести прийом на хвилі довжиною 80 м? Спочатку прийом здійснювався на хвилі довжиною 140 м при площі пластин конденсатора 90 см^2 .

17.55. Як треба змінити товщину діелектрика в конденсаторі вхідного коливального контуру радіоприймача, щоб змінити довжину хвилі, на якій ведеться прийом, з 46 м на 138 м?

17.56. Радіоприймач налаштований на хвилю довжиною 45 м. Після зміни ширини зазору між пластинами повітряного конденсатора на 1 мм довжина хвилі, на яку налаштований радіоприймач, дорівнює 25 м. Яким був початковий зазор між пластинами конденсатора?

17.57. Висота однієї з найвищих антен телецентру в Останкіно дорівнює 540 м. На якій максимальній відстані від телецентру можна приймати його передачі, якщо висота приймальної антени 15 м?

17.58. Висота випромінюючої антени телецентру над поверхнею Землі 300 м. Максимальна відстань, на якій ведеться прийом, дорівнює 73 км. Яка висота приймальної антени?

18. ГЕОМЕТРИЧНА ОПТИКА

Приклади розв'язування задач

Задача 1. Промінь світла падає під кутом 70° з повітря на поверхню деякого прозорого середовища. Заломлений промінь змістився на 20° щодо свого початкового напрямку. Визначте швидкість поширення світла в другому середовищі.

Дано:

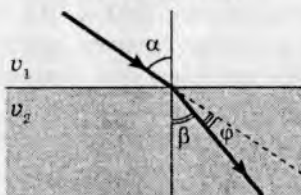
$$\alpha = 70^\circ$$

$$\varphi = 20^\circ$$

$$v_1 = 3,0 \cdot 10^8 \text{ м/с}$$

$$v_2 = ?$$

Розв'язання



За законом заломлення світла $\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2}$, де α — кут падіння, β — кут заломлення, v_1 і v_2 — швидкості поширення світла в 1-му і 2-му середовищах відповідно (див. рисунок). Оскільки 1-ше середовище — повітря, то $\alpha > \beta$ й $\alpha = \beta + \varphi$, де φ — зміщення заломленого променя щодо свого початкового напрямку.

$$\text{Одержуємо: } \frac{\sin \alpha}{\sin(\alpha - \varphi)} = \frac{v_1}{v_2}. \text{ Звідси } v_2 = \frac{v_1 \cdot \sin(\alpha - \varphi)}{\sin \alpha}.$$

Визначимо значення шуканої величини:

$$[v_2] = \frac{\text{м/с} \cdot 1}{1} = \text{м/с};$$

$$\{v_2\} = \frac{3 \cdot 10^8 \cdot \sin 50^\circ}{\sin 70^\circ} \approx 2,45 \cdot 10^8 \text{ (м/с)}.$$

Відповідь: $v_2 \approx 2,45 \cdot 10^8 \text{ м/с}$.

Задача 2. На якій відстані від збиральної лінзи з оптичною силою 2,5 дптр треба помістити предмет, щоб його збільшення дорівнювало двом?

Дано:	Розв'язання
$D = 2,5$ дптр	Оскільки $D > 0$, то лінза збиральна. Оскільки
$\Gamma = 2$	$\Gamma = 2$, то зображення може бути як дійсним, так
$d = ?$	і уявним.

Запишемо формули тонкої лінзи і її лінійного збільшення:

$$\begin{cases} \frac{1}{f} + \frac{1}{d} = D, \\ \Gamma = \frac{f}{d}, \end{cases}$$

де d — відстань від предмета до лінзи, f — відстань від лінзи до зображення. Вирішимо цю систему рівнянь відносно d .

Якщо зображення дійсне, то $f > 0$, тому

$$f = \Gamma d_1 \Rightarrow \frac{1}{\Gamma d_1} + \frac{1}{d_1} = D \Rightarrow d_1 = \frac{\Gamma + 1}{\Gamma \cdot D}.$$

Якщо зображення уявне, то $f < 0$, тому

$$f = -\Gamma d_2 \Rightarrow \frac{1}{-\Gamma d_2} + \frac{1}{d_2} = D \Rightarrow d_2 = \frac{\Gamma - 1}{\Gamma \cdot D}.$$

Визначимо значення шуканої величини: $[d] = \frac{1}{1 \cdot \text{дптр}} = \frac{\text{м}}{1} = \text{м};$

$$\{d_1\} = \frac{2+1}{3 \cdot 2,5} = 0,4; \quad \{d_2\} = \frac{2-1}{3 \cdot 2,5} = 0,2; \quad d_1 = 0,4 \text{ м}; \quad d_2 = 0,2 \text{ м}.$$

Відповідь: $d_1 = 0,4$ м; $d_2 = 0,2$ м.

1-й рівень складності

18.1. Від дерева висотою 3 м на землю падає тінь довжиною 2 м. Визначте кутову висоту Сонця.

18.2. У сонячний день довжина тіні від вертикально поставленого двометрового стовпа дорівнює 0,4 м, а довжина тіні від телевізійної вишки — 7 м. Визначте висоту вишки.

18.3. Точкове джерело S розташоване перед плоским дзеркалом (див. рисунок). Побудуйте область простору, звідки не видно зображення джерела світла.

S .



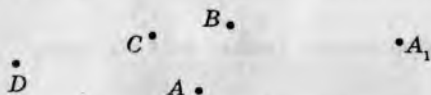
До задачі 18.3

A — B

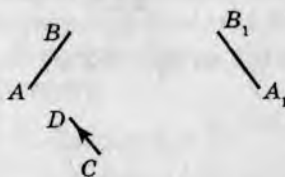


До задачі 18.4

18.5. На рисунку показані положення світної точки A і її зображення A_1 в плоскому дзеркалі. Відобразіть на рисунку положення дзеркала й побудуйте зображення точок B , C і D .



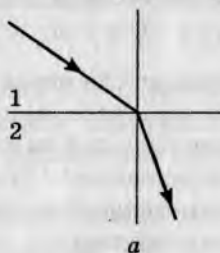
18.6. На рисунку показані положення предмета AB і його зображення A_1B_1 в плоскому дзеркалі. Відобразіть на рисунку положення дзеркала й побудуйте зображення предмета CD .



18.7. Предмет розташований на відстані 20 см від свого зображення в плоскому дзеркалі. На якій відстані від дзеркала перебуває предмет?

18.8. Людина наближається до плоского дзеркала зі швидкістю 4 км/год. З якою швидкістю наближається людина до свого зображення в дзеркалі?

- ? 18.9. При переході з одного середовища в інше промінь світла йде так, як показано на рисунку. Укажіть співвідношення між абсолютними показниками заломлення й швидкостями світла в цих середовищах.

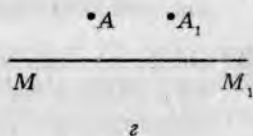
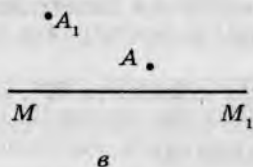
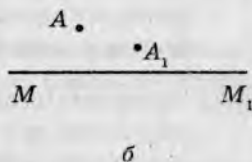
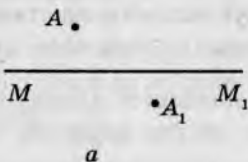


- ? 18.10. У яких випадках світло, переходячи з одного прозорого середовища в інше, не заломлюється?

- 18.11. Побудуйте зображення предмета в збиральній і розсіювальній лінзах (предмет розташований перпендикулярно до головної оптичної осі лінзи) і дайте характеристику зображенню, якщо:

а) $d > 2F$; б) $d = 2F$; в) $2F < d < F$; г) $d = F$; д) $d < F$.

- 18.12. На рисунку показані положення світної точки A , її зображення A_1 в тонкій лінзі й головної оптичної осі лінзи MM_1 . Побудуйте положення лінзи, її фокусів і визначте, яка це лінза: збиральна чи розсіювальна. (У випадку г точки лежать на однаковій відстані від головної оптичної осі.)



18.13. Побудуйте хід променя світла через призму (див. рисунок), якщо: а) показник заломлення речовини призми більший за показник заломлення навколишнього середовища; б) показник заломлення речовини призми менший за показник заломлення навколишнього середовища.

18.14. Побудуйте хід променя світла через плоскопаралельну пластину (див. рисунок), якщо: а) показник заломлення речовини пластини більший за показник заломлення навколишнього середовища; б) показник заломлення речовини пластини менший за показник заломлення навколишнього середовища.



До задачі 18.13



До задачі 18.14

18.15. Визначте абсолютний показник заломлення середовища, в якому світло поширюється зі швидкістю 200 000 км/с.

18.16. Промінь світла падає під кутом 30° з повітря на поверхню деякого прозорого середовища. Знайдіть кут заломлення, якщо заломлений промінь змістився на 10° відносно свого початкового напрямку.

18.17. Промінь світла падає під кутом 30° до межі поділу двох прозорих середовищ, кут заломлення становить 40° . Визначте кут між відбитим і заломленим променями.

18.18. Визначте абсолютний показник заломлення середовища, якщо кут падіння світла дорівнює 60° , а кут заломлення — 30° .

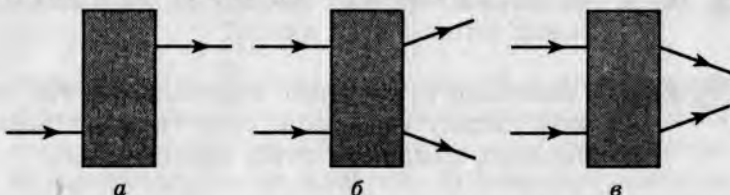
18.19. Визначте абсолютний показник заломлення середовища, якщо кут падіння світла 45° , а кут заломлення 30° .

18.20. Якщо кут падіння світла становить 60° , кут заломлення дорівнює 45° . Визначте кут заломлення в цьому середовищі при куті падіння 30° .

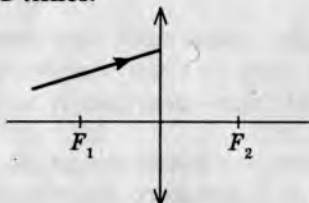
- 18.21.** Якщо кут падіння світла становить 60° , кут заломлення дорівнює 40° . Визначте кут падіння в цьому середовищі, якщо кут заломлення 22° .
- ?** **18.22.** Чи може відбутися повне внутрішнє відбивання при переході світла з води в скло?
- 18.23.** Граничний кут повного внутрішнього відбивання для межі поділу середовищ скло—повітря дорівнює 34° . Знайдіть швидкість світла в цьому склі.
- 18.24.** В алмазі світло поширюється зі швидкістю $1,22 \cdot 10^8$ м/с. Знайдіть граничний кут повного внутрішнього відбивання світла в алмазі при переході з алмаза в повітря.
- 18.25.** Знайдіть граничний кут повного внутрішнього відбивання при падінні променя на межу поділу середовищ: а) скло—повітря; б) вода—повітря; в) скло—вода.
- 18.26.** Відстань від предмета до збиральної лінзи 40 см, а від лінзи до її дійсного зображення 60 см. Визначте фокусну відстань лінзи.
- 18.27.** Відстань від предмета до збиральної лінзи 20 см, а фокусна відстань лінзи 10 см. Визначте відстань від лінзи до її дійсного зображення.
- 18.28.** Відстань між предметом і його зображенням у збиральній лінзі 40 см. Визначте оптичну силу цієї лінзи, якщо вона розташована посередині між предметом і його зображенням.
- 18.29.** Відстань від предмета до розсіювальної лінзи 50 см, а від лінзи до зображення 20 см. Визначте оптичну силу лінзи.
- 18.30.** Предмет розташований на відстані 2 м від лінзи з оптичною силою 1,5 дптр. Знайдіть, на якій відстані від лінзи знаходиться зображення предмета.
- 18.31.** Предмет розташований на відстані 20 см від тонкої лінзи. Знайдіть, на якій відстані від лінзи знаходиться зображення цього предмета. Розгляньте випадки, коли оптична сила лінзи дорівнює: а) 2,5 дптр; б) -5 дптр.

2-й рівень складності

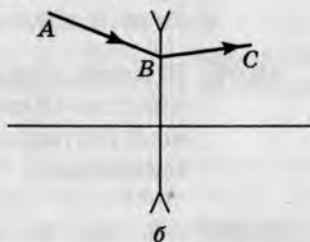
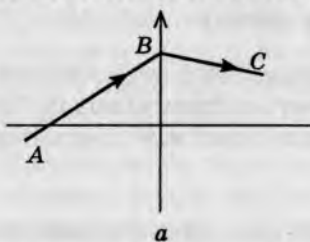
- 18.32.** Промінь світла, проходячи крізь «чорну скриньку», виходить так, як показано на рисунку. Який оптичний об'єкт може бути в цій скриньці?



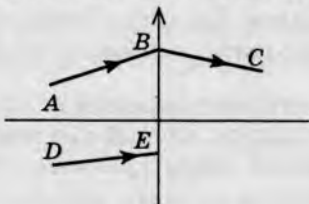
- 18.33.** На рисунку показані положення тонкої лінзи і її головних фокусів F_1 і F_2 . Побудуйте хід променя після заломлення його в лінзі.



- 18.34.** На рисунку показані положення тонкої лінзи, її головної оптичної осі та хід променя AB крізь неї. Побудуйте положення головних фокусів лінзи.



- 18.35.** На рисунку показані положення тонкої лінзи, її головної оптичної осі та хід променя AB крізь неї. Знайдіть побудовою хід променя DE після заломлення в лінзі.



18.36. Предмет розташований між двома взаємно перпендикулярними дзеркалами. Визначте кількість одержаних зображень.

18.37. Посередині між двома паралельними плоскими дзеркалами знаходиться предмет, розташований паралельно до площин дзеркал. На скільки зміниться відстань між зображеннями цього об'єкта, якщо його наблизити до одного із дзеркал на 20 см?

18.38. Між двома плоскими дзеркалами, розташованими паралельно одне до одного, на відстані 20 см від одного із них знаходиться предмет. Відстань між найближчими зображеннями предмета в цих дзеркалах 1 м. Визначте відстань між дзеркалами.

18.39. Як за допомогою плоского дзеркала змінити напрямок світлового променя: а) на 90° ; б) на 180° ?

? **18.40.** Сонячні промені падають на поверхню Землі під кутом 60° до горизонту. Як слід розташувати плоске дзеркало, щоб після відбивання в ньому сонячні промені поширювалися: а) горизонтально праворуч; б) горизонтально ліворуч; в) вертикально вниз; г) вертикально вгору?

? **18.41.** Визначте кут падіння променя на плоске дзеркало, якщо кут між падаючим променем і дзеркалом становить третину від кута між падаючим і відбитим променями.

18.42. Джерело світла — куля діаметром 10 см. Відстань між центром кулі й екраном 2 м. На якій максимальній відстані від екрана необхідно розмістити непрозору кулю діаметром 4 см, щоб на екрані утворилася тільки півтінь?

18.43. Джерело світла — куля діаметром 10 см. Відстань між центром кулі й екраном 2 м. На відстані 1 м від екрана розмістили непрозору кулю діаметром 20 см. Визначте діаметр повної тіні й діаметр півтіні на екрані.

- 18.44.** При якому куті падіння променя з повітря на скло кут заломлення в два рази менший від кута падіння?
- 18.45.** Промінь, що падає на поверхню води, частково відбивається й частково заломлюється. При якому куті падіння відбитий і заломлений промені взаємно перпендикулярні?
- 18.46.** Визначте кут падіння променя з повітря на прозоре середовище, якщо швидкість поширення світла в цьому середовищі дорівнює $2 \cdot 10^5$ км/с, а відбитий і заломлений промені взаємно перпендикулярні?
- 18.47.** Промінь світла падає під кутом 30° на межу поділу двох середовищ і заломлюється під кутом 60° . На скільки відсотків швидкість світла в першому середовищі відрізняється від швидкості світла в другому?
- 18.48.** Відносний показник заломлення на межі поділу середовищ повітря—скло дорівнює 1,6, а на межі поділу середовищ повітря—вода — 1,3. Визначте значення відносного показника заломлення на межі поділу середовищ вода—скло.
- 18.49.** Відносний показник заломлення на межі поділу середовищ повітря—вода дорівнює 1,3, а на межі поділу середовищ повітря—алмаз — 2,42. Визначте значення відносного показника заломлення на межі поділу середовищ вода—алмаз.
- 18.50.** Предмет, розташований на відстані 14 см від тонкої лінзи, перемістили на 6 см ближче до неї, при цьому розміри предмета й зображення стали однаковими. Визначте оптичну силу цієї лінзи.
- 18.51.** Точкове джерело світла розташоване на відстані 40 см від лінзи, оптична сила якої 5 дптр. З іншого боку лінзи на відстані 50 см розташоване плоске дзеркало. Визначте відстань між джерелом і його зображенням у плоскому дзеркалі.
- 18.52.** На відстані втричі більшій за фокусну перед збиральною лінзою розташований предмет. Знайдіть, у скільки разів розміри зображення більші за розміри предмета.

18.53. На якій відстані від лінзи, оптична сила якої 5 дптр, буде розташоване дійсне зображення, збільшене в чотири рази?

18.54. На екрані, розташованому на відстані 12 м від предмета, утвориться збільшене в чотири рази його зображення. Знайдіть фокусну відстань цієї лінзи.

18.55. Визначте оптичну силу розсіювальної лінзи, якщо розміри предмета 8 см, розміри зображення 4 см, відстань між предметом і зображенням 5 см. (Вважайте, що предмет і його зображення розташовані перпендикулярно до головної оптичної осі.)

18.56. Відстань між предметом і його уявним зображенням у лінзі дорівнює 0,5 м. Визначте фокусну відстань цієї лінзи, якщо висота предмета 20 см, а висота зображення 5 см.

3-й рівень складності

18.57. Людина зростом 1,8 м, яка стоїть біля ліхтаря, відкидає тінь довжиною 1 м. Якщо людина відійде на 0,5 м далі від ліхтаря, довжина тіні складатиме 1,5 м. Визначте, на якій висоті підвішений ліхтар.

18.58. Людина зростом 1,7 м, яка стоїть поблизу ліхтаря, відкидає тінь довжиною 1 м. Якщо людина наблизиться на 0,5 м до ліхтаря, довжина тіні складатиме 0,5 м. Визначте, на якій висоті підвішений ліхтар.

18.59. Стови заввишки 2 м вбитий у дно струмка так, що над водою піднімається чверть його довжини. Знайдіть довжину тіні на поверхні й на дні струмка, якщо кут розташування Сонця над горизонтом становить 60° .

18.60. На дні посудини, заповненої водою на 20 см, розташоване точкове джерело світла. На поверхні води плаває кругла непрозора пластина, центр якої знаходиться над джерелом світла. При якому мінімальному радіусі пластини промені світла від джерела не вийдуть із води?

18.61. На дні склянки, заповненої водою на 10 см, лежить монета. На якій відстані від поверхні води бачить монету спостерігач?

18.62. На дні струмка лежить камінь. Хлопчик, очі якого знаходяться на висоті 1,5 м від поверхні води, дивиться на цей камінь. Йому здається, що камінь лежить на відстані 5 м від очей по прямій лінії на глибині 1 м. Знайдіть справжню глибину струмка.

18.63. Збиральна лінза створює зображення предмета зі збільшенням $1/2$. Визначте збільшення даного предмета, якщо, не змінюючи відстань між предметом і лінзою, замінити дану лінзу на розсіювальну з тією самою фокусною відстанню.

18.64. На екрані, розташованому на відстані 60 см від тонкої лінзи з оптичною силою 5 дптр, отримали чітке зображення предмета. Предмет відсувають на 10 см далі від лінзи. На скільки сантиметрів слід перемістити екран, щоб одержати на ньому чітке зображення?

18.65. Екран розташований на відстані 2 м від предмета. Поміщуючи між предметом і екраном тонку збиральну лінзу, позначають два положення, при яких на екрані отримують чітке зображення предмета. При першому положенні лінзи зображення збільшене в чотири рази. Знайдіть відстань між двома положеннями лінзи.

18.66. Промінь світла падає на плоскопаралельну скляну пластинку завтовшки 6 см під кутом 40° . Знайдіть зсув променя при виході із пластинки.

18.67. Промінь світла падає на плоскопаралельну скляну пластинку під кутом 30° . Зміщення променя при виході з пластинки становить 1 см. Знайдіть товщину пластинки.

18.68. Пучок паралельних променів падає на поверхню води під кутом 30° . Ширина пучка в повітрі 5 см. Знайдіть ширину пучка променів у воді.

18.69. На призму, кут заломлення якої 30° , перпендикулярно до однієї з бічних граней падає промінь світла. Визначте кут відхилення променя, що вийшов із призми, від свого початкового напрямку, якщо при виході із призми кут заломлення дорівнює 40° .

18.70. У призми із кутом заломлення 30° посріблили одну із граней. Визначте показник заломлення матеріалу, з якого виготовлена призма, якщо промінь, що падає на одну із граней під кутом 45° , після заломлення й відбивання від посрібленої поверхні повернувся назад по колишньому напрямку.

18.71. Хлопчик, знявши окуляри, читає книгу, тримаючи її на відстані 15 см від очей. Знайдіть фокусну відстань лінз окулярів хлопчика. (Вважайте, що оптична сила системи окуляри—очі дорівнює сумі оптичних сил окулярів і ока.)

18.72. Людина при читанні тримає книгу на відстані 50 см від очей. Які окуляри їй потрібні?

18.73. Лінза з фокусною відстанню 50 см упритул прилягає до плоского дзеркала. Яка оптична сила цієї системи?

18.74. Лінза з фокусною відстанню 40 см упритул прилягає до плоского дзеркала. На головній оптичній осі лінзи на відстані 10 см від неї розташований предмет. Де знаходиться його зображення?

18.75. Точкове джерело світла розташоване на відстані 0,5 м від плоского дзеркала, починає коливатися вздовж прямої, перпендикулярної площині дзеркала, в напрямку до дзеркала за законом $x = 0,25 \sin 4\pi t$ (м). Знайдіть відстань між джерелом світла і його зображенням через:
а) 2 с; б) 0,25 с; в) $1/4$ Т; г) $1/12$ Т.

18.76. Точкове джерело світла, перебуваючи в подвійному фокусі збиральної лінзи з фокусною відстанню 15 см, починає коливатися вздовж головної оптичної осі лінзи ОХ в напрямку до лінзи з періодом 2 с і амплітудою 20 см. На якій відстані від оптичного центра лінзи перебуватиме зображення даної точки через:
а) 0,5 с; б) 1 с; в) $3/4$ Т; г) $1/12$ Т?

19. СВІТЛО ЯК ЕЛЕКТРОМАГНІТНА ХВИЛЯ. ІНТЕРФЕРЕНЦІЯ СВІТЛА. ДИФРАКЦІЯ СВІТЛА. ДИСПЕРСІЯ СВІТЛА

Приклади розв'язування задач

Задача 1. Когерентні джерела хвиль випромінюють механічні хвилі довжиною 54 мм. Яким буде результат інтерференції в точці, віддаленій від джерел хвиль на відстані 4,0 м і 4,27 м?

<i>Дано:</i>	СІ	<i>Розв'язання</i>
$\lambda = 54 \text{ мм}$	$\lambda = 5,4 \cdot 10^{-2} \text{ м}$	Результат інтерференції залежить від різниці ходу двох світлових хвиль, випромінюваних джерелами світла.
$s_1 = 4,0 \text{ м}$		
$s_2 = 4,27 \text{ м}$		
$k - ?$		

Як відомо, інтерференційний максимум спостерігається, якщо $\Delta d = k\lambda = n \frac{\lambda}{2}$, де $\Delta d = s_2 - s_1$ — різниця ходу хвиль, λ — довжина хвилі; $k = 0, 1, 2, 3, \dots, n$ — парне число.

Інтерференційний мінімум спостерігається, якщо $\Delta d = (2k+1) \frac{\lambda}{2} = n \frac{\lambda}{2}$, де n — непарне число.

$$\text{Отже, } n = \frac{\Delta d}{\lambda/2} = \frac{2(s_2 - s_1)}{\lambda}.$$

Визначимо значення шуканої величини:

$$[n] = \frac{m}{m} = 1;$$

$$\{n\} = \frac{2 \cdot (4,27 - 4)}{5,4 \cdot 10^{-2}} = 10.$$

Відповідь: оскільки n — парне число, у цьому випадку спостерігається інтерференційний максимум.

Задача 2. Два когерентні джерела світла випромінюють монохроматичне світло з довжиною хвилі 600 нм. Відстань між джерелами світла 0,5 мм, відстань від цих джерел до екрана 3 м. Визначте відстань між максимумами нульового й першого порядків на екрані.

Дано:

$$\lambda = 600 \text{ нм}$$

$$d = 0,5 \text{ мм}$$

$$L = 3 \text{ м}$$

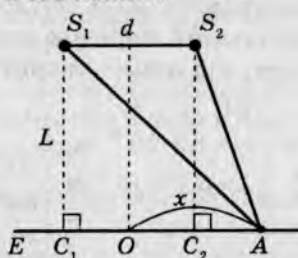
$$x = ?$$

СІ

$$\lambda = 600 \cdot 10^{-9} \text{ м}$$

$$d = 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}$$

Розв'язання



Вважатимемо, що хвилі випромінюються з однаковими фазами. Тоді в точці O , рівновіддаленій від обох джерел (див. рисунок), буде спостерігатися максимум освітленості, тому що $S_1O = S_2O$, різниця ходу дорівнює нулю.

У точці O спостерігається максимум нульового порядку. Нехай максимум першого порядку, для якого різниця ходу $\Delta d = \lambda$, спостерігається в точці A . Відстань OA — шукана величина x . Із прямокутних трикутників S_1C_1A і S_2C_2A маємо:

$$S_1A^2 = S_1C_1^2 + C_1A^2 = L^2 + \left(x + \frac{d}{2}\right)^2; \quad (1)$$

$$S_2A^2 = S_2C_2^2 + C_2A^2 = L^2 + \left(x - \frac{d}{2}\right)^2. \quad (2)$$

Віднімаючи від першого рівняння друге, одержимо:

$$S_1A^2 - S_2A^2 = (S_1A - S_2A)(S_1A + S_2A). \quad (3)$$

Очевидно, що $S_1A - S_2A = \Delta d$ — різниця ходу, а $S_1A + S_2A = 2L$ внаслідок того, що $d \ll L$. Таким чином, $S_1A^2 - S_2A^2 = \Delta d \cdot 2L$. Після підстановки виразів (1) і (2) у вираз (3) та зведення подібних одержимо:

$$L^2 + \left(x + \frac{d}{2}\right)^2 - L^2 - \left(x - \frac{d}{2}\right)^2 = 2xd.$$

Отже, $2xd = \Delta d \cdot 2L$. Звідси $x = \frac{\Delta d \cdot L}{d} = \frac{\lambda L}{d}$.

Визначимо значення шуканої величини:

$$[x] = \frac{\text{м} \cdot \text{м}}{\text{м}} = \text{м};$$

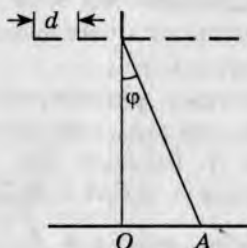
$$\{x\} = \frac{600 \cdot 10^{-9} \cdot 3}{0,5 \cdot 10^{-3}} = 3,6 \cdot 10^{-3}; \quad x = 3,6 \cdot 10^{-3} \text{ м} = 3,6 \text{ мм}.$$

Відповідь: $x = 3,6 \text{ мм}$.

Задача 3. Період дифракційної ґратки 1,8 мкм. Ґратку освітлюють монохроматичним світлом з довжиною хвилі 530 нм. Визначте найбільший порядок максимуму, що спостерігається на екрані, й кут, під яким утвориться цей максимум.

Дано:	СІ
$d = 1,8$ мкм	$d = 1,8 \cdot 10^{-6}$ м
$\lambda = 530$ нм	$\lambda = 5,30 \cdot 10^{-7}$ м
$k_{\max} = ?$	
$\varphi = ?$	

Розв'язання
 Формула дифракційної ґратки:
 $d \sin \varphi = k \lambda$, де d — період дифракційної ґратки, λ — довжина хвилі світла, що падає на ґратку, φ — кут, під яким спостерігається максимум k -го порядку на екрані (див. рисунок).



З формули дифракційної ґратки випливає, що $k = \frac{d \sin \varphi}{\lambda}$.

Визначимо значення шуканої величини k :

$$[k] = \frac{m \cdot 1}{m} = 1; \quad \{k\} \leq \frac{1,8 \cdot 10^{-6}}{5,30 \cdot 10^{-7}} = 3,4.$$

Оскільки $\sin \varphi \leq 1$, то $k \leq \frac{d}{\lambda}$, отже, $k_{\max} = 3$.

Знайдемо кут, під яким утвориться цей максимум:

$$\sin \varphi = \frac{k \lambda}{d}.$$

Визначимо значення шуканої величини φ :

$$[\sin \varphi] = \frac{1 \cdot m}{m} = 1;$$

$$\sin \varphi = \frac{3 \cdot 5,30 \cdot 10^{-7}}{1,8 \cdot 10^{-6}} = 0,833; \quad \varphi \approx 62^\circ.$$

Відповідь: $k_{\max} = 3$; $\varphi \approx 62^\circ$.

1-й рівень складності

- ?** 19.1. Чи однакова швидкість поширення червоного й зеленого світла у вакуумі? У воді?
- ?** 19.2. Як змінюються частота й довжина світлової хвилі при переході з одного прозорого середовища в інше — з більшим показником заломлення?
- 19.3. Вода освітлена за допомогою фільтра зеленим світлом з довжиною хвилі 500 нм. Якою буде довжина хвилі у воді? Який колір побачить людина, яка розплющила очі під водою?
- ?** 19.4. Чому бензинові плями на поверхні води мають райдужне забарвлення?
- ?** 19.5. Чому забарвлення того самого місця поверхні мильної бульки безперервно змінюється?
- ?** 19.6. Які тіла дають: а) лінійчатий спектр випромінювання; б) суцільний спектр випромінювання?
- ?** 19.7. Чим відрізняються лінійчаті спектри випромінювання різних хімічних елементів?
- ?** 19.8. Який спектр волоска розжарювання лампи?
- ?** 19.9. У деяку точку простору приходять когерентні світлові хвилі, взаємно гасячи одна одну. Що відбулося зі світловою енергією в даній точці простору? Чи перейшла вона в інші види енергії?
- ?** 19.10. Чому в повсякденному житті ми зіштовхуємося з дифракцією звукових, а не світлових хвиль?
- 19.11.** Різниця ходу двох світлових променів від когерентних джерел світла в деякій точці простору дорівнює $\frac{\lambda}{4}$. Чому дорівнює різниця фаз коливань?
- 19.12.** Різниця фаз коливань двох світлових променів від когерентних джерел світла в деякій точці простору дорівнює $\frac{3\pi}{2}$. Чому дорівнює різниця ходу двох світлових променів?
- 19.13.** У деяку точку простору приходять когерентні світлові хвилі з різницею ходу 2 мкм. Посилення чи ослаблення світла відбувається в цій точці, якщо довжина хвилі становить: а) 600 нм; б) 400 нм; в) 760 нм?

19.14. У деяку точку простору приходять когерентні світлові хвилі з різницею ходу $1,2 \text{ мкм}$. Довжина хвилі у вакуумі становить 600 нм . Посилення чи ослаблення світла відбувається в цій точці: а) у повітрі; б) у воді?

19.15. Визначте період дифракційної ґратки, якщо на $2,5 \text{ см}$ ґратки нанесено $12\,500$ штрихів.

19.16. Знайдіть кількість штрихів, нанесених на дифракційну ґратку, якщо її період $0,01 \text{ мм}$, а довжина 2 см .

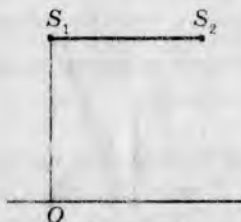
19.17. Знайдіть довжину світлової хвилі, якщо в дифракційному спектрі максимум другого порядку спостерігається за умови, що оптична різниця ходу становить $1,15 \text{ мкм}$.

19.18. Знайдіть оптичну різницю ходу хвиль довжиною 540 нм , що пройшли крізь дифракційну ґратку й утворили на екрані максимум третього порядку.

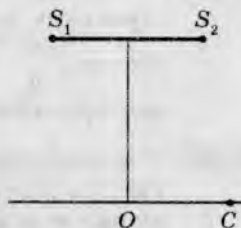
2-й рівень складності

19.19. Відстань між когерентними джерелами світла 1 мм (див. рисунок). Відстань від цих джерел до екрана 1 м . Що буде спостерігатися в точці O екрана, якщо довжина хвилі 500 нм ?

19.20. Відстань між когерентними джерелами світла $0,15 \text{ мм}$ (див. рисунок). Відстань від цих джерел до екрана $4,8 \text{ м}$. Визначте оптичну різницю ходу хвиль, що приходять від джерел світла в точку екрана C , якщо $OC = 16 \text{ мм}$.



До задачі 19.19



До задачі 19.20

19.21. Випромінювання з довжиною хвилі 480 нм від двох когерентних джерел світла, відстань між якими 120 мкм, потрапляє на екран. Відстань від цих джерел до екрана 3,6 м. Знайдіть відстань між двома інтерференційними мінімумами першого порядку, що спостерігаються на екрані.

19.22. Дифракційну ґратку, період якої 0,01 мм, освітлюють монохроматичним світлом. На екрані, розташованому на відстані 70 см від ґратки, відстань між нульовим і першим максимумами дорівнює 3 см. Знайдіть довжину світлової хвилі.

19.23. Дифракційна ґратка має 50 штрихів на 1 мм. Під яким кутом видно максимум першого порядку монохроматичного випромінювання з довжиною хвилі 400 нм?

19.24. Дифракційна ґратка освітлюється монохроматичним світлом. Спектр першого порядку спостерігається під кутом 3° . Під яким кутом спостерігається спектр третього порядку?

19.25. Знайдіть найменшу товщину прозорої плівки, щоб при освітленні її світлом з довжиною хвилі 600 нм вона у відбитому світлі здавалася чорною. Світло падає перпендикулярно до поверхні плівки. Показник заломлення речовини, з якої виготовлена плівка, 1,2.

19.26. Знайдіть найменшу товщину скляної пластини, щоб при освітленні її світлом з довжиною хвилі 750 нм вона у відбитому світлі здавалася червоною. Світло падає перпендикулярно до поверхні пластини, показник заломлення речовини, з якої виготовлена пластинка, 1,54.

19.27*. При відбиванні світла від скла повна поляризація відбулася під кутом 60° . Знайдіть показник заломлення скла.

19.28*. Знайдіть кут повної поляризації при відбиванні світла на межі поділу середовищ повітря—лід, якщо показник заломлення льоду 1,3.

19.29*. Знайдіть швидкість поширення світла у воді, якщо кут повної поляризації при відбиванні світла від води становить 53° .

3-й рівень складності

19.30. Знайдіть відстань між когерентними джерелами білого світла (довжини хвиль від 400 до 780 нм), якщо на екрані ширина спектра першого порядку дорівнює 5,6 мм. Відстань від цих джерел до екрана 2,6 м.

19.31. Дифракційна ґратка, на кожний міліметр якої нанесено 75 штрихів, освітлюється монохроматичним світлом з довжиною хвилі 500 нм. На екрані, розташованому на деякій відстані від ґратки, відстань між нульовим і другим максимумами дорівнює 11,25 см. Знайти відстань до екрана.

19.32. Який найбільший порядок спектра можна спостерігати за допомогою дифракційної ґратки, яка має 500 штрихів на 1 мм, якщо світло має довжину хвилі 590 нм і падає на ґратку під кутом 30° ?

19.33. На дифракційну ґратку, що має період 2,5 мкм, падає світло з довжинами хвиль від 500 до 600 нм. Чи будуть спектри різних порядків перекриватися один одним?

19.34. Знайдіть найменшу товщину скляної пластини, щоб при освітленні її світлом з довжиною хвилі 660 нм у відбитому світлі хвилі гасили одна одну. Світло падає під кутом 45° , показник заломлення пластини 1,53.

19.35. При освітленні скляного клина пучком світла з довжиною хвилі 650 нм, що падає перпендикулярно до його поверхні, відстань між найближчими темними інтерференційними смугами дорівнює 12 мм. Знайдіть кут при вершині клина, якщо показник заломлення матеріалу клина 1,5.

19.36*. На плоскопаралельну пластинку поклали опуклою стороною плоско-опуклу лінзу з радіусом кривизни 12 м. На плоску поверхню лінзи паралельно її головній оптичній осі падає монохроматичний пучок світла з довжиною хвилі 600 нм. При цьому у відбитому світлі на лінзі видно темні й світлі кільця, які чергуються, а в центрі лінзи — темну пляму. Знайдіть радіус третього темного кільця.

19.37*. Знайдіть радіус сьомого темного кільця Ньютона в мінімальному світлі, якщо оптична сила плоско-опуклої лінзи 0,5 дптр, показник заломлення матеріалу лінзи 1,5, довжина світлової хвилі 500 нм. Лінза опуклою стороною лежить на плоскопаралельній скляній пластинці.

20. КВАНТОВІ ВЛАСТИВОСТІ СВІТЛА. СВІТЛОВІ КВАНТИ. ТИСК СВІТЛА. КОРПУСКУЛЯРНО-ХВИЛЬОВИЙ ДУАЛІЗМ СВІТЛА

Приклади розв'язування задач

Задача 1. Знайдіть довжину хвилі випромінювання, імпульс фотона якого дорівнює $12 \cdot 10^{-27}$ кг·м/с.

Дано: $p = 12 \cdot 10^{-27}$ кг·м/с $\lambda = ?$	Розв'язання Енергія випромінювання з довжиною хвилі λ дорівнює $W = \frac{hc}{\lambda}$, де h — стала Планка, $h = 6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с, c — швидкість світла, $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.
--	---

З іншого боку, за законом взаємозв'язку імпульса й енергії:

$$W = pc. \text{ Маємо: } \frac{hc}{\lambda} = pc, \text{ звідси } \lambda = \frac{h}{mc}.$$

Визначимо значення шуканої величини:

$$[\lambda] = \frac{\frac{\text{Дж} \cdot \text{с}}{\text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}}}{\frac{\text{м}}{\text{с}}} = \frac{\frac{\text{Дж} \cdot \text{с}^2}{\text{кг} \cdot \text{м}}}{\frac{\text{м}}{\text{с}}} = \frac{\frac{\text{Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с}^2}{\text{кг} \cdot \text{м}}}{\frac{\text{м}}{\text{с}}} = \frac{\frac{\text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot \text{с}^2}{\text{кг}}}{\frac{\text{м}}{\text{с}}} = \text{м};$$

$$\{\lambda\} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34}}{12 \cdot 10^{-27}} = 553 \cdot 10^{-9}; \lambda = 553 \cdot 10^{-9} \text{ м} = 553 \text{ нм}.$$

Відповідь: $\lambda = 553$ нм.

Задача 2. Джерело монохроматичного світла зі світловою потужністю 1 кВт випромінює світло з довжиною хвилі 500 нм. Визначити кількість світлових квантів, що випромінює джерело світла щосекунди.

Дано: $P = 1$ кВт $\lambda = 500$ нм $t = 1$ с $N = ?$	СІ $P = 10^3$ Вт $\lambda = 5 \cdot 10^{-7}$ м	Розв'язання Потужність джерела світла $P = \frac{W}{t}$, де W — енергія випромінювання світла, t — час випромінювання.
--	--	--

Відповідно до квантової теорії світла, випромінювання — це потік фотонів, кожний з яких має енергію $h\nu = \frac{hc}{\lambda}$.

Отже, повна енергія N фотонів дорівнює $W = N \cdot \frac{hc}{\lambda}$ і потужність

$$P = \frac{W}{t} = \frac{N \cdot hc}{\lambda t}. \text{ Звідси } N = \frac{P \lambda t}{hc}.$$

Визначимо значення шуканої величини:

$$[N] = \frac{\text{Вт} \cdot \text{м} \cdot \text{с}}{\text{Дж} \cdot \text{с} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}} = \frac{\text{Дж} \cdot \text{м}}{\text{Дж} \cdot \text{м}} = 1; \{N\} = \frac{10^3 \cdot 5 \cdot 10^{-7} \cdot 1}{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8} = 2,5 \cdot 10^{21}.$$

Відповідь: джерело випромінює щосекунди $2,5 \cdot 10^{21}$ фотонів.

Задача 3. На кожний квадратний метр поверхні щосекунди потрапляє світлове випромінювання з енергією 7,0 кДж. Знайдіть світловий тиск, якщо поверхня: а) повністю відбиває всі промені; б) повністю поглинає всі промені, що падають на неї.

Дано:	СІ	Розв'язання
$S = 1,0 \text{ м}^2$		Розглянемо світлове випромінювання як потік квантів, що мають
$\Delta t = 1,0 \text{ с}$		енергію W й імпульс $p = \frac{W}{c}$, де c —
$W = 7,0 \text{ кДж}$	$W = 7 \cdot 10^3 \text{ Дж}$	швидкість світла.
$P = ?$		

Тиск світлового випромінювання можна знайти, знаючи силу F , з якою випромінювання діє на поверхню: $P = \frac{F}{S}$, де S — площа поверхні, на яку діє ця сила.

За другим законом Ньютона в імпульсному вигляді $F \cdot \Delta t = \Delta p$, де Δp — зміна імпульсу тіла за час дії Δt сили.

Якщо поверхня повністю відбиває всі промені, що падають на неї, це відповідає абсолютно пружному удару фотона об поверхню. Зміна імпульсу фотона в цьому випадку чисельно дорівнює подвоєному початковому імпульсу фотона: $\Delta p = 2p = 2 \frac{W}{c}$.

Отже, тиск світла в цьому випадку

$$P_1 = \frac{F}{S} = \frac{\Delta p}{S \cdot \Delta t} = \frac{2W}{c \cdot S \cdot \Delta t}.$$

Визначимо значення шуканої величини:

$$[P_1] = \frac{\text{Дж}}{\frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}} = \frac{\text{Дж}}{\text{м}^3} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{м}^3} = \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = \text{Па};$$

$$\{P_1\} = \frac{2 \cdot 7 \cdot 10^3}{3 \cdot 10^8 \cdot 1 \cdot 1} = 4,7 \cdot 10^{-5}; P_1 = 4,7 \cdot 10^{-5} \text{ Па.}$$

Якщо поверхня повністю поглинає всі промені, що падають на неї, це відповідає абсолютно непружному удару фотона об поверхню. Зміна імпульсу фотона в цьому випадку чисельно дорівнює його початковому імпульсу: $\Delta p = p = \frac{W}{c}$.

Отже, тиск світла в цьому випадку:

$$P_2 = \frac{F}{S} = \frac{\Delta p}{S \cdot \Delta t} = \frac{W}{c \cdot S \cdot \Delta t}.$$

Визначимо значення шуканої величини:

$$[P_2] = \frac{\frac{\text{Дж}}{\frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{с}}}{\frac{\text{м}^2}{\text{м}^3}} = \frac{\text{Дж}}{\frac{\text{м}^3}{\text{м}^3}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{м}^3} = \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = \text{Па};$$

$$\{P_2\} = \frac{7 \cdot 10^3}{3 \cdot 10^8 \cdot 1 \cdot 1} = 2,3 \cdot 10^{-5}; P_2 = 2,3 \cdot 10^{-5} \text{ Па.}$$

Відповідь: а) $P_1 = 4,7 \cdot 10^{-5} \text{ Па}$; б) $P_2 = 2,3 \cdot 10^{-5} \text{ Па}$.

1-й рівень складності

20.1. Знайдіть енергію фотона інфрачервоного випромінювання, довжина хвилі якого 10 мкм.

20.2. Знайдіть енергію фотона випромінювання зеленого світла, довжина хвилі якого 550 нм.

20.3. Знайдіть довжину хвилі випромінювання, енергія фотона якого дорівнює 10^{-19} Дж.

20.4. Знайдіть частоту випромінювання, енергія фотонів якого дорівнює $6,4 \cdot 10^{-19}$ Дж.

20.5. Знайдіть імпульс фотона, довжина хвилі якого 720 нм.

20.6. Знайдіть імпульс фотона із частотою $5 \cdot 10^{14}$ Гц.

20.7. Знайдіть імпульс фотона, довжина хвилі якого 500 нм.

20.8. Знайдіть імпульс фотона із частотою $5 \cdot 10^{14}$ Гц.

20.9. Знайдіть імпульс фотона, енергія якого дорівнює 1 МеВ.

- 20.10.** Знайдіть частоту ультрафіолетового випромінювання, імпульс кванта якого дорівнює $3 \cdot 10^{-27} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$.

2-й рівень складності

- 20.11.** Побудуйте графік залежності енергії фотона від його:
а) частоти; б) довжини хвилі.

- 20.12.** Побудувати графік залежності імпульсу фотона від його:
а) частоти; б) довжини хвилі.

- 20.13.** Довжина світлової хвилі у воді дорівнює 500 нм. Визначте довжину цієї світлової хвилі в повітрі.

- 20.14.** Швидкість поширення фіолетового світла із частотою $7,5 \cdot 10^{14}$ Гц у воді дорівнює $2,23 \cdot 10^8$ м/с. Як змінюються частота й довжина світлової хвилі при переході з води у вакуум?

- 20.15.** Знайдіть довжину хвилі випромінювання, енергія фотонів якого відповідає енергії протона, що рухається зі швидкістю $4,6 \cdot 10^4$ м/с.

- 20.16.** Знайдіть довжину хвилі електромагнітного випромінювання, енергія кванта якого дорівнює енергії спокою електрона.

- 20.17.** З якою швидкістю повинен рухатися електрон, щоб його кінетична енергія дорівнювала енергії фотона з довжиною хвилі 520 нм?

- 20.18.** Знайдіть частоту квантів випромінювання, які мають таку саму енергію, що й електрон, що пройшов зі стану спокою прискорювальну різницю потенціалів 50 В.

- 20.19.** Світло потужністю 0,5 кВт із довжиною хвилі 20 нм падає перпендикулярно до поверхні площею 100 см^2 . Скільки фотонів щосекунди падає на 1 см^2 цієї поверхні?

- 20.20.** Монохроматичне джерело світла потужністю 500 Вт випускає 10^{21} фотонів за секунду. Знайдіть середню довжину хвилі випромінювання.

- 20.21.** Знайдіть зміну імпульсу фотона, довжина хвилі якого 700 нм, при його повному поглинанні й повному відбитті від поверхнею.

3-й рівень складності

20.22. Яку енергію має приносити світлове випромінювання на кожний квадратний міліметр абсолютно чорної поверхні за секунду, щоб світловий тиск на неї становив 1 Па?

20.23. На кожний квадратний дециметр поверхні, що повністю поглинає світло, щосекунди падає $5 \cdot 10^{20}$ фотонів з довжиною хвилі 700 нм. Який тиск на поверхню створює це випромінювання?

20.24. Скільки фотонів з довжиною хвилі 550 нм падає на кожний квадратний міліметр абсолютно чорної поверхні за секунду, якщо це випромінювання створює тиск 1 Па?

20.25. На кожний квадратний сантиметр поверхні, що повністю відбиває світло, щосекунди падає $4 \cdot 10^{18}$ фотонів з довжиною хвилі 600 нм. Який тиск на поверхню створює це випромінювання?

20.26. Паралельний пучок світла падає під кутом 30° на плоску дзеркальну поверхню. Знайдіть тиск світла на цю поверхню, якщо на кожний квадратний сантиметр поверхні за 1 секунду потрапляє світлове випромінювання з енергією 0,1 Дж.

20.27. Сонячні промені протягом року приносять на Землю $5,4 \cdot 10^{24}$ Дж енергії. На скільки змінилася б маса Землі за рік, якби планета цю енергію не випромінювала в простір?

20.28. α -частинка рухається по колу радіусом 10 см в однорідному магнітному полі з індукцією 0,01 Тл. Знайдіть довжину хвилі для α -частинки.

20.29. Знайдіть, при якій температурі середня кінетична енергія поступального руху молекул ідеального газу дорівнює енергії фотонів рентгенівських променів з довжиною хвилі 10^{-10} м.

20.30. Знайдіть довжину хвилі, що відповідає середній квадратичній швидкості молекули Водню при температурі 20°C .

20.31. У скільки разів енергія фотона з довжиною хвилі 550 нм більша за середню кінетичну енергію поступального руху молекули Кисню при температурі 17°C?

20.32. Знайдіть масу фотона, імпульс якого дорівнює імпульсу молекули Водню при температурі 20°C.

20.33. Знайдіть довжину хвилі фотона, імпульс якого дорівнює імпульсу молекули Кисню при температурі 27°C.

20.34. Знайдіть тиск, що створює світло на дзеркальну поверхню, розташовану перпендикулярно до напрямку променів на відстані 1 м від джерела світла потужністю 45 Вт.

20.35. Знайдіть кількість фотонів, які потрапляють щосекунди на кожний квадратний сантиметр поверхні, розташованої перпендикулярно до напрямку променів на відстані 50 см від джерела світла потужністю 25 Вт. (Вважайте, що джерело рівномірно випромінює в усі боки світло з довжиною хвилі 500 нм.)

20.36*. Знайдіть зміну довжини хвилі світла при розсіюванні його під кутом 90° на вільних протонах.

20.37*. Знайдіть максимальну комптонівську зміну довжини хвилі при розсіюванні світла на вільних електронах.

20.38*. Зміна довжини хвилі рентгенівських променів при комптонівському розсіюванні становить $2,4 \cdot 10^{-12}$ м. Знайдіть кут розсіювання й кінетичну енергію електронів віддачі, якщо початкова довжина хвилі 10^{-11} м.

21. ФОТОЕФЕКТ

Приклади розв'язування задач

Задача 1. Червона межа фотоэффекта для Рубідію 810 нм. Знайдіть затримуючу напругу для ультрафіолетового випромінювання з довжиною хвилі 100 нм.

<i>Дано:</i>	СИ	<i>Розв'язання</i>
$\lambda_{\text{чер}} = 810 \text{ нм}$	$\lambda = 8,1 \cdot 10^{-7} \text{ м}$	Рівняння Ейнштейна для зовнішнього фотоэффекту має вигляд
$\lambda = 100 \text{ нм}$	$\lambda = 1,0 \cdot 10^{-7} \text{ м}$	
$U_3 = ?$		$h\nu = A_{\text{в}} + \frac{mv^2}{2},$

де $h\nu$ — енергія падаючого кванта, $A_{\text{в}}$ — робота виходу електрона з металу, $\frac{mv^2}{2}$ — кінетична енергія фотоелектрона, що вилетів із металу.

Якщо $\nu = 0$, $A_{\text{в}} = h\nu_{\text{чер}} = \frac{hc}{\lambda_{\text{чер}}}$, де $\nu_{\text{чер}}$ ($\lambda_{\text{чер}}$) — червона межа фотоэффекту.

Виражаючи кінетичну енергію фотоелектрона, що вилетів, через роботу затримуючої напруги $\frac{mv^2}{2} = qU_3$, запишемо рівняння Ейнштейна так:

$$\frac{hc}{\lambda} = \frac{hc}{\lambda_{\text{чер}}} + qU_3.$$

Звідси одержимо:

$$U_3 = \frac{hc}{q} \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_{\text{чер}}} \right).$$

Визначимо значення шуканої величини:

$$[U_3] = \frac{\text{Дж} \cdot \text{с} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}}{\text{Кл}} \left(\frac{1}{\text{м}} - \frac{1}{\text{м}} \right) = \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} = \frac{\text{Кл} \cdot \text{В}}{\text{Кл}} = \text{В};$$

$$\{U_3\} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{1,6 \cdot 10^{-19}} \left(\frac{1}{10^{-7}} - \frac{1}{8,1 \cdot 10^{-7}} \right) = 10,9; U_3 = 10,9 \text{ В}.$$

Відповідь: $U_3 = 10,9 \text{ В}$.

Задача 2. Червона межа фотоефекту для Срібла 260 нм. Плоский срібний електрод освітлюється світлом з довжиною хвилі 80 нм. На яку максимальну відстань від поверхні електрода може віддалитися фотоелектрон, якщо поза електродом існує затримуюче електричне поле напруженістю 5 В/см?

Дано:	СІ	Розв'язання
$\lambda_{\text{чер}} = 260 \text{ нм}$	$\lambda_{\text{чер}} = 2,6 \cdot 10^{-7} \text{ м}$	Рівняння Ейнштейна для зовнішнього фотоефекту має вигляд
$\lambda = 80 \text{ нм}$	$\lambda = 8,0 \cdot 10^{-8} \text{ м}$	$\frac{hc}{\lambda} = \frac{hc}{\lambda_{\text{чер}}} + \frac{mv^2}{2},$
$E = 5 \text{ В/см}$	$E = 500 \text{ В/м}$	
$s = ?$		

де $\frac{mv^2}{2}$ — кінетична енергія фотоелектрона, що вилетів із металу.

У затримуючому електричному полі електрон буде рухатися рівноприскорено до зупинки, коли його кінетична енергія дорівнюватиме нулю. За теоремою про кінетичну енергію, її зміна дорівнює роботі, виконаній електричним полем: $\Delta W_k = A$ або $\frac{mv^2}{2} = qEs$, де q — заряд електрона, E — напруженість електричного поля (qE — сила, що діє на електрон в електричному полі), s — максимальна відстань від поверхні електрода, на яку може віддалитися електрон до своєї зупинки.

З урахуванням рівняння Ейнштейна одержимо:

$$\frac{hc}{\lambda} = \frac{hc}{\lambda_{\text{чер}}} = qEs.$$

$$\text{Звідси одержимо: } s = \frac{hc}{qE} \left(\frac{1}{\lambda} - \frac{1}{\lambda_{\text{чер}}} \right).$$

Визначимо значення шуканої величини:

$$[s] = \frac{\frac{\text{Дж} \cdot \text{с}}{\text{Кл}} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}}{\frac{\text{В}}{\text{м}}} \left(\frac{1}{\text{м}} - \frac{1}{\text{м}} \right) = \frac{\text{Дж} \cdot \text{м}}{\text{Кл} \cdot \text{В}} = \frac{\text{Кл} \cdot \text{В} \cdot \text{м}}{\text{Кл} \cdot \text{В}} = \text{м};$$

$$\{s\} = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 500} \left(\frac{1}{8 \cdot 10^{-8}} - \frac{1}{2,6 \cdot 10^{-7}} \right) = 0,022; s = 0,022 \text{ м} = 2,2 \text{ см}.$$

Відповідь: $s = 2,2 \text{ см}$.

1-й рівень складності

- ? 21.1. Як зміниться робота виходу фотоелектронів з металу при збільшенні частоти падаючого світла?
- ? 21.2. Як зміниться кінетична енергія фотоелектронів при зменшенні довжини хвилі падаючого світла?
- ? 21.3. Як зміниться максимальна швидкість руху фотоелектронів при збільшенні інтенсивності падаючого світла?
- ? 21.4. Як зміниться кількість фотоелектронів, що вилітають, при зменшенні інтенсивності падаючого світла?
- 21.5. Фотон вибиває з металу, для якого робота виходу дорівнює 3 еВ, електрон з енергією 2 еВ. Яка мінімальна енергія такого фотона?
- 21.6. Фотони з енергією 5 еВ падають на поверхню металу й вибивають електрони з максимальною кінетичною енергією 1,4 еВ. При якій мінімальній енергії фотона можливий фотоефект для цього металу?
- 21.7. Червона межа фотоефекту для деякого матеріалу 150 нм. Знайдіть мінімальну енергію фотона, що викличе фотоефект.
- 21.8. Робота виходу електронів із Золота дорівнює 4,59 еВ. Знайдіть червону межу фотоефекту для Золота.
- 21.9. Довжина хвилі, що відповідає червоній межі фотоефекту для Цезію 653 нм. Знайдіть роботу виходу електронів із Цезію.
- 21.10. Робота виходу електронів з металу 5,15 еВ. Чи викличе фотоефект ультрафіолетове випромінювання з довжиною хвилі 300 нм?
- 21.11. Робота виходу електронів із Ртуті 4,53 еВ. Чи виникне фотоефект, якщо на поверхню Ртуті падатиме видиме світло?
- 21.12. Робота виходу електронів із Цезію 1,9 еВ. Чи виникне фотоефект, якщо на поверхню Цезію буде падати світло із частотою $1,0 \cdot 10^{15}$ Гц?

2-й рівень складності

- ? 21.13. Енергія випромінювання, що падає на метал, в три рази більша за роботу виходу. У скільки разів максимальна кінетична енергія фотоелектронів відрізняється від роботи виходу?
- ? 21.14. Енергія випромінювання, що падає на метал, у два рази більша за максимальну кінетичну енергію фотоелектронів. У скільки разів максимальна кінетична енергія фотоелектронів відрізняється від роботи виходу?
- 21.15. Червона межа фотоефекту для Платини 198 нм. Якщо Платину прожарити при високій температурі, червона межа фотоефекту дорівнюватиме 220 нм. На скільки прожарювання зменшило роботу виходу фотоелектронів?
- 21.16. Червона межа фотоефекту для Золота 265 нм. Якщо Золото прожарити при високій температурі, робота виходу фотоелектронів зменшиться на 0,4 еВ. Якою стане червона межа фотоефекту?
- 21.17. Робота виходу електронів з Цезію дорівнює 1,97 еВ. Знайдіть максимальну кінетичну енергію фотоелектронів, якщо поверхня цезієвої пластини освітлюється світлом з довжиною хвилі 580 нм.
- 21.18. Робота виходу електронів з Цинку дорівнює 4 еВ. Якою має бути довжина хвилі випромінювання, що освітлює поверхню цинкової пластини, щоб при фотоефекті максимальна кінетична енергія фотоелектронів дорівнювала $2,9 \cdot 10^{-19}$ Дж?
- 21.19. При освітленні поверхні металу світлом з довжиною хвилі 250 нм максимальна кінетична енергія фотоелектронів дорівнює $1,2 \cdot 10^{-19}$ Дж. Знайдіть роботу виходу електронів із цього металу.
- 21.20. Робота виходу електронів з Вольфраму дорівнює 4,54 еВ. Знайдіть максимальну швидкість фотоелектронів, якщо поверхня вольфрамової пластини освітлюється світлом з довжиною хвилі 180 нм.

21.21. Знайдіть максимальну швидкість фотоелектронів для Калію, якщо його поверхня освітлюється світлом з довжиною хвилі 200 нм. Робота виходу електронів для Калію дорівнює 2,26 еВ.

21.22. Робота виходу електронів для Літію дорівнює 2,39 еВ. Якою має бути частота хвилі випромінювання, що освітлює поверхню літієвого катоду, щоб при фотоэффекті максимальна швидкість фотоелектронів дорівнювала 2500 км/с?

21.23. Робота виходу електронів для Кадмію дорівнює 4,08 еВ. Якою має бути довжина хвилі випромінювання, що освітлює поверхню кадмієвого катоду, щоб при фотоэффекті максимальна швидкість фотоелектронів дорівнювала 2000 км/с?

21.24. Поверхня срібної пластини освітлюється світлом з довжиною хвилі 150 нм. Знайдіть максимальну швидкість фотоелектронів, якщо червона межа фотоэффекту для Срібла 260 нм.

21.25. Поверхня металу освітлюється світлом з довжиною хвилі 180 нм. Знайдіть максимальну швидкість фотоелектронів, якщо червона межа фотоэффекту 275 нм.

21.26. Поверхня нікелю освітлюється світлом з довжиною хвилі 200 нм. Знайдіть червону межу фотоэффекту, якщо максимальна швидкість фотоелектронів $6,5 \cdot 10^5$ м/с.

21.27. Під час дослідження вакуумного фотоелемента виявилось, що при освітленні катода світлом із частотою 10^{15} Гц фотострум з поверхні катода припиняється при затримуючій напрузі 2 В. Визначте роботу виходу для матеріалу катода.

21.28. Ізольована металева пластинка освітлюється світлом з довжиною хвилі 450 нм. До якого потенціалу зарядиться пластинка при тривалому освітленні, якщо робота виходу електронів дорівнює 2 еВ?

21.29. Червона межа фотоэффекту для Рубідію 810 нм. Яку затримуючу напругу треба прикласти до фотоелемента, щоб затримати фотоелектрони, які випускає рубідій під дією світла з довжиною хвилі 100 нм?

3-й рівень складності

21.30. При збільшенні частоти падаючого випромінювання від $7,5 \cdot 10^{14}$ Гц до $1,5 \cdot 10^{15}$ Гц максимальна кінетична енергія фотоелектронів змінилася в три рази. Знайдіть роботу виходу електронів для даного матеріалу.

21.31. При зміні довжини хвилі падаючого випромінювання від 200 до 300 нм максимальна швидкість фотоелектронів змінилася в два рази. Знайдіть роботу виходу електронів для даного матеріалу.

21.32. При збільшенні частоти падаючого випромінювання в чотири рази затримуюча напруга збільшилася на 5 В. Знайдіть початкову частоту падаючого випромінювання.

21.33. При зміні довжини хвилі падаючого випромінювання в 1,5 разу затримуюча напруга збільшилася з 1,6 В до 3 В. Знайдіть роботу виходу електронів для цього матеріалу.

21.34. При освітленні фотоелемента світлом з довжиною хвилі 600 нм він заряджається до напруги 1,2 В. До якої напруги зарядиться цей фотоелемент при освітленні його світлом з довжиною хвилі 400 нм?

21.35. Фотоелектрони, що вириваються з поверхні деякого металу світлом із частотою $2,2 \cdot 10^{15}$ Гц, затримуються напругою 6,6 В, а ті, що вириваються світлом із частотою $4,6 \cdot 10^{15}$ Гц — напругою 16,5 В. Визначте за цими даними сталу Планка.

21.36. Яка частина енергії фотона витрачається на роботу виходу електрона, якщо червона межа фотоефекту 628 нм, а максимальна кінетична енергія фотоелектрона 1 еВ?

21.37. Робота виходу електронів для Цинку дорівнює 4 еВ. Цинковий катод фотоелемента освітлюється світлом з довжиною хвилі 200 нм. До електродів підключений конденсатор ємністю 10 мкФ. Який заряд буде на конденсаторі при тривалому освітленні?

21.38. Катод фотоелемента освітлюється світлом з довжиною хвилі 180 нм. Червона межа фотоефекту 275 нм. До електродів підключений конденсатор ємністю 6 мкФ. Знайдіть енергію електричного поля конденсатора при тривалому освітленні.

21.39. Фотоелектрон, отриманий у результаті освітлення пластинки світлом з довжиною хвилі λ , потрапляє в магнітне поле з індукцією B і описує в ньому коло радіусом R . Знайдіть роботу виходу для даного матеріалу.

21.40. На катод фотоелемента падає випромінювання із частотою ν . Знайдіть максимальне відхилення фотоелектрона по вертикалі, якщо паралельно площинам електродів утворене електричне поле напруженістю E ? Робота виходу A , відстань між електродами L . (Вважайте, що фотоелектрони вилітають перпендикулярно до поверхні катода.)

21.41. Випромінювання лазера з довжиною хвилі 500 нм сфокусовано на плоскому фотокатоді в пляму діаметром 0,2 мм. На плоский анод, розташований на відстані 3,5 см від катода, подана прискорююча напруга 3 кВ. Вважаючи, що поверхні катода й анода паралельні одна одній, знайдіть діаметр плями фотоелектронів на аноді. Робота виходу для матеріалу фотокатода 2 еВ, електрони вилітають із фотокатода за всіма можливими напрямками.

21.42. Побудуйте графік залежності кінетичної енергії фотоелектронів від частоти випромінювання.

21.43. Побудуйте графік залежності кінетичної енергії фотоелектронів від довжини хвилі випромінювання.

21.44. Побудуйте графік залежності затримуючої напруги фотоелектронів від частоти випромінювання.

22. АТОМНА І ЯДЕРНА ФІЗИКА

Приклади розв'язування задач

Задача 1. При зіткненні з нерухомим ядром мішені α -частинка розсіялася на кут $\varphi = 30^\circ$, а ядро вилетіло під таким самим кутом. Визначте масу мішені.

Дано:

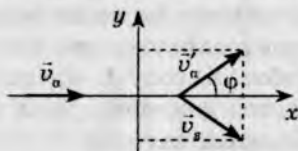
$$\varphi_\alpha = \varphi_\gamma = \varphi = 30^\circ$$

$$m_\alpha = 4 \text{ а. о. м.}$$

$$m_\gamma = ?$$

Розв'язання

Виконаємо пояснювальний рисунок.



За законом збереження імпульсу: $m_\alpha \vec{v}_\alpha = m_\alpha \vec{v}'_\alpha + m_\gamma \vec{v}_\gamma$.

Проектуючи вектори на координатні осі, одержимо систему рівнянь

$$\begin{cases} m_\alpha v_\alpha = m_\alpha v'_\alpha \cos \varphi + m_\gamma v_\gamma \cos \varphi, \\ 0 = m_\alpha v'_\alpha \sin \varphi - m_\gamma v_\gamma \sin \varphi. \end{cases}$$

Із другого рівняння випливає, що $m_\alpha v'_\alpha = m_\gamma v_\gamma$. Підставляючи отримане співвідношення в перше рівняння, одержимо:

$$m_\alpha v_\alpha = 2m_\gamma v_\gamma \cos \varphi.$$

Відповідно до закону збереження енергії $\frac{m_\alpha v_\alpha^2}{2} = \frac{m_\alpha (v'_\alpha)^2}{2} + \frac{m_\gamma v_\gamma^2}{2}$.

Помноживши рівняння на m_α та з урахуванням отриманих співвідношень, одержимо: $4m_\alpha^2 v_\alpha^2 \cos^2 \varphi = m_\alpha^2 v_\alpha^2 + m_\gamma m_\alpha v_\alpha^2$.

Розділимо це рівняння на $m_\gamma v_\gamma^2$ та розв'яжемо його відносно m_γ .

Отримасмо: $m_\gamma = \frac{m_\alpha}{4 \cos^2 \varphi - 1}$.

За умовою $\varphi = 30^\circ$, тобто $\cos \varphi = \frac{\sqrt{3}}{2}$, отже, $m_\gamma = \frac{m_\alpha}{2}$.

Визначимо значення шуканої величини: $m_\gamma = \frac{4 \text{ а. о. м.}}{2} = 2 \text{ а. о. м.}$

Відповідь: маса ядра-мішені $m_\gamma = 2 \text{ а. о. м.}$ — це ядро Дейтерію.

Задача 2. Потужність силових установок атомного криголама дорівнює 32,4 МВт. Працюючи на повній потужності, криголам витрачає щодоби 240 г Урану-235. Визначте ККД його атомного реактора, якщо в результаті поділу одного ядра Урану виділяється енергія 200 МеВ.

Дано:

$$P = 32,4 \text{ МВт}$$

$$t = 24 \text{ год}$$

$$m = 240 \text{ г}$$

$$W_1 = 200 \text{ МеВ}$$

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$$

$$M = 235 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

$$\eta = ?$$

СІ

$$P = 3,24 \cdot 10^7 \text{ Вт}$$

$$t = 8,64 \cdot 10^4 \text{ с}$$

$$m = 0,24 \text{ кг}$$

$$W_1 = 3,2 \cdot 10^{-11} \text{ Дж}$$

Розв'язання

За визначенням ККД

$$\eta = \frac{A_{\text{кор}}}{A_{\text{внк}}} \cdot 100 \% \quad (1)$$

Корисна робота визначається потужністю силових установок:

$$A_{\text{кор}} = Pt. \quad (2)$$

Виконана робота дорівнює енергії, що виділяється внаслідок поділу ядер Урану, тобто

$$A_{\text{внк}} = W = W_1 N,$$

де N — кількість ядер, що розпалися, яка дорівнює кількості атомів у 240 г ядерного палива. Її можна знайти через кількість

речовини. Відомо, що
$$\begin{cases} v = \frac{N}{N_A}, \\ v = \frac{m}{M}, \end{cases} \quad \text{звідки } N = \frac{m N_A}{M}. \quad \text{Тоді}$$

$$A_{\text{внк}} = \frac{m N_A W_1}{M}. \quad (3)$$

Після підстановки виразів (2) і (3) у вираз (1) одержимо остаточну формулу
$$\eta = \frac{M P t}{m N_A W_1} \cdot 100 \%.$$

Визначимо значення шуканої величини:

$$\begin{aligned} [\eta] &= \frac{\text{кг} \cdot \text{Вт} \cdot \text{с}}{\text{кг} \cdot \text{моль} \cdot \text{моль}^{-1} \cdot \text{Дж}} \cdot \% = \frac{\text{Дж} \cdot \text{с}}{\text{с} \cdot \text{Дж}} \cdot \% = \% ; \\ \eta &= \frac{235 \cdot 10^{-3} \cdot 3,24 \cdot 10^7 \cdot 8,64 \cdot 10^4}{0,24 \cdot 6,02 \cdot 10^{23} \cdot 3,2 \cdot 10^{-11}} \cdot 100 \% = 14 \% . \end{aligned}$$

Відповідь: ККД реактора $\eta \approx 14 \%.$

1-й рівень складності

22.1. Визначте кількість нуклонів у ядрах ізотопів таких елементів: $^{27}_{13}\text{Al}$; $^{17}_8\text{O}$; $^{14}_7\text{N}$; $^{232}_{92}\text{U}$; $^{235}_{92}\text{U}$; $^{239}_{94}\text{Pu}$.

22.2. Визначте кількість протонів у ядрах атомів таких елементів: ^9_4Be ; $^{235}_{92}\text{U}$; $^{260}_{104}\text{Ku}$; $^{52}_{24}\text{Cr}$; $^{106}_{46}\text{Pd}$.

22.3. Ядра яких елементів мають однакову кількість протонів:

а) $^{106}_{46}\text{Pd}$ і $^{107}_{47}\text{Ag}$;

б) $^{211}_{82}\text{Pb}$ і $^{207}_{82}\text{Pb}$;

в) $^{211}_{82}\text{Pb}$ і $^{211}_{83}\text{Bi}$;

г) $^{88}_{38}\text{Sr}$ і $^{89}_{39}\text{Y}$?

22.4. Скільки нейтронів міститься в ядрах атомів таких елементів: $^{137}_{55}\text{Ba}$; $^{204}_{81}\text{Tl}$; $^{84}_{36}\text{Kr}$; $^{133}_{55}\text{Cs}$?

22.5. Визначте склад ядер атомів таких елементів:

а) ^7_3Li ;

б) $^{10}_5\text{B}$;

в) $^{21}_{10}\text{Ne}$;

г) $^{19}_9\text{F}$;

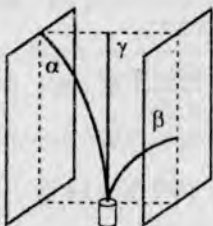
д) $^{132}_{50}\text{Sn}$;

е) $^{227}_{90}\text{Th}$;

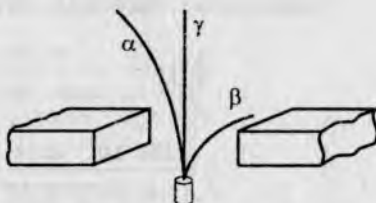
ж) $^{204}_{81}\text{Tl}$.

22.6. Заряд ядра атома дорівнює $2,08 \cdot 10^{-18}$ Кл. Який це елемент?

22.7. На рисунку показано, як розщеплюється радіоактивне випромінювання, проходячи між пластинами зарядженого конденсатора. Визначте, яка пластина заряджена позитивно. Свою відповідь обґрунтуйте.



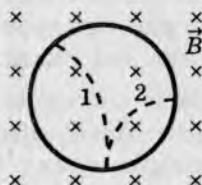
До задачі 22.7



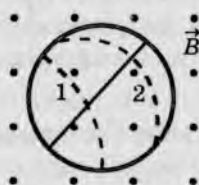
До задачі 22.8

22.9. На рисунку зображені сліди електрона й позитрона в камері Вільсона. Камера розташована в магнітному полі, лінії індукції якого спрямовані від нас перпендикулярно до площини рисунка. Який трек належить позитрону, а який — електрону? Яка частинка має більшу кінетичну енергію?

22.10. На рисунку зображені треки двох частинок, які проходять крізь пластинку АС в камері Вільсона, що перебуває в однорідному магнітному полі, магнітні лінії якого спрямовані перпендикулярно до площини рисунка. Визначте знаки зарядів й напрямок руху частинок.



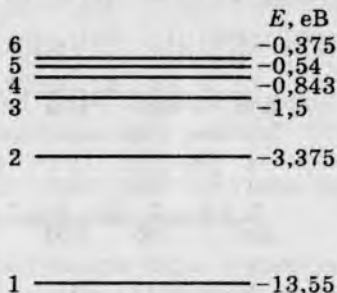
До задачі 22.9



До задачі 22.10

22.11. На рисунку наведена схема енергетичних рівнів атома Водню. Визначте його енергію іонізації.

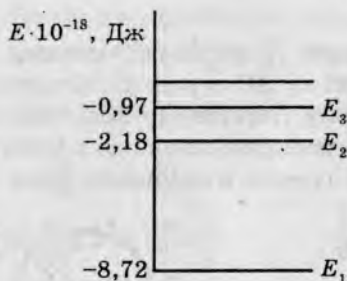
22.12. У скільки разів змінилася енергія атома Водню (див. рисунок), якщо атом перейшов: а) з четвертого енергетичного стану в другий; б) з першого в третій?



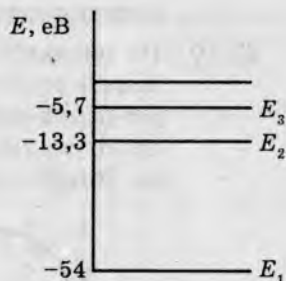
До задач 22.11, 22.12

22.13. Припустимо, що схема енергетичних рівнів атомів розрідженого газу має вигляд, як показано на рисунку. У початковий момент атоми перебувають у стані з енергією E_1 . Фотони з якою енергією може поглинати газ?

- 22.14.** На рисунку наведена схема енергетичних рівнів атома газу. Атом перебуває в другому збудженому стані. Фотони з якою енергією може містити спонтанне випромінювання цього газу?

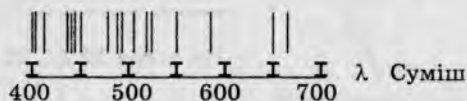
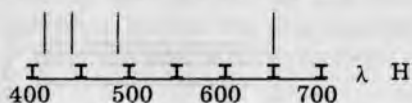


До задачі 22.13



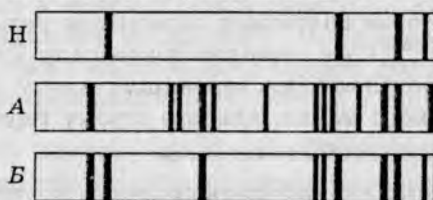
До задачі 22.14

- ? 22.15.** На рисунку зображені спектри поглинання атомів Натрію, Гідрогену й Гелію. Компоненти яких газів входять до складу газової суміші?

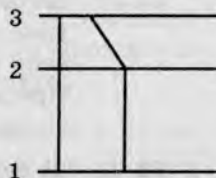


- ? 22.16.** На рисунку зображені спектри випромінювання парів Водню. Чи міститься Водень у зразках А або Б?

- ? 22.17. На рисунку наведена трирівнева схема роботи лазера. Запишіть формулу для визначення частоти його індукованого випромінювання.



До задачі 22.16



До задачі 22.17

- ? 22.18. Які характеристики співпадають у світловій хвилі, яка виникає при індукованому випромінюванні, й у світловій хвилі, яка викликає це випромінювання?

- 22.19. Як зміниться повна енергія системи, що складається з одного вільного протона й вільного нейтрона, у результаті їхнього з'єднання в атомне ядро Дейтерію?

- 22.20. Допишіть відсутні елементи в ядерній реакції:

- а) ${}_{13}^{27}\text{Al} + \gamma \rightarrow {}_{12}^{26}\text{Mg} + ?$; б) ${}_{5}^{10}\text{B} + ? \rightarrow {}_{3}^{7}\text{Li} + {}_{2}^{4}\text{He}$;
 в) $? + {}_{1}^{1}\text{H} \rightarrow {}_{8}^{16}\text{O} + {}_{2}^{4}\text{He}$; г) ${}_{13}^{27}\text{Al} + {}_{2}^{4}\text{He} \rightarrow ? + {}_{1}^{1}\text{H}$;
 д) ${}_{4}^{9}\text{Be} + {}_{2}^{4}\text{He} \rightarrow {}_{6}^{12}\text{C} + ?$; е) ${}_{13}^{27}\text{Al} + {}_{0}^{1}\text{n} \rightarrow ? + {}_{2}^{4}\text{He}$;
 ж) ${}_{7}^{14}\text{N} + {}_{0}^{1}\text{n} \rightarrow ? + {}_{1}^{1}\text{H}$; з) $? + {}_{2}^{4}\text{He} \rightarrow {}_{8}^{17}\text{O} + {}_{1}^{1}\text{H}$;
 и) ${}_{19}^{41}\text{K} + ? \rightarrow {}_{20}^{44}\text{Ca} + {}_{1}^{1}\text{H}$; к) $? + {}_{1}^{1}\text{H} \rightarrow {}_{43}^{97}\text{Tc} + {}_{0}^{1}\text{n}$;
 л) ${}_{3}^{6}\text{Li} + {}_{1}^{2}\text{H} \rightarrow {}_{2}^{4}\text{He} + ?$; м) ${}_{92}^{235}\text{U} + {}_{0}^{1}\text{n} \rightarrow {}_{56}^{141}\text{Ba} + ? + 3{}_{0}^{1}\text{n}$.

- 22.21. Протактиній (${}_{91}^{231}\text{Pa}$) піддали одному α -розпаду. Що є кінцевим продуктом цієї реакції?

- 22.22. Уран (${}_{92}^{238}\text{U}$) піддали трьом α - і двом β -розпадам. Визначте кінцевий продукт реакції.

- 22.23. Радон (${}_{86}^{222}\text{Rn}$) зазнав один α -розпад і два β -розпади. Ядро якого елемента стало продуктом цих розпадів?

- 22.24. Радіоактивний ізотоп має період піврозпаду 2 хв. Скільки ядер із 1000 зазнає розпаду за 2 хв?

- 22.25. Є 10^9 атомів радіоактивного ізотопу Йоду (${}_{53}^{128}\text{I}$), період піврозпаду якого 25 хв. Яка приблизна кількість ядер залишиться через 50 хв?

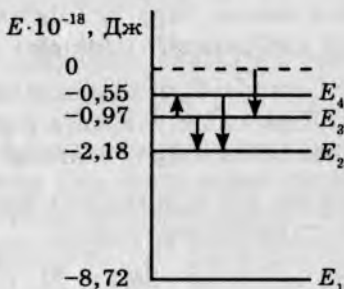
- 22.26.** Яка кількість піврозпадів має відбутися, щоб від речовини залишилося $1/16$ початкової кількості радіоактивних ядер?
- 22.27.** Деяка територія виявилася зараженою радіоактивним ураном-232 ($^{232}_{92}\text{U}$) з періодом піврозпаду 70 років. Рівень α -випромінювання перевищує норму в 16 разів. Протягом якого максимального строку територію слід вважати зараженою?
- 22.28.** За першу хвилину розпалася половина початкової кількості атомів. Яка частина початкової кількості атомів залишиться через 3 хвилини?
- 22.29.** Між джерелом радіоактивного випромінювання та детектором поміщений товстий (в 1 мм) аркуш паперу. Які складові випромінювання пройдуть крізь нього?
- 22.30.** Яке випромінювання може зафіксувати детектор радіоактивних випромінювань, розташований у картонній коробці з товщиною стінок 1,2 мм?
- 22.31.** Визначте дефект мас ядер ізотопів таких елементів:
а) Бору ($^{11}_5\text{B}$); б) Дейтерію (^2_1D); в) Калію ($^{40}_{19}\text{K}$).
- ? 22.32.** Яка взаємодія — ядерна чи слабка — має більший радіус дії?

2-й рівень складності

- 22.33.** За якою формулою можна визначити масу фотона, що поглинається атомом, коли він переходить з основного стану з енергією E_0 у збуджений стан з енергією E_1 ?
- 22.34.** Енергія основного стану атома дорівнює E_0 . Як визначити енергію збудженого стану атома при поглинанні фотона з імпульсом p ?
- 22.35.** Атом, модуль імпульсу якого p_1 , випроменив у напрямку свого руху фотон із частотою хвилі ν . Визначте імпульс атома після випромінювання фотона.
- 22.36.** Атом випустив фотон з енергією $6 \cdot 10^{-18}$ Дж. Який імпульс набув атом?
- 22.37.** На які стаціонарні орбіталії переходять електрони в атомі Водню, якщо атом дає видиме випромінювання?

22.38. Значення енергії в атомі Гідрогену задаються формулою $E_n = -13,55 \frac{\text{eB}}{n^2}$, де $n = 1, 2, 3, \dots$. При переході атома з верхніх рівнів енергії на перший виникає серія Лаймана, на другий — серія Бальмера. Знайдіть відношення максимальної енергії фотона в серії Лаймана до мінімальної енергії фотона в серії Бальмера.

22.39. На рисунку представлені чотири переходи між рівнями воднеподібного атома. Визначте найбільшу довжину світлової хвилі, випромінюваної в результаті цих переходів.



22.40. Для іонізації атома Нітрогену необхідна енергія 14,53 eB. Знайдіть довжину хвилі випромінювання, що викликає його іонізацію.

22.41. При переході атома Гідрогену із четвертого енергетичного стану в другий випромінюються фотони з енергією 2,55 eB (зелена лінія спектра Водню). Визначте довжину хвилі цієї лінії спектра.

22.42. У скільки разів довжина хвилі випромінювання атома Гідрогену при переході із третього енергетичного стану в другий більша за довжину хвилі випромінювання, зумовленого переходом із другого стану в перший?

22.43. Продуктом трьох α -розпадів і двох β -розпадів є ядро Полонію-213. Визначте вихідний елемент реакції.

22.44. У результаті шести α - і двох β -розпадів утворилося ядро Свинцю-209. Визначте вихідний елемент реакції.

22.45. Уран ($^{238}_{92}\text{U}$) у результаті кількох α - і β -розпадів перетворюється у Свинець ($^{206}_{82}\text{Pb}$). Скільки і які радіоактивні розпади відбулися?

22.46. Скільки α - і β -розпадів має відбутися, щоб Протактиній ($^{231}_{91}\text{Pa}$) перетворився в Торій ($^{227}_{90}\text{Th}$)?

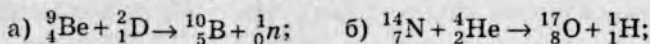
22.47. У результаті реакції ізотопу Алюмінію-27 і Вуглецю-12 утворюються α -частинка, нейтрон і ядро ізотопу деякого елемента. Ядро якого елемента утворилося? Запишіть цю ядерну реакцію.

22.48. Ядро якого елемента утвориться, якщо ядро Нептунію-234 захопить електрон з К-оболонки, випустивши при цьому α -частинку? Запишіть ядерну реакцію, що відбулася.

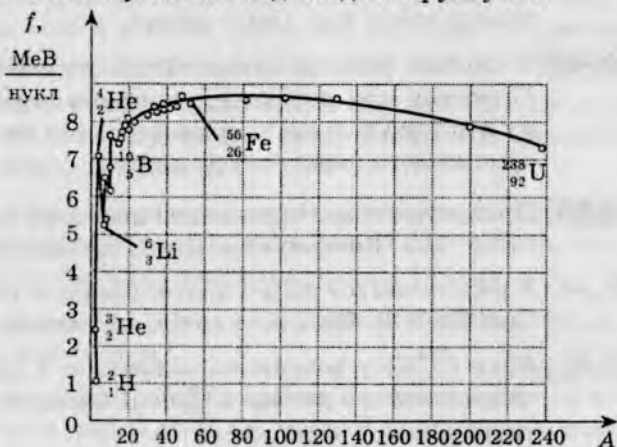
22.49. При бомбардуванні ізотопу Азоту-14 нейтронами утвориться ізоотоп Бору-11. Які ще частинки утворюються в ході цієї реакції? Запишіть ядерну реакцію.

22.50. Ядро Берилію-9, захопивши дейтрон, випромінює нейтрон. Ядро якого елемента утвориться в ході цієї реакції? Запишіть ядерну реакцію.

22.51. Визначте, які з наведених реакцій є екзотермічними, а які — ендотермічними?



? 22.52. За діаграмою залежності питомої енергії зв'язку від масового числа визначте, виділенням чи поглинанням енергії буде супроводжуватися розпад ядра, що складається з 240 нуклонів. Відповідь обґрунтуйте.



22.53. Визначте енергію зв'язку ядер атомів таких елементів:

- а) Бору (${}^{11}_5\text{B}$); б) Тритію (${}^3_1\text{T}$); в) Кобальту (${}^{60}_{27}\text{Co}$).

22.54. Визначте питому енергію зв'язку нуклонів у ядрах ізотопів таких елементів:

- а) Літію (${}^7_3\text{Li}$); б) Оксигену (${}^{16}_8\text{O}$); в) Кальцію (${}^{40}_{20}\text{Ca}$).

22.55. Визначте питому енергію зв'язку α -частинки.

22.56. Яка енергія необхідна, щоб розділити на окремі нуклони ядра атомів таких елементів:

- а) ${}^{60}_{27}\text{Co}$; б) ${}^{139}_{57}\text{La}$; в) ${}^{139}_{54}\text{Xe}$?

22.57. Яка енергія виділиться внаслідок реакції термоядерного синтезу: ${}^2_1\text{H} + {}^3_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He} + {}^1_0\text{n}$?

22.58. Яка енергія виділиться в результаті захоплення нейтрона ядром Урану-235, якщо в результаті реакції, крім двох нейтронів, утворилися ядра Ксенону-140 і Стронцію-94? Питома енергія зв'язку ізотопів відповідно дорівнює: Урану — $7,6 \frac{\text{MeV}}{\text{нукл}}$, Ксенону — $8,4 \frac{\text{MeV}}{\text{нукл}}$, Стронцію — $8,7 \frac{\text{MeV}}{\text{нукл}}$. Запишіть також ядерну реакцію.

22.59. Яку енергію повинна мати α -частинка для здійснення таких реакцій: а) ${}^9_4\text{Be} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{12}_6\text{C} + {}^1_0\text{n}$;

- б) ${}^7_3\text{Li} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{10}_5\text{B} + {}^1_0\text{n}$; в) ${}^{14}_7\text{N} + {}^4_2\text{He} \rightarrow {}^{17}_8\text{O} + {}^1_1\text{H}$?

22.60. Ядро Літію-7, захопивши протон, розпадається на дві однакові частки. Запишіть ядерну реакцію й визначте сумарну кінетичну енергію цих частинок. (Кінетичною енергією протона знехтувати.)

22.61. Поглинаючи фотон γ -випромінювання з довжиною хвилі $4,7 \cdot 10^{-13}$ м, дейтрон розпадається на протон і нейтрон. Визначте сумарну кінетичну енергію частинок, що утворилися.

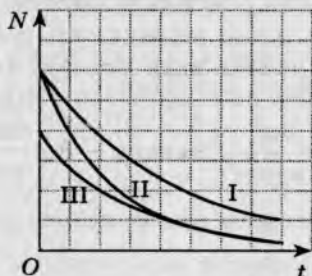
22.62. Унаслідок анігіляції електрона та позитрона, які рухалися повільно, утворилися два однакові γ -кванти. Визначте частоту γ -випромінювання.

- ? 22.63. Трек електрона в магнітному полі має вигляд равлика (див. рисунок). Де початок і де кінець треку? Як напрямлене магнітне поле?

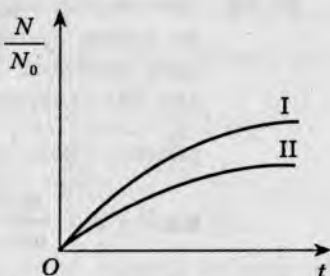


- ? 22.64. На рисунку наведена залежність від часу кількості ядер N трьох ізотопів, які не розпалися в процесі радіоактивного розпаду. Для якого з них період піврозпаду найменший? Свою відповідь обґрунтуйте.

- ? 22.65. На рисунку поданий графік залежності від часу частки ядер, що розпалися, для двох радіоактивних ізотопів. Який з елементів має більший період піврозпаду? Свою відповідь обґрунтуйте.



До задачі 22.64



До задачі 22.65

- 22.66. Половина ядер радіоактивного ізотопу Йоду ($^{131}_{53}\text{I}$) розпадається за 8 діб. Яка частина його ядер залишиться через 40 діб?

- 22.67. Період піврозпаду радіоактивного ізотопу Міді дорівнює 10 хв. Яка частина початкової кількості радіоактивної Міді залишиться через годину?

- 22.68. Яка частина радіоактивних ядер Заліза-59 залишиться через місяць, якщо його період піврозпаду дорівнює 45 діб?

- 22.69. Є 10^9 атомів радіоактивного ізотопу Йоду ($^{128}_{53}\text{I}$), період піврозпаду якого 25 хв. Яка кількість ядер зазнає розпаду за 50 хв?

22.70. Радіоактивний ізотоп Калію-40 у результаті β -розпаду перетворюється в ізотоп Кальцію-40. Яка відносна кількість ядер Калію перетворилася в ядра Кальцію за час існування Землі. Вік Землі прийміть за 6,5 млрд років.

22.71. Яка частина радіоактивних ядер деякого елемента розпадається за час, що дорівнює половині періоду піврозпаду?

22.72. Активність радіоактивного елемента зменшилася в чотири рази за 8 днів. Який період піврозпаду цього елемента?

22.72а. Знайдіть масу ізоотопу ${}^{60}_{27}\text{Co}$, яка необхідна для одержання активності 1 кКі. У скільки разів зміниться ця активність через 10,5 років?

? **22.73.** Що можна сказати про власний час життя частинки в порівнянні з виміряним часом її життя?

? **22.74.** Якими перетвореннями в атомному ядрі зумовлене β^- -випромінювання?

? **22.75.** Якими перетвореннями в атомному ядрі зумовлений β^+ -розпад?

3-й рівень складності

22.76. У досліді Резерфорда внаслідок центрального зіткнення α -частинки, що має енергію $8 \cdot 10^{-13}$ Дж, з ядрами Міді α -частинки відлітають назад з енергією $6,24 \cdot 10^{-13}$ Дж. Визначте співвідношення мас α -частинки і ядра Міді.

22.77. На яку мінімальну відстань може наблизитися до ядра атома Золота α -частинка, рухаючись з нескінченності по прямій, що з'єднує їхні центри, зі швидкістю $1,9 \cdot 10^7$ м/с?

22.78. Визначте відстань максимального наближення α -частинки до ядра атома Золота, якщо вона має енергію: а) 8,78 МеВ; б) 5,15 МеВ.

22.78а*. На ядро Літію налетів протон з кінетичною енергією W_p . У результаті реакції утворилися дві α -частинки з однаковими енергіями. Знайдіть кут розлітання.

22.79. У ланцюгові радіоактивних перетворень після кількох α - і β -розпадів ядро деякого важкого атома перетворюється в ядро стійкого атома, у якого кількість нейтронів на 27 менше, ніж у початкового ядра. Відомо, що кількість α -розпадів дорівнює кількості β -розпадів. Визначте кількість розпадів.

22.80*. Визначте період піврозпаду Радону, якщо за 1 добу з 10^6 ядер Радону розпадається $1,75 \cdot 10^4$ ядер.

22.81*. Знайдіть масу ізотопу ${}_{27}^{60}\text{Co}$, необхідну для одержання активності 1 кКи. У скільки разів зменшиться ця активність через 10,5 років?

22.82. Поглинаючи фотон з довжиною хвилі $4,7 \cdot 10^{-13}$ м, дейтрон розпадається на протон і нейтрон. Визначте сумарну кінетичну енергію протону і нейтрону після розпаду.

? 22.83*. Чому потужність вибуху, зумовленого діленням ядер, має межу? Чи має межу потужність термоядерного вибуху?

22.84. Під час вибуху водневої бомби відбувається реакція термоядерного синтезу (утворення Гелію з Дейтерію та Тритію). Яка кількість енергії виділяється при утворенні 1 г Гелію? Скільки води, узятої при 100°C , можна перетворити на пару за рахунок енергії, що виділилася?

22.85. У результаті розпаду ядра Урану-235, що захопило нейтрон, утворилися ядра Барію-142 і Крипτονу-91, а також три вільні нейтрони. Питома енергія зв'язку

ядра Урану дорівнює $7,59 \frac{\text{MeV}}{\text{нукл}}$, Барію — $8,38 \frac{\text{MeV}}{\text{нукл}}$,

Крипτονу — $8,55 \frac{\text{MeV}}{\text{нукл}}$. Яка енергії виділиться при діленні 1 г Урану?*

* У цій та інших задачах розділу вважайте, що при кожному діленні ядра Урану-235 виділяється 200 MeV енергії.

22.86. Скільки льоду, узятото при температурі -10°C , можна перетворити на пару за рахунок енергії, що виділяється при діленні 8 г Урану-235?

22.87. При згорянні якої маси вугілля виділиться стільки ж енергії, скільки виділяється при діленні ядер, що містяться в 2,85 г Урану-235?

22.88. Маса початкового завантаження Урану-235 у реакторі 10 кг. За який проміжок часу початкове завантаження зменшиться на 2 %? Потужність реактора постійна й дорівнює 1 МВт.

22.89. Визначте, яку кількість Урану ($^{235}_{92}\text{U}$) за добу споживає ядерний реактор, якщо теплова потужність реактора 10 МВт.

22.90. Визначте ККД першої у світі атомної електростанції в м. Обнинську, потужність якої дорівнює 5 МВт. Станція використовувала 30 г Урану ($^{235}_{92}\text{U}$) за добу.

22.91. Скільки Урану ($^{235}_{92}\text{U}$) щодоби витрачається на атомній електростанції потужністю 15 МВт, якщо ККД дорівнює 22 %?

22.92. Атомний підводний човен розвиває потужність 60 МВт. Скільки Урану ($^{235}_{92}\text{U}$) витрачається у реакторі човна за добу, якщо його ККД дорівнює 16,9 %?

22.93. Яку потужність має атомна електростанція, ККД якої становить 26 %, а щодоби витрачається 150 г ізотопу Урану ($^{235}_{92}\text{U}$)?

ВІДПОВІДІ

ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ

1. Закон Кулона. Закон збереження електричного заряду

- 1.1. Зменшиться в 9 разів. 1.2. Зменшиться в 4 рази. 1.3. Збільшиться в 6 разів. 1.4. 0,17 мкКл. 1.5. 30 см. 1.6. 0,2 мкКл, 1 мкКл. 1.7. 20 см. 1.8. $8 \cdot 10^{13}$; на $7,3 \cdot 10^{-17}$ кг. 1.9. 8 нКл; на $45,5 \cdot 10^{-21}$ кг. 1.10. 20 см. 1.11. $5 \cdot 10^{12}$. 1.12. $1,25 \cdot 10^{12}$. 1.13. 225 мН. 1.14. $1,44 \cdot 10^{-5}$ Н. 1.15. На 62,5 см. 1.16. Зменшиться в 36 разів. 1.17. Збільшиться в 36 разів. 1.18. Не зміниться. 1.19. 38 мкКл і 12 мкКл. 1.20. 2 мН. 1.21. $\frac{5kq^2}{R^2}$; напрямлена до заряду $-3q$. 1.22. $\frac{kq^2}{R^2}$; напрямлена до заряду $-3q$. 1.23. $\frac{kq^2}{R^2}$; напрямлена до заряду $+3q$. 1.24. $4,17 \cdot 10^{42}$. 1.25. $1,24 \cdot 10^{36}$. 1.26. $2,3 \cdot 10^{39}$. 1.27. Будь-який заряд на відрітку, що з'єднує заряди, на відстані 8 см від меншого заряду. 1.28. $-2,25$ мкКл на прямій, що з'єднує заряди, на відстані 5 см від меншого й 15 см від більшого заряду. 1.29. $-56,25$ мкКл на прямій, що з'єднує заряди, на відстані 30 см від меншого й 50 см від більшого заряду. 1.30. 6 мкКл і -18 мкКл або -6 мкКл і 18 мкКл. 1.31. 4 мкКл і 12 мкКл або -4 мкКл і -12 мкКл. 1.32. Збільшилася в 6,4 рази. 1.33. 2,8 нКл. 1.34. 9,5 см. 1.35. 1,68 м; 70 мН. 1.36. 3750 рад/с. 1.37. 5 с; 58 мН. 1.38. 0,72 мкКл. 1.39. 5,6 мг. 1.40. 19 см. 1.41. Розійдуться після зіткнення на 3 см. 1.42. $F = \frac{kqQL}{R^3}$. 1.43. $-5,2$ нКл. 1.44. $q = 2L \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right) \sqrt{\frac{mg \operatorname{tg}\left(\frac{\alpha}{2}\right)}{k}}$. 1.45. 64 нКл; 25 нКл; 22,2 нКл. 1.46. $F = \frac{kq^2}{4L^2}$.

2. Напруженість електростатичного поля. Принцип суперпозиції

- 2.1. Кут розходження пелюсток електроскопа в міру наближення наелектризованої ебонітової палички буде збільшуватися, якщо електроскоп був заряджений негативно, і зменшуватися, якщо електроскоп був заряджений позитивно. 2.2. Практично весь заряд переходить до Землі. 2.3. Електризація

впливом. 2.4. Позитивний. 2.5. Негативний. 2.9. Електрон — рівноприскорено; протон — рівноприскорено. 2.10. Електрон — рівноприскорено; протон — рівноприскорено. 2.11. $5 \cdot 10^6$ Н/Кл. 2.12. 1,8 мН. 2.13. 160 мкКл. 2.14. 675 Н/Кл. 2.15. 0,14 нКл. 2.16. 50 см. 2.17. 0; 0; 3,6 кН/Кл. 2.18. На відстані 7,5 см від меншого заряду. 2.19. На прямій, що з'єднує заряди, на відстані 30 см від меншого заряду й 50 см від більшого. 2.20. $4 \cdot 10^4$ Н/Кл; 0,4 мкКл. 2.21. 4,8 мН; 5,6 нКл. 2.22. 375 Н/Кл; у бік меншого заряду; 375 Н/Кл; у бік більшого заряду; 2625 Н/Кл; у бік більшого заряду. 2.23. Від зарядів 337,5 Н/Кл. 2.24. 8600 Н/Кл; до зарядів. 2.25. 16 Н/Кл. 2.26. 1 пКл. 2.27. 90 мг. 2.28. 18,75 Н/Кл. 2.29. 182 Н/Кл. 2.30. $1,9 \cdot 10^{10}$ м/с². 2.31. У 1835 разів. 2.32. Сила буде більшою, якщо заряди різнойменні. 2.33. Зарядити одну кульку, потім привести її до зіткнення з іншою кулькою й роз'єднати. Після цього кульки будуть мати однакові за модулем й знаком заряди. Дві кульки, які дотикаються одна до одної, зарядити впливом (тобто розмістити поблизу них заряджене тіло), а потім розсунути, не прибираючи заряд, що впливав на них. Кульки одержать однакові за модулем, але різні за знаком заряди. 2.34. $1,14 \cdot 10^{-7}$ с. 2.35. 20 км/с, 4 мкс. 2.36. 47 см. 2.37. 52°. 2.38. 18°. 2.39. а) 0; б) 0; в) 51 кН/Кл; на-
прямок див. на рисунку. 2.40. 28 кВ/м. 2.41. $E = \frac{2kQRL}{\left(R - \frac{L}{2}\right)^2 \left(R + \frac{L}{2}\right)^2}$.

2.42. 3,1 кН/Кл. 2.43. 1,7 кН/Кл. 2.44. $E = \sqrt{6} \frac{kq}{a^2} = 2,6$ кН/м.

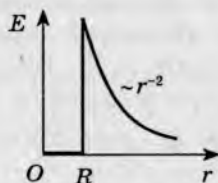
2.45. $E = 509$ МН/Кл, кут між вектором напруженості й короткою діагоналлю 45°. 2.46. $1,7 \cdot 10^5$ Н/Кл. 2.47. $E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0}$.

2.48. $E = E_+ + E_- = \frac{\sigma}{\epsilon_0}$. 2.49. Див. рисунок. При $r \geq R$ $E = k \frac{Q}{r^2}$.

При $r < R$ поле відсутнє. 2.50. $E = \frac{\rho}{2\pi\epsilon_0 r}$. 2.51. $\Phi = \frac{1}{2} EL^2$.



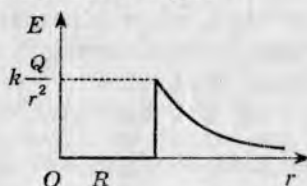
До задачі 2.39



До задачі 2.49

3. Речовина в електричному полі

3.4. У провіднику переміщення зарядів відбувається таким чином, що його внутрішнє поле компенсує зовнішнє електричне поле. 3.5. Оскільки заряди по поверхні провідника не рухаються, напруженість поля може бути напрямлена тільки по нормалі до поверхні провідника. 3.6. Зменшиться. 3.7. На електроскопі залишиться заряд зі знаком, протилежним знаку зарядженого тіла. 3.8. Зменшиться. 3.9. 36 мкН. 3.10. 7. 3.11. 0,1 мкН. 3.12. $-13,5$ мкКл. 3.13. Не зміниться. 3.14. $20,7$ Н/Кл. 3.15. 7,2. 3.16. 1 см. 3.17. Зменшиться в 18,9 разу. 3.18. 0,8 Н. 3.19. 81. 3.20. 860 Н/Кл. 3.21. Зменшиться в 7,7 разу. 3.22. $8,6 \cdot 10^4$ Н/Кл. 3.23. Необхідно заряджений провідник помістити всередину незарядженого провідника й доторкнутися до його внутрішньої стінки. Весь заряд перейде на зовнішню поверхню сфери незарядженого провідника. 3.24. 0; $1,35 \cdot 10^3$ Н/Кл; 600 Н/Кл. 3.25. Див. рисунок. 3.26. 8 мкКл і 9 мкКл. 3.27. $3,7 \cdot 10^5$ Н/Кл. 3.28. 1530 кг/м³.



До задачі 3.25

4. Потенціал електричного поля

4.1. 0,2 мкДж. 4.2. 0,4 мДж. 4.3. $-0,64$ мкДж. 4.4. $\varphi_1 = \varphi_3 > \varphi_2$. 4.5. $\varphi_2 = \varphi_3 > \varphi_1$. 4.6. $\varphi_2 = \varphi_3 < \varphi_1$; $\varphi_1 < 0$; $\varphi_2 < 0$; $\varphi_3 < 0$. 4.7. $A_1 = A_2 = A_3$. 4.8. $A_{12} = 0$; $A_{13} = A_{23}$. 4.9. Робота однакова за модулем, але різна за знаком: а) $A > 0$; б) $A < 0$. 4.10. 360 В. 4.11. 10 м. 4.12. 1 нКл. 4.13. 20 см. 4.14. 15 кВ/м. 4.15. Будуть переміщуватися від провідника з більшим потенціалом до провідника з меншим потенціалом до вирівнювання їх потенціалів. 4.16. Будуть переміщуватися від провідника з більшим потенціалом до провідника з меншим. 4.17. Будуть переміщуватися від провідника з більшим потенціалом до провідника з меншим. 4.18. Не будуть. 4.19. 0 В. 4.20. $\frac{2kq}{R}$. 4.21. $-\frac{2kq}{R}$. 4.22. 45 В. 4.23. 15 см. 4.24. 4,8 В. 4.25. 40 мкДж. 4.26. 15 см. 4.27. $1,28 \cdot 10^{-13}$ Дж.

4.28. 71 В. 4.29. 3 Мм/с. 4.30. 10^{12} м/с². 4.31. 10,4 кВ. 4.32. 79 нКл. 4.33. -0,24 Дж. 4.34. 10^{-9} Кл. 4.35. 450 кВ. 4.36. 1,76 нКл. 4.37. 24 В. 4.38. 80 см. 4.39. 0,67 мкКл. 4.40. 180 кВ.

5. Конденсатори. Енергія електричного поля

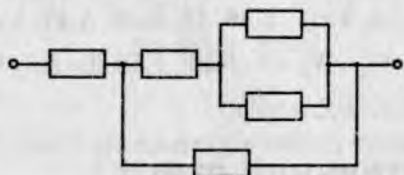
5.1. Збільшиться в ϵ разів. 5.2. Збільшиться в 3 рази. 5.3. Зменшиться в 4 рази. 5.4. 0,5 мкФ. 5.5. 500 В. 5.6. 4 мКл. 5.7. 44,3 пФ. 5.8. 1,875 мкФ. 5.9. 6 мкФ. 5.10. 9 мкФ. 5.11. 5 мкФ. 5.12. 0,6 Дж. 5.13. 20 мДж. 5.14. 134 В. 5.15. Заряд не зміниться; напруга зменшиться в ϵ разів. 5.16. Напруга не зміниться; заряд збільшиться в 2 рази. 5.17. Напруга не зміниться; заряд збільшиться в ϵ разів. 5.18. Розсунути так, щоб відстань стала 4,2 мм. 5.19. 5,25 мкФ. 5.20. 14/9 мкФ. 5.21. 5/8 мкФ. 5.22. 2 мкФ. 5.23. Будуть від першого провідника до другого. 5.24. Зменшиться в 12 разів. 5.25. Збільшиться в 3 рази. 5.26. Збільшиться в 6 разів. 5.27. Зменшиться в ϵ разів. 5.28. 31 нКл. 5.29. 4,425 мм. 5.30. 1,46 мкКл. 5.31. 2,4 мкДж. 5.32. 0,4 мкДж. 5.33. 0,24 Н. 5.34. 0,1 нКл. 5.35. 240 мкКл; 360 мкКл; 1,44 мКл; однакова напруга 120 В. 5.36. Однаковий заряд 131 мкКл; 65,5 В; 43,5 В; 11 В. 5.37. 1,3 мкФ. 5.38. 9 В. 5.39. 47,5 В. 5.40. 120 мкДж. 5.41. 850 мкДж. 5.42. 1 мкФ і 3 мкФ. 5.43. 3 мкФ і 6 мкФ. 5.44. На 1,1 мм. 5.45. 3 пФ. 5.46. 12 мкФ. 5.47. 5 мкФ. 5.48. 4 мкФ. 5.49. $C_x = \frac{C}{2}$. 5.50. $W_1 - W_2 > 0$. 5.51. 1,66 Дж/м³. 5.52. 4,425 Дж/м³. 5.53. 3 Дж/м³. 5.54. 2 Дж/м³.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ

6. Закон Ома для ділянки кола

6.1. 3 А. 6.2. 50 В. 6.3. 40 Ом. 6.4. 150 Кл. 6.5. 1,5 А. 6.6. 12 В. 6.7. Збільшиться в 3 рази. 6.8. 40 В. 6.9. 10 Ом. 6.10. $R_2 > R_1$. 6.11. 15 Ом. 6.12. 2 Ом. 6.13. 200 м. 6.14. 110 Ом. 6.15. $3 \cdot 10^{20}$. 6.16. $R_1 : R_2 = 3 : 4$. 6.17. 2,4 мм. 6.18. 1,1 А. 6.19. 6 Ом; $\frac{2}{3}$ Ом; 3 Ом; $\frac{4}{3}$ Ом. 6.20. 5 А; 3 А; 2 А. 6.21. а) $R = 8$ Ом; $U_1 = U_2 = U_3 = U_4 = 9$ В; $I_1 = I_2 = I_3 = I_4 = 4,5$ А; б) $R = 5$ Ом; $U_1 = U_2 = 14,4$ В; $U_3 = U_4 = 7,2$ В; $I_1 = I_2 = 7,2$ А; $I_3 = I_4 = 3,6$ А; в) $R = 2$ Ом; $U_1 = U_2 = U_3 = U_4 = 18$ В; $I_1 = I_2 = I_3 = I_4 = 9$ А; г) $R = 2$ Ом; $U_1 = U_2 = U_3 = U_4 = 18$ В; $I_1 = I_2 = I_3 = I_4 = 9$ А; д) $R = \frac{8}{3}$ Ом;

$U_1=27\text{ В}; U_2=U_3=U_4=9\text{ В}; I_1=13,5\text{ А}; I_2=I_3=I_4=4,5\text{ А}; \text{е) } R=\frac{10}{3}\text{ Ом};$
 $U_1=21,6\text{ В}; U_2=U_3=7,2\text{ В}; U_4=14,4\text{ В}; I_1=10,8\text{ А}; I_2=I_3=3,6\text{ А};$
 $I_4=7,2\text{ А}; \text{ж) } R=0,8\text{ Ом}; U_1=U_2=18\text{ В}; U_3=U_4=36\text{ В}; I_1=I_2=9\text{ А};$
 $I_3=I_4=18\text{ А}; \text{з) } R=1,2\text{ Ом}; U_1=24\text{ В}; U_2=U_3=12\text{ В}; U_4=36\text{ В}; I_1=12\text{ А};$
 $I_2=I_3=6\text{ А}; I_4=18\text{ А}. 6.22. \text{ а) } U_1=U_2=4\text{ В}; U_3=U_4=2\text{ В};$
 $I_1=I_2=4\text{ А}; I_3=I_4=2\text{ А}; I=4\text{ А}; U=10\text{ В}; 6) U_1=24\text{ В}; U_2=U_3=12\text{ В};$
 $U_4=36\text{ В}; I_1=24\text{ А}; I_2=I_3=12\text{ А}; I_4=36\text{ А}; I=60\text{ А}; U=36\text{ В};$
 $\text{в) } U_1=6\text{ В}; U_2=U_3=2\text{ В}; U_4=4\text{ В}; I_1=6\text{ А}; I_2=I_3=2\text{ А}; I_4=4\text{ А}; I=6\text{ А};$
 $U=10\text{ В}; \text{г) } U_1=18\text{ В}; U_2=U_3=6\text{ В}; U_4=12\text{ В}; I_1=18\text{ А}; I_2=I_3=$
 $=6\text{ А}; I_4=12\text{ А}; I=18\text{ А}; U=30\text{ В}. 6.23. \text{ Збільшитися в } 2\text{ рази.}$
 $6.24. \text{ Збільшитися в } 2\text{ рази. } 6.25. \text{ Зменшаться в } 1,5\text{ разу.}$
 $6.26. \text{ Покази амперметра зменшаться; покази вольтметра}$
 $\text{не зміняться. } 6.27. \text{ Покази амперметра й вольтметра збіль-}$
 $\text{шаться. } 6.28. 9\text{ кОм. } 6.29. \text{ Збільшитися в } 10\text{ разів. } 6.30. 1\text{ Ом.}$
 $6.31. 0,28\text{ м. } 6.32. 10\text{ Ом і } 15\text{ Ом. } 6.33. 10\text{ Ом і } 30\text{ Ом. } 6.34. 2:3.$
 $6.35. \text{ Див. рисунок. } 6.36. \text{ Площа перерізу алюмінієвого про-}$
 $\text{відника більша в } 2,3\text{ рази, а його довжина більша в } 1,4\text{ разу.}$
 $6.37. \text{ Опір другого більший у } 16\text{ разів. } 6.38. 91. 6.39. 9\text{ мА. } 6.40. \text{ а) } R;$
 $\text{б) } 0,5\text{ R; в) } 1,5\text{ R; г) } 0,8\text{ R; д) } \frac{5}{6}R.$



До задачі 6.35

7. Електрорушійна сила (ЕРС).

Закон Ома для повного кола

$7.1. 12\text{ В. } 7.2. 60\text{ Кл. } 7.3. 3\text{ А. } 7.4. 4,5\text{ В. } 7.5. 53,5\text{ Ом.}$
 $7.6. 0,5\text{ Ом. } 7.7. 4,8\text{ В. } 7.8. 0,25\text{ Ом. } 7.9. 0,6\text{ А. } 7.10. 8\text{ Ом.}$
 $7.11. 3\text{ А, } 2\text{ А. } 7.12. 0,5\text{ А}; 0,9\text{ В}; 5\text{ В. } 7.13. 1\text{ А}; 6\text{ В. } 7.14. 1\text{ А.}$
 $7.15. 2/3\text{ А. } 7.16. 4\text{ А. } 7.17. 2,17\text{ В. } 7.18. 16\text{ В}; 0,5\text{ Ом. } 7.19. 1\text{ Ом.}$
 $7.20. 4\text{ В}; 16\text{ мкКл. } 7.21. 5\text{ В}; 10\text{ мкКл. } 7.22. \frac{4}{3}\text{ В}; \frac{8}{3}\text{ мкКл.}$
 $7.23. 0,5\text{ А. } 7.24. 36\text{ В. } 7.25. 12\text{ В, } 0,12\text{ Ом. } 7.26. 1\text{ А. } 7.27. 1\text{ А.}$
 $7.28. 14\text{ В.}$

8. Робота й потужність електричного струму

8.1. 6 Дж. 8.2. 2,5 В. 8.3. 30 Кл. 8.4. 0,2 МДж. 8.5. 8 А. 8.6. 484 Ом. 8.7. 13,5 МДж. 8.8. 24 Вт. 8.9. 80,7 Ом. 8.10. 1,1 кВт. 8.11. У нікеліновому; у мідному. 8.12. а) У найдовшому; б) у короткому. 8.13. У першому; у третьому. 8.14. Збільшилася в 2 рази. 8.15. 400 Вт. 8.16. 90 Вт; 60 Вт. 8.17. Перша, в 1,5 разу. 8.18. 14,4 Вт; 21,6 Вт. 8.19. Друга, в 1,5 разу. 8.20. 20 Вт. 8.21. Послідовно, 160 Ом. 8.22. $Q_1 > Q_2 > Q_3$. 8.23. $Q_4 > Q_3 > Q_2 > Q_1$. 8.24. 240 Вт, 232 Вт. 8.25. 87,5 %. 8.26. 3 А. 8.27. 5,5 В; 0,5 Ом. 8.28. 8 А. 8.29. 0,6 Ом. 8.30. 75 В; 50 Ом. 8.31. 7 Ом. 8.32. У випадку послідовного підключення. 8.33. 18,2 м. 8.34. 106 А. 8.35. 28,6 хв. 8.36. 22,6 А. 8.37. 4,5 А. 8.38. 9,3 с. 8.39. 3,4 м. 8.40. 50 хв, 12 хв.

9. Електричний струм у різних середовищах

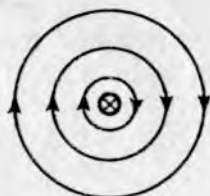
9.1. Збільшується; зменшується; зменшується. 9.2. а) n -типу; б) p -типу; в) n -типу. 9.3. а) p -типу; б) n -типу; в) p -типу. 9.4. а) Іскровий; б) тліючий; в) коронний. 9.5. 35,64 г. 9.6. 4 год 10 хв. 9.7. 1,6 А. 9.8. $1,118 \cdot 10^{-6}$ кг/Кл. 9.9. 242 МДж. 9.10. 2 МДж. 9.11. 45,2 Ом. 9.12. 310°C . 9.13. 122 Ом. 9.14. $4,4 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$. 9.15. 64°C . 9.16. На 46°C . 9.17. $0,004 \text{ K}^{-1}$. 9.18. Збільшиться у всіх випадках. 9.19. 11 г. 9.20. 29 г. 9.21. Цинк. 9.22. Срібло. 9.23. 2 г. 9.24. 20 г. 9.25. 20,4 Вт. 9.26. 3 мг. 9.27. 2 год 5 хв. 9.28. 76,8 мкм. 9.29. 2200 км/с. 9.30. 8790 км/с. 9.31. 25,6 В. 9.32. 182 В. 9.33. 1,6 нс. 9.34. а) $I_{AB}=18 \text{ A}$, $I_{BA}=9 \text{ A}$; б) $I_{AB}=6 \text{ A}$, $I_{BA}=10,8 \text{ A}$; в) $I_{AB}=27 \text{ A}$, $I_{BA}=36 \text{ A}$; г) $I_{AB}=36 \text{ A}$, $I_{BA}=30 \text{ A}$. 9.35. На 0,6 Ом. 9.36. На 1 Ом. 9.37. Площа поперечного перерізу вугільного стрижня більша в 483 рази. 9.38. Довжина мідного стрижня більша в 483 рази. 9.39. $0,0049 \text{ K}^{-1}$. 9.40. На 10° . 9.41. 50 000 км/с. 9.42. $10,9 \cdot 10^{-16}$ Дж. 9.43. 3,125 см. 9.44. 3 год. 9.45. 0,62 л. 9.46. $5,7 \cdot 10^8$ Кл. 9.47. 21,5 А. 9.48. а) $I_{AB}=3,6 \text{ A}$, $I_{BA}=0,9 \text{ A}$; б) $I_{AB}=4,2 \text{ A}$, $I_{BA}=0,7 \text{ A}$; в) $I_{AB}=1,8 \text{ A}$, $I_{BA}=6,3 \text{ A}$; г) $I_{AB}=2,7 \text{ A}$, $I_{BA}=5,4 \text{ A}$.

ЕЛЕКТРОМАГНІТНЕ ПОЛЕ

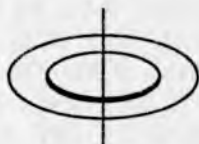
10. Магнітне поле струму. Індукція магнітного поля. Потік магнітної індукції

10.1. Так. 10.2. Проти ходу годинникової стрілки. 10.3. За ходом годинникової стрілки, якщо дивитися зверху. 10.4. Від нас за площину рисунка (див. рисунок). 10.5. Див. рисунок. 10.6. Так.

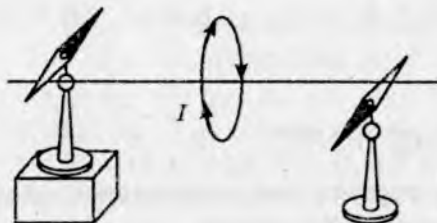
10.7. Від нас за площину рисунка. 10.8. До нас. 10.9. $B = 2 \cdot 10^{-4}$ Тл. 10.10. $B = 40$ мТл. 10.11. $\Phi = 5$ мВб. 10.12. $\Phi \approx 2,8$ Вб. 10.13. $\Phi = 0,1$ Вб. 10.14. Унаслідок суперпозиції полів. 10.15. За годинниковою стрілкою, якщо дивитися з правого боку. Струм напрямлений уліво. 10.16. Див. рисунок. 10.17. В обох випадках: лівий кінець — північний полюс, правий — південний. 10.18. Лівий кінець — південний полюс, правий — північний. 10.19. «+» — клемма А; «-» — клемма В. 10.20. Права клемма «+»; ліва клемма «-». 10.21. Униз. 10.22. Електромагніти будуть притягуватися. 10.23. а) 0 Вб; б) 0,25 Вб; в) 0,5 Вб. 10.24. $\Phi \approx 0,32$ мВб. 10.25. $B = 50$ мТл. 10.26. $\Phi \approx 120$ мВб. 10.27. Вектор індукції поля в центрі сфери лежить у площині, перпендикулярній до площин обох кілець, утворюючи з ними кути 45° . 10.28. Обернеться так, щоб площини провідників збіглися, а струми були напрямлені однаково. 10.29. Якщо витки соленоїда достатньо густі, то лінії індукції магнітного поля являють собою коло всередині соленоїда. 10.30. Крім того, що струм виникає у витках електромагніту, він ще й напрямляється уздовж осі тора. Ця складова струму й утворює лінії індукції магнітного поля, перпендикулярні до цієї осі.



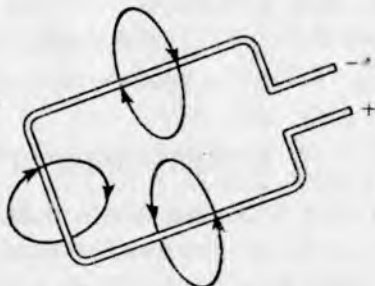
До задачі 10.4



До задачі 10.5



До задачі 10.15



До задачі 10.16

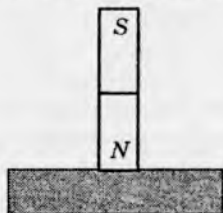
11. Сила Ампера. Сила Лоренца

11.1. а) Униз; б) до нас; в) уліво. 11.2. 0,5 Н. 11.3. 0,15 Н. 11.4. 440 мкТл. 11.5. 40 мТл. 11.6. 39 см. 11.7. 25 см. 11.8. 39°. 11.9. 30°. 11.10. 5 А. 11.11. 20 А. 11.12. а) До нас; б) від нас за площину рисунка; в) угору; г) праворуч. 11.13. $3,2 \cdot 10^{-13}$ Н. 11.14. 0,4 мТл. 11.15. 490 км/с. 11.16. 30°. 11.17. На рамку діють дві протилежно напрямлені сили. 11.20. За годинниковою стрілкою, якщо дивитися згори. Слід змінити або напрямок струму в рамці, або положення магнітних полюсів. 11.21. Ні. 11.22. Повільні. 11.23. Оскільки сила Лоренца напрямлена перпендикулярно до напрямку швидкості руху заряду. 11.24. Знизу угору. 11.25. Униз. 11.26. Угору. 11.29. По прямій. 11.30. 20 А. 11.31. 400 Кл. 11.32. 20 мТл. 11.33. 50 мТл. 11.34. 2,7 А. 11.35. 38 мА. 11.36. 45°. 11.37. 10 А. 11.38. 67 мТл. 11.39. 0,4 Н або 0,6 Н залежно від напрямку струму і вектора магнітної індукції. 11.40. 30 мДж. 11.41. 20 см. 11.42. 5 А. 11.43. $1,1 \cdot 10^{-16}$ Н; 2 мм. 11.44. а) $1,6 \cdot 10^{-15}$ Н; б) 1,04 м. 11.45. 192 км/с. 11.46. $1,3 \cdot 10^{-20}$ кг·м/с; $1,25 \cdot 10^{-14}$ Дж. 11.47. 9 нс; $1,1 \cdot 10^8$ с⁻¹. 11.48. 2,5 м; 3,2 мкс. 11.49. Підказка: паралельні струми притягуються, якщо напрямлені однаково. 11.50. Під дією сили Ампера. 11.51. В обох випадках відштовхуються. 11.52. Ні, вони будуть відштовхуватися, оскільки, крім магнітної взаємодії, між паралельними електронними пучками діють сили електричної взаємодії. 11.53. Сила Ампера. 11.54. Це зумовлено взаємодією струмів одного напрямку. Воно може використовуватися в металургії з метою ущільнення металів. 11.55. Вектори напруженості електричного поля й індукції магнітного поля взаємно перпендикулярні й перпендикулярні до вектора швидкості частинки. 11.56. 10^6 м/с. 11.57. 400 кВ/м. 11.58. $1,8 \cdot 10^{11}$ Кл/кг. 11.59. 5,4 Мм/с; 93 мТл; $8 \cdot 10^{-14}$ Н. 11.60. $\frac{\omega_e}{\omega_p} = 1836$. 11.61. $\frac{m_1}{m_2} = 4$. 11.62. 750 мкТл. 11.63. 3,5 см; 38 см.

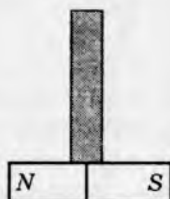
12. Магнітні властивості речовини

12.1. Для збирання сталевих включень, які потрапили в мастило. 12.2. Перший вид більш придатний для виготовлення постійних магнітів, другий — осердь і трансформаторів. 12.3. Щоб екранувати електромагнітні хвилі. 12.4. Сталеві деталі намагнічувалися б і заважали точному вимірюванню магнітного поля Землі. 12.5. Див. рисунок. 12.6. У місцях, де є тріщини, ошурки будуть розміщуватися

густіше. 12.7. Залізний і чавунний стрижні — феромагнетики — притягнуться до соленоїда, а мідний — діамагнетик — відштовхнеться й підніметься. 12.8. У внутрішню. 12.9. Так, якщо температура болванок нижча за температуру Кюрі. 12.10. Див. рисунок. 12.11. Так, $F_1 = F_2$. 12.12. Провід у полум'ї свічки нагрівається, втрачає свою намагніченість, і його взаємодія з магнітом ослаблюється, після чого магніт притягне наступний ненагрітий провід — явище повториться й т.д.

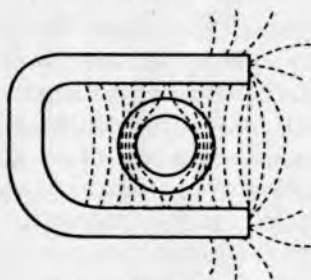


Є притягання до магніту



Немає притягання до магніту

До задачі 12.5



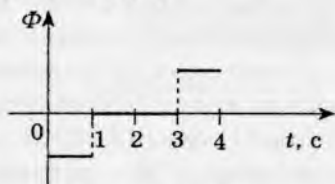
До задачі 12.10

13. Електромагнітна індукція

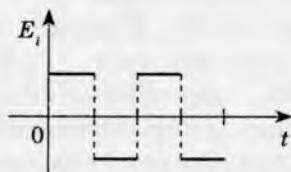
13.1. Ні. 13.2. Ні. 13.3. У випадку а. 13.4. Ні. 13.5. а) Виникне змінний струм; б) струм не виникне. 13.6. $-0,5$ В. 13.7. $0,8$ мВб. 13.8. $0,3$ с. 13.9. 1 мВб. 13.10. 10 В. 13.11. 1000 витків. 13.12. 481 мВ. 13.13. 3 мВ. 13.14. 60 км/год. 13.15. $3,5$ м/с. 13.16. 45° . 13.17. 62° . 13.18. а) Так; б) за умови, що не змінюється добуток $S \cdot \cos \alpha$. 13.19. а) Ніяких змін не відбудеться; б) у кільці виникне індукційний струм, внаслідок чого кільце відштовхуватиметься від електромагніту й може зависнути над ним, причому кільце буде нагріватися струмом. 13.20. Унаслідок електромагнітної індукції, яке має місце в першому випадку.

13.21. а) Так; б) ні; в) так; г) так. 13.22. Ні. 13.23. а) ЕРС збільшиться в k разів, а сила струму залишиться без змін; б) ЕРС збільшиться в k разів, а сила струму — у $\sqrt{k}$ разу; в) ЕРС і сила струму збільшаться в k разів. 13.24. Нулю. 13.25. Швидкість зміни магнітної індукції має бути постійною. 13.26. Модуль вектора індукції магнітного поля має зростати пропорційно часу. 13.27. Сила струму в зовнішній котушці має збільшуватися. 13.28. а) Не виникатиме; б) виникатиме. 13.29. ЕРС дорівнює нулю в моменти часу 1 с, 3 с і 5 с; максимального значення ЕРС досягає в моменти часу 2 с і 4 с. 13.30. Див. рисунок. 13.31. Див. рисунок. 13.32. Див. рисунок. 13.33. Проти ходу годинникової стрілки, якщо дивитися згори. 13.34. За ходом годинникової стрілки, якщо дивитися з правого боку. 13.35. а) Від d до c ; б) від c до d . 13.36. а) Від d до c ; б) від c до d . 13.37. У момент замикання кола кільце відштовхнеться від електромагніту. 13.38. Кільце буде «тягтися» за магнітом. 13.39. Індукційний струм напрямлений за ходом годинникової стрілки, якщо дивитися на кільце з правого боку. 13.40. За ходом годинникової стрілки, якщо дивитися зверху (див. рисунок). Прискорення магніту менше за прискорення вільного падіння внаслідок протидії його падінню магнітного поля індукційного струму (за правилом Ленца). 13.41. Проти ходу годинникової стрілки, якщо дивитися згори (див. рисунок). Прискорення магніту менше за прискорення вільного падіння внаслідок протидії його падінню магнітного поля індукційного струму (за правилом Ленца). 13.42. Усередині розрізу. 13.43. У металі, розташованому в змінному магнітному полі, внаслідок електромагнітної індукції виникають струми Фуко. Наявність індукційних струмів призводить до теплових втрат в осерді. Для зменшення теплових втрат осердя роблять із тонких металевих пластин, ізольованих одна від одної. 13.44. У металі, розташованому в змінному магнітному полі, виникають струми Фуко. 13.45. 12 мВ. 13.46. 0,25 Тл. 13.47. 60 мВб/с. 13.48. 80. 13.49. 7,5 В. 13.50. 800. 13.51. 0,24 В. 13.52. -10 В; 2,5 А. 13.53. 204 мВб. 13.54. 0,225 Кл. 13.55. 40. 13.56. 60°. 13.57. 0,25 Кл. 13.58. 2 мКл. 13.59. 2,5 мКвт. 13.60. 12 Вт. 13.61. Перший і другий магніти впадуть одночасно, а третій падатиме довше. 13.62. Ні. Магніт упаде пізніше внаслідок протидії його падінню магнітного поля індукційного струму, що виникатиме в кільці (за правилом Ленца). 13.63. Найменший час падіння у випадку а; найбільший — у випадку в, коли за певних умов

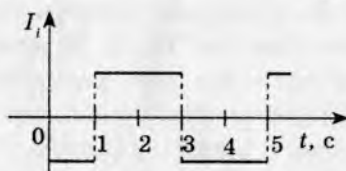
магніт може навіть зависати над кільцем. 13.64. Так, від питомого опору металу. 13.65. Утвориться вихрове електричне поле, внаслідок чого відбудеться поляризація й на кінці B з'явиться позитивний заряд, а на кінці A — негативний. 13.66. У цьому випадку магнітне поле всередині кільця буде відсутнє, а на кінцях A і B накопичаться значно більші заряди. 13.67. Можна намагнітити труну, виготовивши її з відповідного матеріалу, а під нею розташувати надпровідник. 13.68. Зросте в k разів. 13.69. Під час блискавки магнітне поле, породжене нею, дуже швидко змінюється, індукуючи в провідниках, розташованих поблизу, досить значні струми. 13.70. 2,8 мКл. 13.71. 2,36 мДж; 10 мкКл. 13.72. 2,5 В. 13.73. 20 мВ. 13.74. 10 мкКл. 13.75. 1,2 А. 13.76. ≈ 5 м/с.



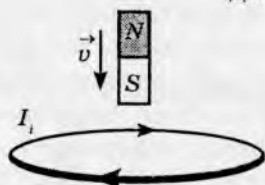
До задачі 13.30



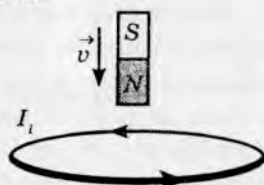
До задачі 13.31



До задачі 13.32



До задачі 13.40



До задачі 13.41

14. Самоіндукція. Енергія магнітного поля

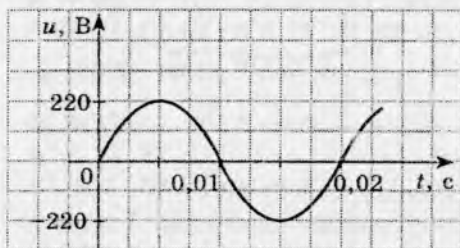
14.1. Унаслідок самоіндукції. 14.2. Ні. 14.3. Тільки після попереднього вимикання всіх верстатів. 14.4. Зменшити силу струму в обмотці або вийняти осердя. 14.5. 0,6 Вб. 14.6. 0,1 мГн. 14.7. 1,6 Гн. 14.8. 3,5 мГн. 14.9. 0,02 В. 14.10. 150 мВ.

14.11. На 1,6 А. 14.12. 91,2 с. 14.13. 8 с. 14.14. 22,5 Дж. 14.15. 0,4 Гн. 14.16. 3 А. 14.17. Під час розмикання. 14.18. Коливання струму викликає ЕРС самоіндукції, яка протидіє цим коливанням. 14.19. Зменшилася в 2 рази. 14.20. Зменшиться. 14.21. 2 В; 250 мкГн. 14.22. 30 В; 12 Гн. 14.23. 25 В. 14.24. 2,5 мкКл. 14.25. 200 мкКл. 14.26. $L=125$ мГн; $\Delta E=3$ Дж. 14.27. 50 мГн; 10 В. 14.28. 612,5 мДж. 14.29. Якщо другий шар намотати у протилежному напрямку, індуктивність стане близькою до 0. Якщо напрямки намотування збігаються, індуктивність зростає в 4 рази. 14.30. Ні, оскільки індуктивність залежить від магнітної проникності осердя, а та, у свою чергу, від сили струму. 14.31. Переміщення листа призводить до зміни магнітного потоку, що пронизує лист, внаслідок чого в ньому виникають індукційні струми, які, відповідно до правила Ленца, викликають силу опору. 14.32. 150 мГн; 100 В. 14.33. 1,3 Дж; 25 В.

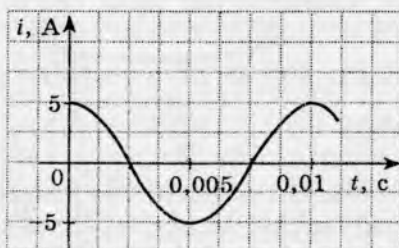
15. Змінний струм

15.1. Графік *z*. 15.2. 100 В; 0,4 с; 2,5 Гц. 15.3. 25 мА; 0,2 мс; 5 кГц. 15.4. 220 В; 0,02 с; 50 Гц; 156 В; графік див. на рисунку. 15.5. 5 А; 0,01 с; 100 Гц; 5А; графік див. на рисунку. 15.6. Це діюче значення напруги. 15.7. 608 кВ. 15.8. Ні, бо максимальна напруга в цій мережі сягає 311 В. 15.9. а) 11 Ом; б) 13 Ом; в) 176 Ом. 15.10. 159 Гц. 15.11. а) 21 Ом; б) 18 Ом; в) 1 Ом. 15.12. 5 мкФ. 15.13. 158 Ом. 15.14. 134 Ом. 15.15. 1,55 кОм. 15.16. а) Графік 1; б) графік 2; в) графік 3. 15.17. Перетворення механічної енергії в електричну. 15.18. а) Збільшиться в 2 рази; б) збільшиться в 3 рази. 15.19. 265,2 Вт. 15.20. У понижувальному. 15.21. Сила струму у первинній обмотці практично в 4 рази більша за силу струму у вторинній. 15.22. 0,2. 15.23. 380 В. 15.24. 1140. 15.25. 88 В. 15.26. 40 А; 4,8 кВт. 15.27. 2,75 А. 15.28. 80 %. 15.29. 22,8 А. 15.30. 1,256 В. 15.31. 50. 15.32. $i=0,1\sin\frac{\pi t}{2}$; 87 мА; 38 мА. 15.33. 0,02 мс. 15.34. 0 Кл. 15.35. 12 А; 8,5 А. 15.36. $u=156\sin 200\pi t$. 15.37. У резисторі $q=60$ Кл, а в спіралі лампи $q=0$. 15.38. 1,5 А. 15.39. 36 мкФ. 15.40. 637 В. 15.41. 235,5 В. 15.42. 0,8 Гн. 15.43. 244 В. 15.44. 107 В. 15.45. 3,5 Гн. 15.46. У випадках *a* і *b* яскравість збільшиться; у випадку *в* — зменшиться. 15.47. а) Збільшиться; б) зменшиться. 15.48. а) При збільшенні частоти змінного струму яскравість буде зменшуватися;

б) при зменшенні — збільшуватися. 15.49. Так. 15.50. а) $I_2 = nI_1$; б) $Q_2 = n^2 Q_1$. 15.51. ≈ 104 хв. 15.52. ≈ 58 кДж. 15.53. Спочатку буде зростати, а потім знижуватися. 15.54. Спочатку буде зростати, а потім знижуватися. 15.55. 1,06 кГц. 15.56. Ні, тому що доведеться збільшувати частоту обертання роторів електрогенераторів, що призведе до збільшення втрат на вихрові струми в трансформаторах, електродвигунах. 15.57. 18 000 об/хв; 3600 об/хв. 15.58. 120 Гц. 15.59. 318,5 об/хв; 79,6 об/хв. 15.60. Так. 15.61. а) Може; б) і в) ні. 15.62. Не зміниться, бо вихідна напруга визначається входною напругою й кількістю витків проводу в обмотках. 15.63. Унаслідок виникнення струмів Фуко, які призводять до теплових втрат. Їх можна істотно зменшити, виготовивши осердя з пластин. 15.64. Для збільшення опору сплаву, що дозволяє зменшити втрати, пов'язані вихровими струмами. 15.65. У первинній обмотці кількість витків проводу більша вдвічі, ніж у вторинній. 15.66. 100 Ом. 15.67. 10; 90,9 %. 15.68. 44,65 В; 2,375 А. 15.69. 10,5 В; 10,5 Ом; 87,5 %. 15.70. 34 В; 89,5 %. 15.71. $\frac{\pi}{2}$. 15.72. Тим самим зменшують ємність витків, що дозволяє використовувати ці котушки для височастотних струмів. 15.73. Якщо лампочка живиться змінним струмом, то піднесений магніт приведе нитку розжарювання в коливальний рух і її обриси будуть розпливчастими. 15.74. $\frac{1}{150}$ с. 15.75. 100. 15.76. 300 с. 15.77. При перемагнічуванні внаслідок магнітострикції змінюються розміри осердя, і сталь у місцях нещільного з'єднання зібрає. Частота звуку 100 Гц. 15.78. $U_2 = \frac{nU_1 X_{1L}}{\sqrt{R^2 + X_{1L}^2}} = 134$ В. 15.79. 16 %.



До задачі 15.4



До задачі 15.5

ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ КОЛИВАННЯ Й ХВИЛІ

16. Вільні електромагнітні коливання. Коливальний контур

- 16.1. Випадки б і г. 16.2. 4 А; 0,02 с; 50 Гц. 16.3. 120 В; 40 мкс; 25 кГц. 16.4. Збільшився в $\sqrt{2}$ разу. 16.5. $T_2 = \frac{3}{4} T_1$. 16.6. Зменшиться в 2 рази. 16.7. Збільшиться в 1,2 разу. 16.8. Збільшиться в 2 рази. 16.9. Збільшиться в 2 рази. 16.10. 1,4 мс; 714 Гц. 16.11. 55 нс; $1,14 \cdot 10^8 \text{ с}^{-1}$. 16.12. 794 кГц. 16.13. 293 кГц. 16.14. $1,7 \cdot 10^6 \text{ с}^{-1}$; 3,8 мкс. 16.15. $5 \cdot 10^3 \text{ с}^{-1}$. 16.16. $I_m = 2,5 \text{ А}$; 25 Гц; 0,04 с. 16.17. 0,5 мкФ; 1 мс; 1 кГц. 16.18. 5 мДж. 16.19. 20 мкДж. 16.20. Ні. Електрони під дією змінного електричного поля виконують малі коливання. 16.21. Період коливань не зміниться, але амплітудне значення сили струму збільшиться в n разів. 16.22. Період коливань не зміниться, але амплітудне значення сили струму збільшиться в 1,5 разу, енергія ж коливань збільшиться в 2,25 разу. 16.23. Так, вони зумовлені значенням напруги пробою конденсатора, а також можливістю пробою ізоляції між витками котушки індуктивності. 16.24. 4 нФ. 16.25. $\approx 80 \text{ мкФ}$. 16.26. 0,259 Гн. 16.27. 16 мкГн. 16.28. 650 мГн; $q = 3 \sin(1,25 \cdot 10^5 \pi t) (\text{нКл})$. 16.29. 20 нДж. 16.30. 62 нФ. 16.31. 0,2 мГн. 16.32. 10 МГц. 16.33. 71 нс. 16.34. 1,7 мкс. 16.35. $\frac{1}{3} L$. 16.36. 9С. 16.37. Збільшиться в $\sqrt{2}$ разу. 16.38. Зменшиться в $\sqrt{2}$ разу. 16.39. 600 Гц. 16.40. Збільшиться на 4,4 МГц. 16.41. Графік 4. 16.42. Графік 4. 16.43. 23,5 мА. 16.44. 0 В. 16.45. $i = 10^{-2} \pi \cos\left(10^4 \pi t + \frac{\pi}{2}\right)$. 16.46. 20 А; $i = 20 \cos 10^4 t \text{ А}$. 16.47. 1,4 мкФ; 0,2 мс; 5 кГц; $q = 1,4 \cdot 10^{-6} \cos 10^4 \pi t$. 16.48. 1,5 мкКл; 50 кГц; -0,75 мкКл. 16.49. $T = 2\pi \frac{q_m}{I_m}$. Використайте для доведення закон збереження енергії. 16.50. $16 \cdot 10^5 \text{ Гц}$. 16.51. 12,56 мА; $i = 12,56 \cos\left(\frac{4 \cdot 10^5 \pi t}{7} + \frac{\pi}{2}\right) \text{ мА}$.

16.52. 2 Дж. 16.53. 25,35 мкДж. 16.54. 120 мкДж; 40 мкДж. 16.55. 10 мкДж; 150 мкДж. 16.56. 2 мкс. 16.57. 2 мкс. 16.58. $\frac{\pi\sqrt{LC}}{2}$. 16.59. $\pi\sqrt{LC}$. 16.60. 0,2 с; 0,6 с; 1 с. 16.61. 1 кВ. 16.62. 500 В. 16.63. 0,76 А. 16.64. 0,32 А. 16.65. 31 В. 16.66. 37,5 нКл; $q = 37,5 \cdot 10^{-9} \cos 4 \cdot 10^7 t$. 16.67. 1,1 А; 12,4 В. 16.68. 73,5 мА; 198 В. 16.69. 50 В. 16.70. 1000 В. 16.71. а) Збільшиться в 3 рази; б) зменшиться в 2 рази; в) збільшиться в 2,5 разу. 16.72. 9,8 мм. 16.73. 2,6. 16.74. Ємність збільшилася на 50 нФ. 16.75. Зменшилася на 384 мкГн. 16.76. 36 кГц. 16.77. Збільшилося в 3,24 рази. 16.78. Зменшилася на 1,5 МГц. 16.79. 31,4 мкс.

17. Електромагнітні хвилі

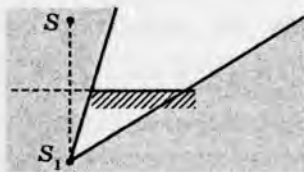
17.1. У разі рівноприскореного руху. 17.2. Коливання напруженості електричного поля й індукції магнітного поля. 17.3. Не залежить. 17.4. Ні. На Місяці швидкість поширення радіосигналів ($c = 3 \cdot 10^8$ м/с) більша, ніж на Землі. 17.5. Завдяки відбиттю коротких хвиль від іоносфери й поверхні Землі. 17.6. Короткі хвилі не огинають гори. 17.7. У діапазоні ультракоротких хвиль. 17.8. На довгих і середніх хвилях. В інших діапазонах тільки в зоні прямої «видимості». 17.9. 12 см. 17.10. 4 м. 17.11. 2 МГц. 17.12. 0,5 МГц. 17.13. 1200 м. 17.14. 1,2 см. 17.15. 35 хв. 17.16. 2,56 с. 17.17. 45 млн км. 17.18. 50 МГц. 17.19. Збільшиться в 5 разів. 17.20. Ні. 17.21. Уздовж своєї осі. 17.22. Ні. 17.23. Щоб виникли електромагнітні хвилі великої енергії та напруженостей $\vec{E}$ і $\vec{B}$, потрібні високочастотні струми. Обертання ротора цього забезпечити не зможе. 17.24. Блискавка збуджує радіохвилі різної довжини. 17.25. 90 мкВ. 17.26. Зменшиться в 1,1 разу. 17.27. Зменшиться в 3 рази. 17.28. 1 км. 17.29. 12 см. 17.30. 3768 м. 17.31. У діапазоні від 47 м до 4710 м. 17.32. 4,5 мГн. 17.33. 4 мкГн. 17.34. Збільшити на 53 пФ. 17.35. Зменшити на 638 мкГн. 17.36. $2,9 \cdot 10^5$. 17.37. 7,5 м. 17.38. 1,2 км. 17.39. 12 мкс. 17.40. 45 км. 17.41. 125 км. 17.42. 2400; 50 км. 17.43. 300; 5000 с^{-1} . 17.44. Інтensивність випромінювання зміниться в n^4 разів. 17.45. Електричне поле електромагнітної хвилі збуджує коливання електронів на поверхні металу, створюючи струм у площині поверхні. Цей струм випромінює нові хвилі перпендикулярно до площини, внаслідок чого виникають відбиті хвилі. 17.46. Так. Вона відбиває електромагнітні хвилі, довжина яких

менша за довжину сторони квадрата. 17.47. Швидкість і довжина хвилі зменшаться в $\sqrt{\epsilon}$ разу. 17.48. По довжині такої антени укладається одна довжина хвилі, тому у двох половинах антени струми мають протилежні напрямки й внаслідок інтерференції гасять один одного. 17.49. У другому випадку іоносфера опускається нижче, більш інтенсивно поглинаючи радіохвилі. 17.50. 1860 м. 17.51. 0,9 мГн. 17.52. 6. 17.53. 213 см². 17.54. Зменшити на 61 см². 17.55. Зменшити в 9 разів. 17.56. 0,45 мм. 17.57. 97 км. 17.58. 9,5 м.

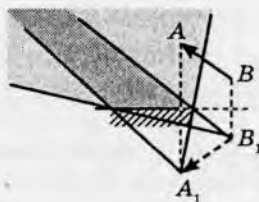
ХВИЛЬОВА Й КВАНТОВА ОПТИКА

18. Геометрична оптика

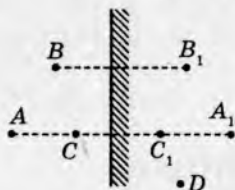
18.1. 56°. 18.2. 35 м. 18.3. Див. рисунок. 18.4. Див. рисунок. 18.5. Див. рисунок. 18.6. Див. рисунок. 18.7. 10 см. 18.8. 8 км/год. 18.9. а) $n_1 < n_2$; $v_1 > v_2$; б) $n_1 > n_2$; $v_1 < v_2$. 18.10. Якщо кут падіння дорівнює нулю або показники заломлення обох середовищ однакові. 18.13. а) Промінь відхиляється до основи призми; б) промінь відхиляється до вершини призми. 18.14. Після виходу з пластини промінь залишається паралельним до падаючого, зміщуючись у випадку а вліво, б — вправо. 18.15. 1,5. 18.16. 20°. 18.17. 110°. 18.18. 1,7. 18.19. 1,4. 18.20. 24°. 18.21. 30°. 18.22. Ні, тому що скло — оптично густіше середовище, ніж вода. 18.23. 168 000 км/с. 18.24. 24°. 18.25. 39°; 50°; 54°. 18.26. 24 см. 18.27. 20 см. 18.28. 10 дптр. 18.29. -3 дптр. 18.30. Уявне зображення, 0,5 м. 18.31. 40 см, уявне; 10 см, уявне. 18.32. а) Система дзеркал; б) розсіювальна лінза; в) збиральна лінза. 18.36. 3. 18.37. Не зміниться. 18.38. 0,5 м. 18.39. Див. рисунок. 18.40. 30°, 60°, 105°, 15° до горизонту. 18.41. 54°. 18.42. 80 см. 18.43. 30 см; 50 см. 18.44. 74°. 18.45. 53°. 18.46. 56°. 18.47. 42 %. 18.48. 1,23. 18.49. 1,86. 18.50. 25 дптр. 18.51. 1 м. 18.52. 1/2. 18.53. 1 м. 18.54. 1,92 м. 18.55. -10 дптр. 18.56. 4,5 м. 18.57. 3,6 м. 18.58. 3,4 м. 18.59. 29 см; 93 см. 18.60. 24 см. 18.61. 7,7 см. 18.62. 2 м. 18.63. 1/4. 18.64. Наблизити до лінзи на 12 см. 18.65. 1,2 м. 18.66. 1,84 см. 18.67. 4,65 см. 18.68. 5,33 см. 18.69. 10°. 18.70. 1,41. 18.71. 37,5 см. 18.72. 2 дптр. 18.73. 4 дптр. 18.74. 20 см від лінзи, уявне зображення. 18.75. а) 1 м; б) 1 м; в) 0,5 м; г) 0,75 м. 18.76. а) 30 см; б) 30 см; в) 21,4 см; г) 60 см.



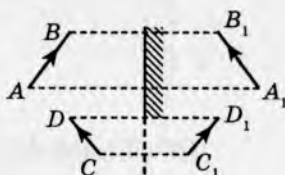
До задачі 18.3



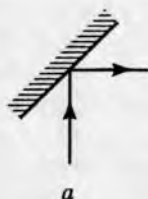
До задачі 18.4



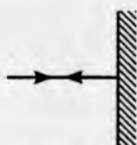
До задачі 18.5



До задачі 18.6



a



б

До задачі 18.39

19. Світло як електромагнітна хвиля. Інтерференція світла. Дифракція світла. Дисперсія світла

19.1. Однакова; різна, червоного більше. 19.2. Не змінюється; зменшується. 19.3. 385 нм; зелений. 19.4. Неоднорідність товщини плівки. 19.5. Мильна вода стікає, безперервно міняється товщина стінок бульбашки. 19.6. а) Розпечені розріджені гази в атомарному стані; б) розпечені тверді й рідкі тіла, а також гази великої густини. 19.7. Кольором, розташуванням і кількістю ліній. 19.8. Безперервний. 19.9. Відбувся перерозподіл світлової енергії, і в цій точці енергія дорівнює нулю. Ні. 19.10. Дифракція спостерігається, якщо розміри перешкоди порівнянні з довжиною хвилі. Довжини світлових хвиль дуже малі ($\sim 10^{-7}$) м, а звукових — до 20 м.

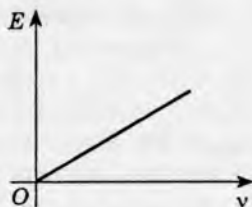
19.11. $\frac{\pi}{2}$. 19.12. $\frac{3\lambda}{4}$. 19.13. Ослаблення; посилення; ослаблення. 19.14. Посилення; ослаблення. 19.15. 2 мкм. 19.16. 2000. 19.17. 575 нм. 19.18. 1,62 мкм. 19.19. Посилення, бо різниця ходу 1000 нм. 19.20. $5 \cdot 10^{-7}$ м. 19.21. 14,4 мм. 19.22. 428,6 нм. 19.23. $1^\circ 10'$. 19.24. 9° . 19.25. 0,25 мкм. 19.26. 0,12 мкм. 19.27. 1,73. 19.28. 52° . 19.29. $2,3 \cdot 10^8$ м/с. 19.30. 0,176 мм. 19.31. 1,5 м. 19.32. 5. 19.33. Могли б перекриватися спектри 6-го й 7-го порядків, але ця ґратка дає тільки спектр 5-го порядку. 19.34. $2,43 \cdot 10^{-7}$ м. 19.35. $1,8 \cdot 10^{-5}$ рад. 19.36. 4,65 мм. 19.37. 2,55 мм.

20. Квантові властивості світла.

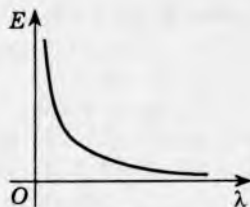
Світлові кванти. Тиск світла.

Корпускулярно-хвильовий дуалізм світла

20.1. $2 \cdot 10^{-20}$ Дж. 20.2. $3,6 \cdot 10^{-19}$ Дж. 20.3. $2 \cdot 10^{-6}$ м. 20.4. $9,7 \cdot 10^{14}$ Гц. 20.5. $3 \cdot 10^{-36}$ кг. 20.6. $3,6 \cdot 10^{-36}$ кг. 20.7. $1,32 \cdot 10^{-27} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$. 20.8. $1,1 \cdot 10^{-27} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$. 20.9. $5,33 \cdot 10^{-22} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$. 20.10. $1,36 \cdot 10^{15}$ Гц. 20.11. Див. рисунок. 20.12. Див. рисунок. 20.13. 665 нм. 20.14. Не змінюється; збільшується на $1,03 \cdot 10^{-7}$ м. 20.15. $1,1 \cdot 10^{-7}$ м. 20.16. $2,4 \cdot 10^{-12}$ м. 20.17. $9,2 \cdot 10^5$ м/с. 20.18. $1,2 \cdot 10^{16}$ Гц. 20.19. $5 \cdot 10^{17}$. 20.20. 400 нм. 20.21. $0,95 \cdot 10^{-27} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$; $1,9 \cdot 10^{-27} \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{с}}$. 20.22. 300 Дж. 20.23. 47 мкПа. 20.24. $8,3 \cdot 10^{20}$. 20.25. 88 мкПа. 20.26. 6 мкПа. 20.27. $6 \cdot 10^7$ кг. 20.28. 26 нм. 20.29. $9,6 \cdot 10^7$ К. 20.30. $3,3 \cdot 10^{-5}$ м. 20.31. У 60 разів. 20.32. $2,1 \cdot 10^{-32}$ кг. 20.33. $2,6 \cdot 10^{-11}$ м. 20.34. $2,4 \cdot 10^{-8}$ Па. 20.35. $2 \cdot 10^{15}$. 20.36. $1,32 \cdot 10^{-15}$ м. 20.37. $4,8 \cdot 10^{-12}$ м. 20.38. 90° ; $38,4 \cdot 10^{-16}$ Дж.

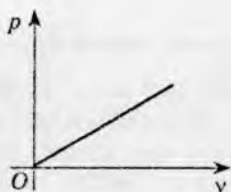


а

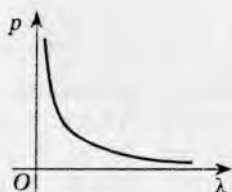


б

До задачі 20.11



а

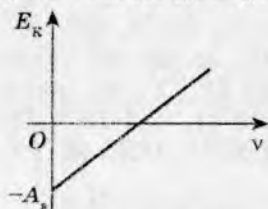


б

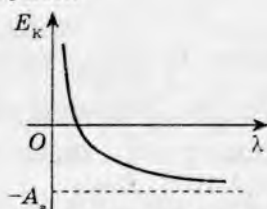
До задачі 20.12

21. Фотоефект

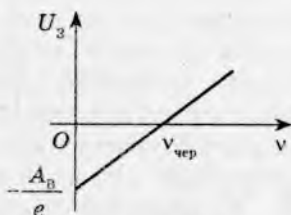
21.1. Не зміниться. 21.2. Збільшиться. 21.3. Не зміниться.
 21.4. Зменшиться. 21.5. 5 еВ. 21.6. 3,6 еВ. 21.7. $1,3 \cdot 10^{-18}$ Дж.
 21.8. 265 нм. 21.9. 1,9 еВ = $3,04 \cdot 10^{-19}$ Дж. 21.10. Ні, бо червона
 межа 241 нм, або Ні, бо енергія фотонів 4,11 еВ, що менше ніж $A_{\text{в}}$.
 21.11. Ні, бо червона межа 27,4 мкм, або Ні, бо енергія фотонів 3,1 еВ,
 що менше $A_{\text{в}}$. 21.12. Так. 21.13. Удвічі більше. 21.14. Однакові.
 21.15. На 0,6 еВ. 21.16. 290 нм. 21.17. $2,7 \cdot 10^{-20}$ Дж. 21.18. 214 нм.
 21.19. 4,2 еВ. 21.20. 912 км/с. 21.21. 1180 км/с. 21.22. $4,87 \cdot 10^{15}$ Гц.
 21.23. 80 нм. 21.24. $1,1 \cdot 10^6$ м/с. 21.25. $9,2 \cdot 10^5$ м/с. 21.26. 248 нм.
 21.27. 2,1 еВ. 21.28. 0,76 В. 21.29. 10,9 В. 21.30. 1,55 еВ.
 21.31. 3,45 еВ. 21.32. $4 \cdot 10^{14}$ Гц. 21.33. 1,2 еВ. 21.34. 2,23 В.
 21.35. $6,6 \cdot 10^{-34}$ Дж·с. 21.36. 2/3. 21.37. 42 мкКл. 21.38. 17 мкДж.
 21.39. $\frac{h}{\lambda} - \frac{(eBR)^2}{2m}$. 21.40. $\frac{eEL^2}{4(h\nu - A_{\text{в}})}$. 21.41. 2 мм. 21.42. Див. ри-
 сунок. 21.43. Див. рисунок. 21.44. Див. рисунок.



До задачі 21.42



До задачі 21.43



До задачі 21.44

АТОМНА І ЯДЕРНА ФІЗИКА

- 22.1. 27; 17; 14; 232; 235; 239. 22.2. 4; 92; 104; 24; 46.
- 22.3. б) $^{211}_{82}\text{Pb}$ і $^{207}_{82}\text{Pb}$ містять по 82 протони. 22.4. 132; 123; 48; 78. 22.5. а) ^7_3Li : 3р; 4п; б) $^{10}_5\text{B}$: 5р; 5п; в) $^{21}_{10}\text{Ne}$: 10р; 11п; г) $^{19}_9\text{F}$: 9р; 10п; д) $^{132}_{50}\text{Sn}$: 50р; 82п; е) $^{227}_{90}\text{Th}$: 90р; 137п; ж) $^{204}_{81}\text{Tl}$: 81р; 123п. 22.6. Атом Алюмінію. 22.7. Права пластина. 22.8. Ліворуч — північний полюс; праворуч — південний. 22.9. Частинка 1 — позитрон; частинка 2 — електрон. $W_{ke^+} > W_{ke^-}$. 22.10. Ширша частина треку руху після проходження пластинки. 1 — позитивний заряд; 2 — негативний. 22.11. 13,55 еВ. 22.12. а) Зменшилася в 4 рази; б) збільшилася в 9 разів. 22.13. $7,75 \cdot 10^{-18}$ Дж; $6,54 \cdot 10^{-18}$ Дж; $1,21 \cdot 10^{-18}$ Дж. 22.14. 48,3 еВ; 40,7 еВ; 7,6 еВ. 22.15. Na і He. 22.16. У зразку B. 22.17. $v = \frac{E_2 - E_1}{h}$. 22.18. Частота, напрямок поширення, фаза й поляризація. 22.19. Зменшиться. 22.20. а) ^1_1H ; б) 1_0n ; в) $^{19}_9\text{F}$; г) $^{30}_{14}\text{Si}$; д) 1_0n ; е) $^{24}_{11}\text{Na}$; ж) $^{14}_6\text{C}$; з) $^{14}_6\text{C}$; і) ^4_2He ; к) $^{97}_{42}\text{Mo}$; л) ^4_2He ; м) $^{92}_{36}\text{Kr}$. 22.21. Актиній $^{227}_{89}\text{Ac}$. 22.22. Радій $^{226}_{88}\text{Ra}$. 22.23. Радон $^{218}_{86}\text{Rn}$. 22.24. Близько 500 ядер. 22.25. $2,5 \cdot 10^8$. 22.26. 4. 22.27. 280 років. 22.28. $\frac{1}{8}$. 22.29. β -і γ -випромінювання. 22.30. β -і γ -випромінювання. 22.31. а) $0,0818 \text{ а. о. м.} \approx 1,358 \cdot 10^{-28} \text{ кг}$; б) $0,0024 \text{ а. о. м.} \approx 4,0 \cdot 10^{-30} \text{ кг}$; в) $0,3666 \text{ а. о. м.} \approx 6,09 \cdot 10^{-28} \text{ кг}$. 22.32. Ядерна. 22.33. $m = \frac{E_1 - E_0}{c^2}$. 22.34. $E_k = E_0 + pc$. 22.35. $p = p_1 - \frac{h\nu}{c}$. 22.36. $2 \cdot 10^{-26} \text{ кг} \cdot \text{м/с}$. 22.37. При переході на другу орбіту. 22.38. 7,2. 22.39. 205 нм. 22.40. 85,3 нм. 22.41. 486 нм. 22.42. В 5,4 рази. 22.43. $^{225}_{88}\text{Ra}$. 22.44. $^{233}_{92}\text{U}$. 22.45. 8 α -розпадів і 6 β -розпадів. 22.46. 1 α -і 1 β -розпад. 22.47. $^{34}_{17}\text{Cl}$; $^{27}_{13}\text{Al} + ^{12}_6\text{C} \rightarrow ^{34}_{17}\text{Cl} + ^4_2\text{He} + ^1_0n$. 22.48. $^{230}_{90}\text{Th}$; $^{234}_{93}\text{Np} + ^0_{-1}e \rightarrow ^{230}_{90}\text{Th} + ^4_2\text{He}$. 22.49. ^4_2He ; $^{14}_7\text{N} + ^1_0n \rightarrow ^{11}_5\text{B} + ^4_2\text{He}$. 22.50. $^{10}_5\text{B}$; $^9_4\text{Be} + ^2_1\text{H} \rightarrow ^{10}_5\text{B} + ^1_0n$. 22.51. Реакції а, в, д, е — екзотермічні, реакції б, з — ендотермічні. 22.52. Буде супроводжуватися виділенням енергії. 22.53. а) 76,2 МеВ; б) 8,6 МеВ; в) 524,5 МеВ. 22.54. а) $5,6 \frac{\text{МеВ}}{\text{нукл}}$; б) $7,98 \frac{\text{МеВ}}{\text{нукл}}$; в) $17,09 \frac{\text{МеВ}}{\text{нукл}}$.

22.55. $6,8 \cdot \frac{\text{MeB}}{\text{нукл}}$. 22.56. а) 524,5 MeB; б) 1163,8 MeB; в) 1154,9 MeB.

22.57. 17,6 MeB. 22.58. ≈ 208 MeB. 22.59. а) 5,7 MeB; б) 2,01 MeB; в) 1,2 MeB. 22.60. ${}^7_3\text{Li} + {}^1_1\text{H} \rightarrow {}^4_2\text{He}$; 17 MeB. 22.61. 0,4 MeB.

22.62. $1,25 \cdot 10^{20}$ Гц. 22.63. Поле напрямлене до нас з-за площини креслення. 22.64. Для другого. 22.65. Другий. 22.66. 0,03 або 3 %. 22.67. 0,016 або 1,6 %. 22.68. 0,63 або 63 %. 22.69. $7,5 \cdot 10^8$. 22.70. 0,97 або 97 %. 22.71. 0,29 або 29 %. 22.72. 4 дні. 22.72а. 882 мг; зменшиться в 4 рази. 22.73. Власний час життя частинки завжди менше виміряного. 22.74. Нейтрон перетворюється на протон, випускаючи електрон. 22.75. Протон перетворюється на нейтрон, випускаючи позитрон. 22.76. 0,062. 22.77. $3,1 \cdot 10^{-14}$ м.

22.78. а) $2,59 \cdot 10^{-14}$ м; б) $4,41 \cdot 10^{-14}$ м. 22.78а*. $\varphi = 2 \arccos \sqrt{\frac{W_p m_p}{2m_\alpha W_p + E_{\text{вих}}}}$.

22.79. Кількість розпадів — 18, з них 9 α - і 9 β -розпадів.

22.80. $T = \frac{t \lg 2}{\lg \left(\frac{N_0}{N_0 - \Delta N} \right)} = 92$ год. 22.81. 0,42 MeB. 22.82. 0,42 MeB.

22.83. Підказка: ланцюгова реакція можлива, якщо маса ядерного пального більша від критичної. 22.84. 424 ГДж; 180 т. 22.85. 82 ГДж. 22.86. 215 т. 22.87. 8 т. 22.88. 190 діб. 22.89. 10,5 г. 22.90. 18 %. 22.91. 72 г. 22.92. 374 г. 22.93. 37 МВт.

ДОДАТОК

1. ФІЗИЧНІ СТАЛІ

Гравітаційна стала	$G = 6,672 \cdot 10^{-11} \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$
Прискорення вільного падіння	$g = 9,80665 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$
Стала Авогадро	$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ моль}^{-1}$
Стала Больцмана	$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$
Універсальна газова стала	$R = 8,31 \frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$
Елементарний електричний заряд	$e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$
Електрична стала	$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Ф}}{\text{м}}$
Стала в законі Кулона	$k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$
Стала Фарадея	$F = 9,648 \cdot 10^4 \frac{\text{Кл}}{\text{моль}}$
Швидкість світла у вакуумі	$c = 2,9979 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$
Стала Планка	$h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} = 4,136 \cdot 10^{-13} \text{ эВ} \cdot \text{с}$
	$\hbar = 1,0546 \cdot 10^{-34} \text{ Дж} \cdot \text{с} = 6,586 \cdot 10^{-16} \text{ эВ} \cdot \text{с}$
Маса спокою електрона	$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$
Маса спокою протона	$m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Маса спокою нейтрона	$m_n = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$
Атомна одиниця маси	$1 \text{ а. о. м.} = 1,66 \cdot 10^{-27} \text{ кг}$

2. ГУСТИНА РЕЧОВИНИ

Тверді тіла, $\times 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

Алюміній	2,7	Олово	7,3
Бетон	2,3	Оргскло	1,2
Граніт	2,6	Пробка	0,24
Дуб (сухий)	0,7	Свинець	11,3
Цегла	1,8	Срібло	10,5
Константан	8,9	Сосна (суха)	0,4
Латунь	8,5	Сталь, залізо	7,8
Лід	0,9	Скло	2,5
Мідь	8,9	Цинк	7,1
Мармур	2,7	Чавун	7,0

Рідини, $\times 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

Бензин	0,7	Олія	0,9
Вода морська	1,03	Нафта	0,8
Вода прісна	1,0	Ртуть	1,6
Гас	0,8	Спирт	0,8

Гази, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

Азот	1,25	Кисень	1,43
Водень	0,09	Природний газ	0,8
Повітря	1,29	Вуглекислий газ	1,98

3. ТЕПЛОВІ ВЛАСТИВОСТІ РЕЧОВИН

Тверді тіла

Речовина	Питома теплоємність, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	Температура плавлення, $^{\circ}\text{C}$	Питома теплота плавлення, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$
Алюміній	880	660	380
Лід	2100	0	330
Мідь	380	1083	180
Свинець	130	327	24
Сталь	460	1400	82

Рідини

Речовина	Питома тепло- ємність, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$	Температура кипіння, $^{\circ}\text{C}$	Питома теплота плавлення, $\frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$
Вода	4200	100	2,3
Гас	2100	—	—
Спирт	240	78	0

4. ДІЕЛЕКТРИЧНА ПРОНИКНІСТЬ

Вода	81	Парафін	2
Гас	2,1	Слюда	7
Олія	2,5	Скло	7

5. ПИТОМИЙ ОПІР (ПРИ 20°C)

Речовина	$\rho, \times 10^{-8} \frac{\text{Ом} \cdot \text{м}}{\text{або}} \times 10^{-2} \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$	Речовина	$\rho, \times 10^{-8} \frac{\text{Ом} \cdot \text{м}}{\text{або}} \times 10^{-2} \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$
Алюміній	2,8	Ніхром	110
Залізо	9,7	Свинець	21
Константан	50	Срібло	1,6
Мідь	1,7	Сталь	12
Нікелін	42		

6. ТЕМПЕРАТУРНИЙ КОЕФІЦІЄНТ ОПОРУ ПРОВІДНИКІВ, K^{-1}

Алюміній	0,0042	Константан	0,00002
Вольфрам	0,0048	Мідь	0,0043
Залізо	0,0065	Вугілля	-0,0008

7. ЕЛЕКТРОХІМІЧНИЙ ЕКВІВАЛЕНТ, $10^{-6} \frac{\text{кг}}{\text{Кл}}$

Алюміній (Al^{3+})	0,093	Мідь (Cu^{2+})	0,33
Водень (H^+)	0,0104	Нікель (Ni^{2+})	0,3
Золото (Au^{3+})	0,681	Срібло (Ag^+)	1,12
Кисень (O^{2-})	0,083	Цинк (Zn^{2+})	0,34

8. ПОКАЗНИКИ ЗАЛОМЛЕННЯ
(середнє значення для видимих променів)

Алмаз	2,42	Гліцерин	1,47
Вода	1,3	Рубін	1,47
Повітря	1,00029	Скло	1,6

9. РОБОТА ВИХОДУ ЕЛЕКТРОНІВ, еВ

Вольфрам	4,5	Оксид барію	1,0
Золото	4,3	Платина	5,3
Калій	2,2	Срібло	4,3
Літій	2,4	Цинк	4,2

10. ПЕРІОД ПІВРОЗПАДУ ДЕЯКИХ РАДІОАКТИВНИХ ІЗОТОПІВ

Тритій	${}^3_1\text{H}$	12,3 роки	Кобальт	${}^{60}_{27}\text{Co}$	5,26 року
Вуглець	${}^{11}_6\text{C}$	20 хв	Стронцій	${}^{89}_{38}\text{Sr}$	50,5 діб
Вуглець	${}^{14}_6\text{C}$	5600 років	Йод	${}^{131}_{53}\text{I}$	8 діб
Фосфор	${}^{32}_{15}\text{P}$	14,3 діб	Уран	${}^{235}_{92}\text{U}$	710 млн років
Калій	${}^{40}_{19}\text{K}$	1,24 млрд років	Уран	${}^{238}_{92}\text{U}$	4,5 млрд років

**11. ВІДНОСНА АТОМНА МАСА ДЕЯКИХ ІЗОТОПІВ,
а. о. м.**

Ізотоп		Маса нейтрального атома	Ізотоп		Маса нейтрального атома
Протій	${}^1_1\text{H}$	1,00783	Карбон	${}^{12}_6\text{C}$	12,00000
Дейтерій	${}^2_1\text{H}$	2,01410	Карбон	${}^{14}_6\text{C}$	14,00324
Тритій	${}^3_1\text{H}$	3,01605	Нітроген	${}^{14}_7\text{N}$	14,00307
Гелій	${}^3_2\text{He}$	3,01602	Нітроген	${}^{15}_7\text{N}$	15,00011
Гелій	${}^4_2\text{He}$	4,00260	Оксиген	${}^{16}_8\text{O}$	15,99491
Литій	${}^6_3\text{Li}$	6,01513	Оксиген	${}^{17}_8\text{O}$	16,99913
Литій	${}^7_3\text{Li}$	7,01601	Алюміній	${}^{27}_{13}\text{Al}$	26,98146
Берилій	${}^8_4\text{Be}$	8,00531	Калій	${}^{40}_{19}\text{K}$	39,96400
Берилій	${}^9_4\text{Be}$	9,01219	Кобальт	${}^{60}_{27}\text{Co}$	59,93381
Бор	${}^{10}_5\text{B}$	10,01294	Уран	${}^{235}_{92}\text{U}$	235,04394
Бор	${}^{11}_5\text{B}$	11,00931	Уран	${}^{238}_{92}\text{U}$	238,05081

12. ДЕСЯТКОВІ ПРЕФІКСИ

Кратні			Часткові		
Префікс	Позна- чення	Множ- ник	Префікс	Позна- чення	Множ- ник
тера	Т	10^{12}	піко	п	10^{-12}
гіга	Г	10^9	нано	н	10^{-9}
мега	М	10^6	мікро	мк	10^{-6}
кіло	к	10^3	мілі	м	10^{-3}
гекто	г	10^2	санти	с	10^{-2}
дека	да	10^1	деци	д	10

ПЕРІОДИЧНА СИСТЕМА ЕЛЕМЕНТІВ

Група Періоди	а I б	а II б	а III б	а IV б	а V б
1 ↓ 1	H 1,0079 1 1s ¹ Гідроген Водень				
2	Li 6,941 3 2s ¹ Літій	Be 9,012 4 2s ² Верилій	B 10,81 5 2s ² 2p ¹ Бор	C 12,011 6 2s ² 2p ² Карбон Вуглець	N 14,0067 7 2s ² 2p ³ Нітроген Азот
3	Na 22,990 11 3s ¹ Натрій	Mg 24,305 12 3s ² Магній	Al 26,981 13 3s ² 3p ¹ Алюміній	Si 28,086 14 3s ² 3p ² Силіцій	P 30,973 15 3s ² 3p ³ Фосфор
4	K 39,098 19 4s ¹ Калій	Ca 40,08 20 4s ² Кальцій	Sc 44,956 21 3d ¹ 4s ² Скандій	Ti 47,90 22 3d ² 4s ² Титан	V 50,941 23 3d ³ 4s ² Ванадій
	29 63,546 Cu 18 3d ¹⁰ 4s ¹ Купрум Мідь	30 65,38 Zn 2 3d ¹⁰ 4s ² Цинк	31 69,72 Ga 2 4s ² 4p ¹ Галій	32 72,59 Ge 2 4s ² 4p ² Германій	33 74,921 As 2 4s ² 4p ³ Арсен
5	Rb 85,468 37 5s ¹ Рубідій	Sr 87,62 38 5s ² Стронцій	Y 88,906 39 4d ¹ 5s ² Ітрій	Zr 91,22 40 4d ² 5s ² Цирконій	Nb 92,906 41 4d ⁴ 5s ¹ Ніобій
	47 107,868 Ag 18 4d ¹⁰ 5s ¹ Аргентум Срібло	48 112,40 Cd 18 4d ¹⁰ 5s ² Кадмій	49 114,82 In 18 5s ² 5p ¹ Індій	50 118,69 Sn 18 5s ² 5p ² Станум	51 121,75 Sb 18 5s ² 5p ³ Стибій Сурьма
6	Cs 132,905 55 6s ¹ Цезій	Ba 137,34 56 6s ² Барій	La 138,905 57 5d ¹ 6s ² Лантан	Hf 178,49 72 5d ² 6s ² Гафній	Ta 180,948 73 5d ³ 6s ² Тантал
	79 196,967 Au 18 5d ¹⁰ 6s ¹ Аурум Золото	80 200,59 Hg 18 5d ¹⁰ 6s ² Меркурій Ртуть	81 204,37 Tl 3 6s ² 6p ¹ Талій	82 207,2 Pb 3 6s ² 6p ² Плюмбум Свинець, оливо	83 208,980 Bi 3 6s ² 6p ³ Вісмут
7	Fr [223] 87 7s ¹ Францій	Ra 226,025 88 7s ² Радій	Ac [227] 89 6d ¹ 7s ² Актиній	Rf [261] 104 6d ² 7s ² Резерфордій	Db [263] 105 6d ³ 7s ² Дубній
	111 Rg [272] Рентгеній	112 Cn Коперникіум	113 Uut Унунтритій	114 Uuq Унунквадрій	115 Uup Унунпентій

*Лантаноїди

58 Ce 140,12 4f ¹ 5d ¹ 6s ² Церій	59 Pr 140,908 4f ³ 6s ² Празеодим	60 Nd 144,24 4f ⁴ 6s ² Неодим	61 Pm [145] 4f ⁵ 6s ² Прометій	62 Sm 150,36 4f ⁶ 6s ² Самарій	63 Eu 151,96 4f ⁷ 6s ² Європій	64 Gd 157,25 4f ⁷ 5d ¹ 6s ² Гадоліній
--	---	---	--	--	--	--

**Актиноїди

90 Th 232,038 6d ² 7s ² Торій	91 Pa 231 5f ² 6d ¹ 7s ² Протактиній	92 U 238,029 5f ³ 6d ¹ 7s ² Уран	93 Np 237 5f ⁴ 6d ¹ 7s ² Нептуній	94 Pu 244 5f ⁶ 7s ² Плутоній	95 Am 243 5f ⁷ 7s ² Америцій	96 Cm 247 5f ⁷ 6d ¹ 7s ² Кюрі
---	---	---	--	--	--	--

Д. І. МЕНДЕЛЄЄВА

а VI б		а VII б	а	VIII б	
		(H)	He 4,0026 ² 1s ²	Символ елемента Атомна маса Порядковий номер Електронна конфігурація Назва елемента Назва простої речовини Розподіл електронів по рівнях	
			2 Гелій		
O 15,999 ⁸ 2s ² 2p ⁴ Оксиген Кисень		F 18,998 ⁹ 2s ² 2p ⁵ Флуор Фтор	Ne 20,179 ¹⁰ 2s ² 2p ⁶ Неон	Символ елемента Атомна маса Порядковий номер Електронна конфігурація Назва елемента Назва простої речовини Розподіл електронів по рівнях	
S 32,06 ¹⁶ 3s ² 3p ⁴ Сульфур Сірка		Cl 35,453 ¹⁷ 3s ² 3p ⁵ Хлор	Ar 39,948 ¹⁸ 3s ² 3p ⁶ Аргон		
24 51,996 ²⁴ 3d ⁵ 4s ¹ Хром		25 54,938 ²⁵ 3d ⁵ 4s ² Манган		26 55,847 ²⁶ 3d ⁶ 4s ² Ферум Залізо	27 58,933 ²⁷ 3d ⁷ 4s ² Кобальт
Se 78,96 ³⁴ 4s ² 4p ⁴ Селен		Br 79,904 ³⁵ 4s ² 4p ⁵ Бром	Kr 83,80 ³⁶ 4s ² 4p ⁶ Криптон		28 58,70 ²⁸ 3d ⁸ 4s ² Нікол Нікель
42 95,94 ⁴² 4d ⁵ 5s ¹ Молибден		43 98,906 ⁴³ 4d ⁵ 5s ² Технецій		44 101,07 ⁴⁴ 4d ⁷ 5s ¹ Рутеній	45 102,905 ⁴⁵ 4d ⁸ 5s ¹ Родій
Te 127,60 ⁵² 5s ² 5p ⁴ Телур		I 126,904 ⁵³ 5s ² 5p ⁵ Йод	Xe 131,30 ⁵⁴ 5s ² 5p ⁶ Ксенон		46 106,4 ⁴⁶ 4d ¹⁰ Паладій
74 183,85 ⁷⁴ 5d ⁴ 6s ² Вольфрам		75 186,207 ⁷⁵ 5d ⁵ 6s ² Реній		76 190,2 ⁷⁶ 5d ⁶ 6s ² Осмій	77 192,22 ⁷⁷ 5d ⁷ 6s ² Іридій
Po [209] ⁸⁴ 6s ² 6p ⁴ Полоній		At [210] ⁸⁵ 6s ² 6p ⁵ Астат	Rn [222] ⁸⁶ 6s ² 6p ⁶ Радон		78 195,09 ⁷⁸ 5d ⁹ 6s ¹ Платина
106 [263] ¹⁰⁶ 6d ⁴ 7s ² Спборій		107 [262] ¹⁰⁷ 6d ⁵ 7s ² Борій		108 [265] ¹⁰⁸ 6d ⁶ 7s ² Гасій	109 [266] ¹⁰⁹ 6d ⁷ 7s ² Мейтнерій
116 Uuh Уунгексій		117 Uus Уунсептій			110 [272] ¹¹⁰ 6d ⁸ 7s ² Дармштадтій
					118 Uuo Ууноктій

65 Tb 158,925 ⁶⁵ 4f ⁹ 6s ² Тербій	66 Dy 162,50 ⁶⁶ 4f ¹⁰ 6s ² Диспрозій	67 Ho 164,93 ⁶⁷ 4f ¹¹ 6s ² Гольмій	68 Er 167,26 ⁶⁸ 4f ¹² 6s ² Ербій	69 Tm 168,93 ⁶⁹ 4f ¹³ 6s ² Тулій	70 Yb 173,04 ⁷⁰ 4f ¹⁴ 6s ² Ітербій	71 Lu 174,97 ⁷¹ 4f ¹⁴ 6s ² Лютецій
--	---	---	---	---	---	---

97 Bk [247] ⁹⁷ 5f ⁹ 6d ¹ 7s ² Беркелій	98 Cf [251] ⁹⁸ 5f ¹⁰ 7s ² Каліфорній	99 Es [254] ⁹⁹ 5f ¹¹ 7s ² Ейнштейній	100 Fm [257] ¹⁰⁰ 5f ¹² 7s ² Фермій	101 Md [258] ¹⁰¹ 5f ¹³ 7s ² Менделєєв	102 No [259] ¹⁰² 5f ¹⁴ 7s ² Нобелій	103 Lr [262] ¹⁰³ 5f ¹⁴ 6d ¹ 7s ² Лоуренсій
--	---	---	---	--	--	--

ЗМІСТ

Передмова	3
Електричне поле	
1. Закон Кулона. Закон збереження електричного заряду	4
2. Напруженість електростатичного поля. Принцип суперпозиції полів	14
3. Речовина в електричному полі	23
4. Потенціал електричного поля	29
5. Конденсатори. Енергія електричного поля	35
Електричний струм	
6. Закон Ома для ділянки ланцюга	44
7. Електрорушійна сила (ЕРС). Закон Ома для повного кола	53
8. Робота й потужність електричного струму	59
9. Електричний струм у різних середовищах	66
Електромагнітне поле	
10. Магнітне поле струму. Індукція магнітного поля. Потік магнітної індукції	76
11. Сила Ампера. Сила Лоренца	83
12. Магнітні властивості речовини	96
13. Електромагнітна індукція	98
14. Самоіндукція. Енергія магнітного поля	111
15. Змінний струм	116
Електромагнітні коливання й хвилі	
16. Вільні електромагнітні коливання. Коливальний контур	129
17. Електромагнітні хвилі	142
Хвильова й квантова оптика	
18. Геометрична оптика	150
19. Світло як електромагнітна хвиля. Інтерференція світла. Дифракція світла. Дисперсія світла	162
20. Квантові властивості світла. Світлові кванти. Тиск світла. Корпускулярно-хвильовий дуалізм світла	169
21. Фотоефект	175
Атомна і ядерна фізика	
22. Атомна і ядерна фізика	182
Відповіді	196
Додаток	217

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Програма для загальноосвітніх навчальних закладів. Фізика. 10–11 класи. Академічний рівень. — К., 2010.
2. Програма для загальноосвітніх навчальних закладів. Фізика. 10–11 класи. Профільний рівень. — К., 2010.
3. Фізика. 11 клас. Академічний рівень. Профільний рівень: Підруч. для загальноосвіт. навч. закл. / В. Г. Бар'яхтар, Ф. Я. Божинова, М. М. Кірюхін, О. О. Кірюхіна. — Х.: Вид-во «Ранок», 2011.
4. Божинова Ф. Я., Каплун С. В., Кірюхіна О. О. Фізика. 11 клас. Академічний рівень: Зошит для лабораторних робіт і фізичного практикуму. — Х.: Вид-во «Ранок», 2011.
5. Божинова Ф. Я., Кірюхіна О. О. Фізика. 11 клас. Академічний рівень: Комплексний зошит для контролю знань. — Х.: Вид-во «Ранок», 2011.
6. Гончаренко С. У. Олімпіади з фізики. — Х.: Вид. група «Основа», 2008.
7. Гончаренко С. У., Коршак Є. В. Фізика: Олімпіадні задачі. 9–11 кл. — Тернопіль: Навч. книга — Богдан, 1999.
8. Гончаренко С. У., Коршак Є. В., Коршак Н. М. Методика розв'язування задач з фізики. — К.: Вища шк., 1976.
9. Гельфгат И. М., Генденштейн Л. Э., Кирик Л. А. 1001 задача по физике с решениями. — Харьков — Москва: «Развивающее обучение», 1996.
10. Гофман Ю. В. Законы, формулы, задачи физики. Справочник — К.: Наук. думка, 1994.
11. Коміренко М. М., Коміренко Н. І., Коміренко С. М. Матеріали для перевірки знань учнів з фізики. — К.: Рад. шк., 1989.
12. Новак О. Ф. Збірник теоретичних задач і вправ з фізики. — К.: Рад. шк., 1989.
13. Савченко М. О. Фізика: Розв'язування задач. — Тернопіль: Навч. книга — Богдан, 2004.
14. Соколович Ю. А., Богданова Г. С. Фізика: Довідник з прикладами розв'язування задач. — Х.: Вид-во «Ранок», 2010.
15. Ильченко В. Р. Перекрестки физики, химии и биологии. — М.: Просвещение, 1986.