

ФІЗИКА 9

За редакцією Станіслава Довгого



ІНСТРУКЦІЯ З БЕЗПЕКИ ДЛЯ УЧНЯ / УЧЕНИЦІ ПІД ЧАС ЗАНЯТЬ У КАБІНЕТІ ФІЗИКИ

1. Загальні положення

- 1.1. У кабінеті фізики необхідно суворо дотримуватися правил безпеки та правил внутрішнього розпорядку закладу освіти, установлених норм і режимів праці та відпочинку.
- 1.2. У кабінеті фізики можна перебувати тільки в присутності вчителя / вчительки або лаборанта / лаборантки.
- 1.3. Про кожний нещасний випадок, що трапився під час освітнього процесу, необхідно негайно повідомити вчителя / вчительку.
- 1.4. Про вихід із ладу або несправність обладнання необхідно негайно повідомити вчителя / вчительку.

2. Вимоги безпеки в екстремальних ситуаціях

- 2.1. У разі травмування, нездужання тощо негайно повідомте про це вчителя / вчительку.
- 2.2. У разі виникнення загоряння, пожежі тощо негайно повідомте про це вчителя / вчительку.
- 2.3. Під час евакуації чітко виконуйте вказівки вчителя / вчительки.

3. Вимоги безпеки перед початком експериментальної роботи

- 3.1. Чітко з'ясуйте порядок і правила виконання роботи.
- 3.2. Звільніть робоче місце від усіх не потрібних для роботи предметів і матеріалів.
- 3.3. Перевірте наявність і надійність з'єднувальних проводів, приладів та інших предметів, необхідних для виконання завдань.
- 3.4. Починайте роботу тільки з дозволу вчителя / вчительки.
- 3.5. Виконуйте лише ті завдання, які передбачені в роботі або доручені вчителем / вчителькою.

4. Вимоги безпеки під час роботи

- 4.1. Працюйте лише на своєму робочому місці.
- 4.2. Будьте уважні й дисципліновані.
- 4.3. Розміщуйте прилади, матеріали, обладнання на робочому місці так, щоб запобігти їх падінню або перекиданню.
- 4.4. Під час проведення дослідів не допускайте граничних навантажень вимірювальних приладів.
- 4.5. Стежте за справністю всіх кріплень у приладах і пристроях.
- 4.6. Для запобігання падінню скляних посудин або приладів розташовуйте їх на спеціальній підставці. Термометр одразу після проведення вимірювань кладіть у футляр.
- 4.7. Заборонено користуватися лабораторним посудом із відколотими краями та за наявності тріщин.

- 4.8. Якщо скляна посудина або прилад розбилися, не торкайтесь осколків незахищеними руками — користуйтеся совком і щіткою.
- 4.9. Не вмикайте без дозволу електричне обладнання; не усувайте самостійно несправності електромережі й електрообладнання.
- 4.10. Складаючи електричне коло, уникайте перетину проводів; заборонено користуватися проводами зі спрацьованою ізоляцією.
- 4.11. Складене коло вмикайте тільки після перевірки та з дозволу вчителя / вчительки.
- 4.12. Не виконуйте з'єднання в колах до вимикання джерела електроживлення.
- 4.13. Користуйтеся інструментами із заізольованими ручками.
- 4.14. Не залишайте робоче місце без дозволу вчителя / вчительки.
- 4.15. Виявивши несправність в електричному обладнанні, що перебуває під напругою, негайно повідомте вчителя / вчительку.

5. Вимоги безпеки після закінчення роботи

- 5.1. Обов'язково приберіть своє робоче місце. Прибирання виконуйте тільки з дозволу вчителя / вчительки.
- 5.2. Електричне коло розбирайте лише після вимкнення джерела електроживлення.

ЩО НЕОБХІДНО ЗНАТИ

Про фізичне явище

- 1) зовнішні ознаки перебігу явища, умови, за яких воно відбувається;
- 2) зв'язок з іншими явищами;
- 3) фізичні величини, які характеризують явище;
- 4) можливості практичного використання, способи запобігання шкідливим наслідкам явища

Про прилад або пристрій

- 1) призначення;
- 2) будова;
- 3) принцип дії;
- 4) сфера застосування і правила користування;
- 5) переваги та недоліки

Про фізичний закон

- 1) формулювання, зв'язок між якими явищами, властивостями тощо встановлює закон;
- 2) математичний вираз;
- 3) дослідні факти, що привели до встановлення закону або підтверджують його справедливості;
- 4) межі застосування

Про фізичну величину

- 1) символ для позначення;
- 2) властивість, яку характеризує фізична величина;
- 3) означення;
- 4) формула, покладена в основу означення, зв'язок з іншими фізичними величинами;
- 5) одиниці величини;
- 6) способи вимірювання

ФІЗИКА 9

**Підручник для 9 класу
закладів загальної середньої освіти**

За редакцією Станіслава Довгого

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України



rnk.com.ua/111358

Інтерактивний
електронний додаток

Київ · Харків
Видавництво «Ранок»
2026



УДК 37.016:53(075.3)

Ф 48

Авторський колектив:

Віктор Бар'яхтар, Фаїна Божинова, Станіслав Довгий,
Микола Кірюхін, Олена Кірюхіна

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
(наказ Міністерства освіти і науки України від 27.01.2026 № 110)

Видано за рахунок державних коштів.

Продаж заборонено

Підручник створено відповідно до модельної навчальної програми
«Фізика. 7–9 класи» для закладів загальної середньої освіти
(автори Кременський Б. Г., Гельфгат І. М., Божинова Ф. Я.,
Ненашев І. Ю., Кірюхіна О. О.)

Підручник успішно пройшов апробацію у 2025/2026 навчальному році
(наказ Міністерства освіти і науки України від 02.02.2026 № 142)

Рецензенти:

І. М. Гельфгат, учитель фізики комунального закладу «Харківський фізико-математичний науковий ліцей № 27 Харківської міської ради», учитель-методист, заслужений вчитель України, кандидат фізико-математичних наук;

С. В. Каплун, професор кафедри сучасних методик навчання (секція природничо-математичних дисциплін) КВНЗ «Харківська академія неперервної освіти», кандидат педагогічних наук, доцент, відмінник освіти;

А. Б. Трофімчук, учитель-методист, голова громадської організації
«Нова українська фізика»

Ілюстрації *Володимира Хорошенка*

Обкладинка *Наталії Гордієнко*

Фізика : підруч. для 9 кл. закл. загал. серед. освіти /
Ф 48 [В. Г. Бар'яхтар, Ф. Я. Божинова, С. О. Довгий, М. М. Кірюхін, О. О. Кірюхіна] ; за ред. С. О. Довгого. — Харків :
Вид-во «Ранок», 2026. — 288 с. : іл.

ISBN 978-617-8775-63-6

УДК 37.016:53(075.3)



Інтерактивний
електронний додаток
доступний за QR-кодом
або посиланням
rnk.com.ua/111358


**ЗРОБЛЕНО
В УКРАЇНІ**

© Бар'яхтар В. Г., Божинова Ф. Я.,
Довгий С. О., Кірюхін М. М.,
Кірюхіна О. О., 2026

© Хорошенко В. Д., ілюстрації, 2026

© Гордієнко Н. І., обкладинка, 2026

© ТОВ Видавництво «Ранок», 2026

ISBN 978-617-8775-63-6



Ви продовжуєте подорож світом фізики. Як і раніше, ви будете спостерігати явища природи, проводити справжні наукові експерименти й на кожному уроці робити власні маленькі відкриття.

Будьте уважними й наполегливими, вивчаючи зміст кожного параграфа, не обминайте додаткових рубрик — і ви зможете застосовувати здобуті знання в повсякденному житті. Приклади практичного застосування фізики ви знайдете в рубриці *«Чи знаєте ви, що...»*. Розвинути критичне мислення, необхідне для ефективного навчання та успішної реалізації в дорослому житті, допоможе рубрика *«А як насправді?»*, навчитися працювати з інформацією — рубрика *«Top skills: робота з інформацією»*. Групове виконання завдань двох останніх рубрик, а також завдань рубрики *«Питання для обговорення»* сприяє розвитку навичок командної роботи, важливих у сучасному суспільстві.

Зверніть увагу: параграфи завершуються рубриками *«Підбиваємо підсумки»*, *«Контрольні запитання»*, *«Вправа»*.

Рубрика *«Підбиваємо підсумки»*, яку подано у вигляді опорних конспектів, акцентує увагу на головному. *«Контрольні запитання»* дають змогу з'ясувати, чи можете ви відтворити матеріал параграфа. Рубрика *«Вправа»* допоможе перевірити, чи здатні ви застосувати отримані знання на практиці. Завдання цієї рубрики диференційовані за рівнями складності. Номери завдань підкреслено відповідними кольорами (у порядку підвищення складності): синій, зелений, оранжевий, червоний. Фіолетовим позначено завдання для формування інформаційно-комунікаційної компетентності.

Фізика — наука насамперед експериментальна, тому на вас очікують *дослідження, експериментальні завдання, лабораторні роботи*. Обов'язково виконуйте їх — і ви будете краще розуміти фізику. Під час виконання дотримуйтесь інструкції з безпеки, розміщеної на форзаці підручника.

Наприкінці кожного розділу запропоновано рубрики *«Підбиваємо підсумки розділу»* і *«Завдання для самооцінювання»*, які допоможуть систематизувати знання, стануть у пригоді під час повторення вивченого та підготовки до підсумкових робіт.

Безумовно, корисним буде *інтерактивний електронний додаток*, де подано тренувальні тестові завдання з автоматичною перевіркою, відеоролики з демонстраціями лабораторних робіт, певних фізичних дослідів або процесів, а також навчальні матеріали, що дадуть вам змогу збагатити власний пізнавальний досвід.

Формувати навички співпраці допоможе участь у реалізації *навчальних проєктів*, теми яких запропоновано в підручнику. Поради щодо виконання проєктів містяться в інтерактивному електронному додатку.

Для тих, хто прагне більше дізнатися про розвиток фізичної науки й техніки в Україні та світі, знайдеться чимало цікавого й корисного в рубриці *«Фізика і техніка в Україні»*.

Бажаємо успіхів!

ПЕРЕКИДАЄМО МІСТОК ВІД ВІДОМОГО ДО НЕВІДОМОГО

Питання для мотивації
навчальної діяльності

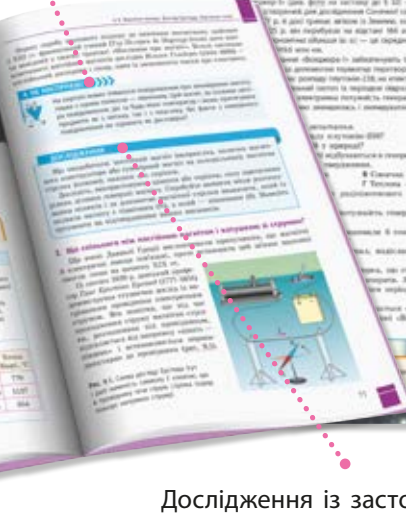
Завдання
для розвитку
критичного мислення

Вправи на відпрацювання
навичок роботи
з інформацією

Означення



Запитання для
обмірковування



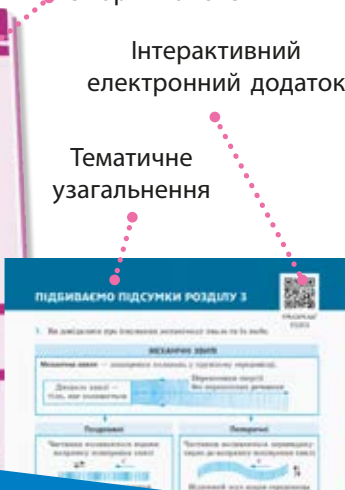
Дослідження із застосуванням
підручних засобів

Приклади практичного
застосування фізики

Опорні конспекти

Інтерактивний
електронний додаток

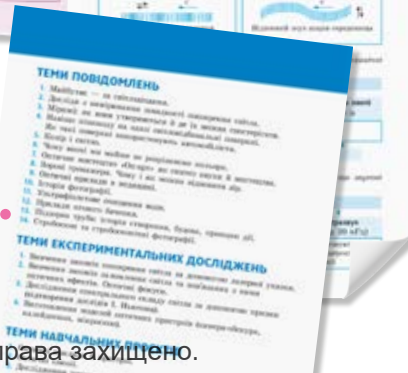
Тематичне
узагальнення



Приклади та алгоритми
розв'язування фізичних
задач

Вправи для групової
роботи й самостійного
опрацювання

Пошуково-дослідницькі
та експериментальні завдання



▶▶▶ ● РОЗДІЛ 1

Ви знаєте про існування електричного струму в металах, а тепер дізнаєтеся, що електричний струм також може існувати у вакуумі

ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ У РІЗНИХ СЕРЕДОВИЩАХ

Ви неодноразово спостерігали блискавку, а тепер зможете пояснити, чому вона виникає і як від неї вберегтися

Під час дослідів з електрикою ви бачили, що лампа розжарення однаково пропускає електричний струм в обох напрямках, а тепер переконаєтеся, що не всі лампи мають таку властивість



Підготуйтеся до опанування нової теми: повторіть уже відомі поняття, розв'яжіть задачі та виконайте завдання на застосування електричних явищ у побуті.



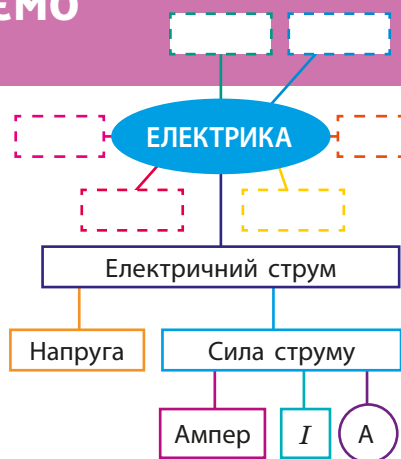
rnk.com.ua/
114316

ФІЗИЧНА БАЗА: ЩО ВЖЕ ЗНАЄМО З ТЕМИ «ЕЛЕКТРИКА»

Об'єднайтесь у групи або попрацюйте всім класом. Створіть «асоціативний куц» за темою «Електрика». Для цього:

- ✓ запишіть у центрі аркуша (або на дошці) слово «Електрика»;
- ✓ проведіть від цього слова кілька гілок, запишіть на них основні поняття, які ви пам'ятаєте із цієї теми;
- ✓ від основних понять намалюйте допоміжні гілки, на яких запишіть відомості, що пов'язані із цими поняттями.

Наведені далі теоретичні підказки, згруповані за темами, допоможуть краще згадати матеріал і виконати запропоновані завдання.



1. Електричний заряд

Електричний заряд q — фізична величина, яка характеризує властивість частинок і тіл вступати в електромагнітну взаємодію.

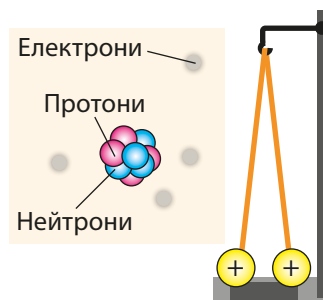
Одиниця в СІ: $[q] = \text{Кл}$ (кулон).

Властивості електричного заряду:

- ✓ існують два роди зарядів — позитивні й негативні;
- ✓ різноіменні заряди притягуються, одноіменні — відштовхуються;
- ✓ електричний заряд є дискретним: $|q| = Ne$, де q — заряд тіла, N — натуральне число, $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл — елементарний заряд;
- ✓ електричний заряд не існує без частинки: носієм найменшого негативного заряду є *електрон*, найменшого позитивного — *протон*;
- ✓ повний заряд електрично замкненої системи зберігається.

Завдання

1. Заряд якого знака матиме електрично нейтральне тіло, якщо до нього «прилипне» деяка кількість електронів?



2. На рис. 1 зображено негативно заряджене тіло й підвішені на нитках заряджені кульки 1 і 2. Визначте знаки зарядів кульок.

3. Провідна кулька, яка мала заряд $-8,2$ нКл, торкнулася такої самої кульки із зарядом $10,4$ нКл. Якими стали заряди кульок після дотику?

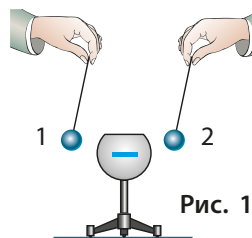


Рис. 1

2. Електричне поле

Електричне поле — вид матерії, що існує навколо заряджених тіл або частинок і діє з певною силою на інші тіла або частинки, які мають електричний заряд.

Напруженість $\vec{E}$ електричного поля — векторна фізична величина, яка характеризує силову дію електричного поля й дорівнює відношенню сили $\vec{F}_{\text{ел}}$, з якою поле діє на заряд, поміщений у цю точку поля, до значення q цього заряду.

Формула для визначення: $\vec{E} = \frac{\vec{F}_{\text{ел}}}{q}$.

Одиниця: $[E] = \frac{\text{Н}}{\text{Кл}}$ (ньютон на кулон).

- ✓ Напрямок напруженості в даній точці електричного поля збігається з напрямком сили, що діє на позитивний заряд, поміщений у цю точку.

Завдання

4. В електричному полі двох заряджених пластин розташовані позитивний і негативний йони (рис. 2). У момент початку спостереження йони перебувають у стані спокою. У якому напрямку рухатимуться йони в наступний момент часу?

5. З боку електричного поля на заряджене тіло діє сила $6,9$ мкН. Визначте заряд тіла, якщо напруженість електричного поля $2,3$ кН/Кл.

6. До двох металевих незаряджених кульок 1 і 2, з'єднаних провідником, піднесли, не торкаючись, позитивно заряджену кульку 3 (рис. 3). Потім провідник прибрали. Заряд якого знака набула кулька 1 унаслідок дії електричного поля, створеного кулькою 3? Заряд якого знака набула кулька 2? Відповідь обґрунтуйте.

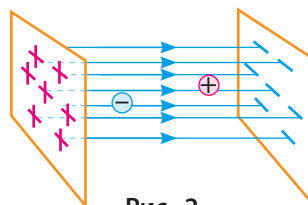
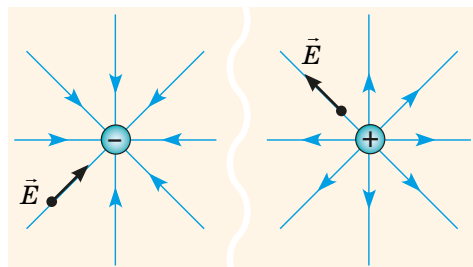


Рис. 2

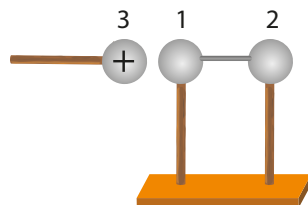


Рис. 3

3. Електричний струм. Електричне коло

Електричний струм — напрямлений рух заряджених частинок.

Умови виникнення та існування електричного струму в електричному колі:

- ✓ наявність вільних носіїв заряду — вільних заряджених частинок;
- ✓ наявність електричного поля.

За напрямок струму в колі прийнято напрямок, у якому рухалися б по колу позитивно заряджені частинки, тобто напрямок від позитивного полюса джерела струму до негативного (див. [рис. 4](#)).

Завдання

7. На [рис. 5](#) зображено електричні пристрої. Назвіть їх.



Рис. 5

8. Намалюйте позначення пристроїв (див. [рис. 5](#)) на електричній схемі.

9. Накресліть схему електричного кола, яке містить всі пристрої, зображені на [рис. 5](#), і в якому після замикання ключа світяться обидві лампи.

10. Накресліть схему електричного кола, зображеного на [рис. 4](#). Зазначте на схемі напрямок струму в колі.

За можливості складіть електричні кола за завданнями 9 і 10.

4. Фізичні величини, що характеризують проходження струму в ділянці кола

Сила струму I — фізична величина, що характеризує електричний струм і чисельно дорівнює заряду, який проходить через поперечний переріз провідника за одиницю часу.

Формула для визначення: $I = \frac{q}{t}$.

- ✓ q — заряд, який проходить через поперечний переріз провідника за час t .

Одиниця в СІ: $[I] = \text{А}$ (ампер).

Прилад для вимірювання: амперметр;

- ✓ вмикають у коло послідовно зі споживачем, у якому необхідно виміряти силу струму.

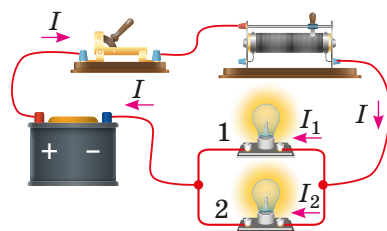
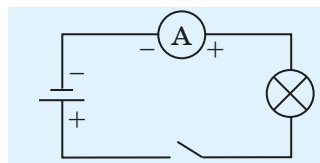
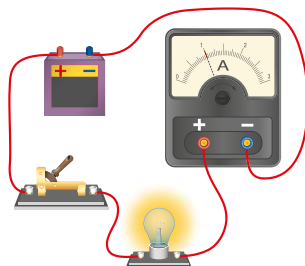


Рис. 4



Завдання

11. Виконуючи завдання 10, ви накреслили схему електричного кола, поданого на рис. 4. Покажіть на схемі, де можна приєднати амперметр, щоб виміряти силу струму в лампі 2; загальну силу струму в колі.

12. Сила струму в провіднику 2 А. Який заряд щохвилини проходить через поперечний переріз провідника?

Електрична напруга U — фізична величина, що характеризує електричне поле на ділянці кола і чисельно дорівнює роботі електричного поля з переміщення по цій ділянці заряду 1 Кл.

Формула для визначення: $U = \frac{A}{q}$.

- ✓ A — робота, яку виконує (або може виконати) електричне поле для переміщення заряду q по даній ділянці кола.

Одиниця в СІ: $[U] = \text{В}$ (вольт). $1 \text{ В} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}}$.

Прилад для вимірювання: вольтметр;

- ✓ вмикають у коло *паралельно* зі споживачем, на якому необхідно виміряти напругу.

Завдання

13. На рис. 6 зображено електричне коло. Накресліть електричну схему цього кола. Покажіть на схемі, де можна приєднати вольтметр, щоб виміряти напругу на лампі 2; щоб виміряти загальну напругу на лампах.

14. Яку роботу виконало електричне поле під час переміщення по ділянці кола заряду 15 Кл, якщо напруга на ділянці дорівнює 2 кВ?

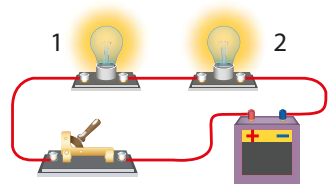
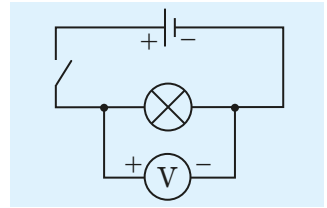
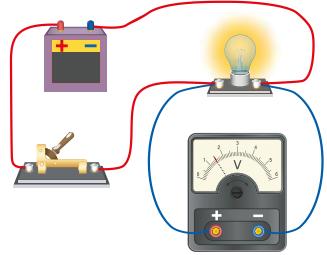


Рис. 6

Електричний опір R — фізична величина, яка характеризує властивість провідника протидіяти проходженню електричного струму.

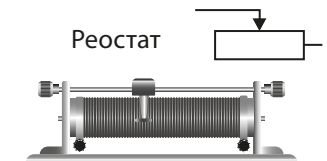
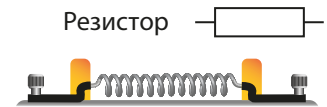
Формула для визначення: $R = \rho \frac{l}{S}$.

- ✓ ρ — питомий опір речовини, з якої виготовлений провідник; l — довжина провідника; S — площа поперечного перерізу провідника.

Одиниця в СІ: $[R] = \text{Ом}$ (ом). $1 \text{ Ом} = 1 \frac{\text{В}}{\text{А}}$.

Прилад для вимірювання: омметр;

- ✓ також вимірюють непрямым методом за допомогою амперметра й вольтметра.



Завдання

15. Чи вистачить дослідниці 1 метра ніхромового дроту для виготовлення резистора опором 1,5 Ом? Площа поперечного перерізу дроту дорівнює 0,5 мм².

16. Чотири стрижні виготовлено з графіту (рис. 7). Визначте опір стрижнів 2, 3 і 4, якщо опір стрижня 1 становить 30 Ом.

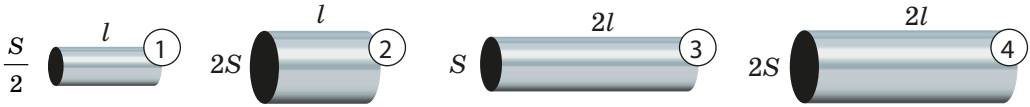


Рис. 7

Закон Ома для ділянки кола. Сила струму в ділянці кола прямо пропорційна напрузі на кінцях ділянки та обернено пропорційна

електричному опору цієї ділянки: $I = \frac{U}{R}$.

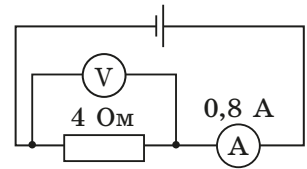


Рис. 8

Завдання

17. На рис. 8 зображено електричну схему певного електричного кола. За наведеними даними визначте показ вольтметра.

18. На рис. 9 подано вольт-амперні характеристики двох провідників. Визначте опір кожного провідника.

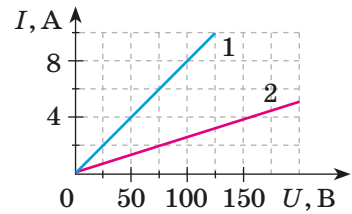
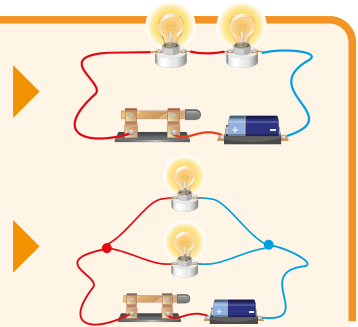


Рис. 9

5. З'єднання споживачів струму

Послідовне з'єднання — таке з'єднання провідників, яке не має розгалужень, провідники приєднують до кола один за одним.

Паралельне з'єднання — таке з'єднання провідників, коли для проходження струму є два чи більше шляхів — віток і всі ці вітки мають одну пару спільних точок — вузлів.



Фізичні величини	Закони послідовного з'єднання	Закони паралельного з'єднання
Сила струму	$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n$	$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$
Напруга	$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$	$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n$
Електричний опір	$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$	$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$

Завдання

19. За даними рис. 10 визначте:

- загальний опір ділянки кола;
- загальну напругу на ділянці та напругу на кожному резисторі;
- силу струму в кожному резисторі.

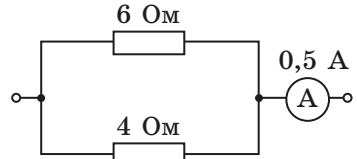


Рис. 10

20. Ділянка електричного кола містить два послідовно з'єднані резистори опором 5 Ом і 1 Ом. Сила струму в резисторі опором 1 Ом становить 0,2 А.

- Який опір ділянки? Яка сила струму в резисторі опором 5 Ом?
- Яка напруга на ділянці? Яка напруга на кожному резисторі?

6. Робота і потужність електричного струму



Робота струму — фізична величина, що дорівнює добутку напруги на кінцях ділянки, сили струму в ділянці та часу, протягом якого ділянкою йшов струм.

Потужність струму — фізична величина, що характеризує швидкість виконання струмом роботи й дорівнює відношенню роботи струму до часу, за який цю роботу виконано.

Формула для визначення:

$$A = UI t$$

Одиниця в СІ: $[A] = \text{Дж (джоуль)}$.

Позасистемна одиниця: $\text{кВт} \cdot \text{год}$;
 $1 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж}$.

Прилад для прямого вимірювання: лічильник електричної енергії.

Формули для визначення:

$$P = \frac{A}{t}; P = UI$$

Одиниця в СІ: $[P] = \text{Вт (ват)}$.

Номінальна потужність — потужність струму, на яку розрахований пристрій.

Фактична потужність — реальна потужність струму в пристрої.

Завдання

21. За даними на пристрої (рис. 11) визначте:

- потужність струму, на яку розрахований пристрій;
- роботу струму за 5 хв використання пристрою (за номінальної потужності).

22. Люстра складається з трьох однакових паралельно з'єднаних ламп розжарення номінальною потужністю 60 Вт, розрахованих на напругу 240 В. Напруга в мережі 240 В. Визначте:

- загальну потужність струму в люстрі;
- загальну потужність струму в люстрі у випадку, якщо напруга в мережі зменшиться до 180 В.



Рис. 11



rnk.com.ua/
114209

§ 1. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ У МЕТАЛАХ

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Електричний струм можуть проводити рідини й тверді речовини, за певних умов струм проводять і гази. Можна навіть створити електричний струм у вакуумі. Вивчення струму в різних середовищах ми починаємо зі струму в металах.

Як ви вважаєте, чому саме з них? Що ви знаєте про електричний струм у металах? Які частинки в металах є вільними носіями заряду? Наведіть приклади застосування електричного струму в металах.



1. Чому всі метали добре проводять електричний струм?

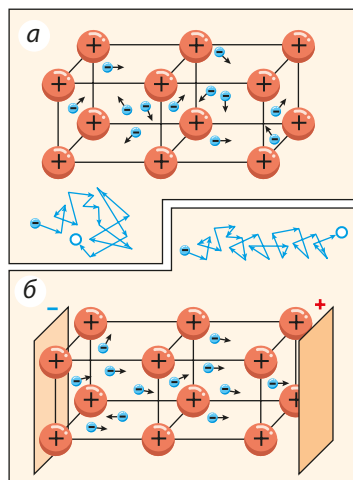


Рис. 1.1. За відсутності електричного поля вільні електрони в металах рухаються хаотично (а); за наявності поля — напрямлено, не припиняючи хаотичного руху (б)

Електричний струм у металах являє собою напрямлений рух вільних електронів.

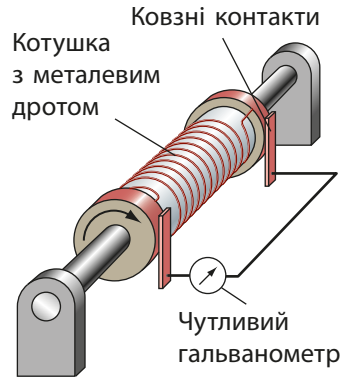
Класична теорія електропровідності металів розглядає внутрішню будову металу як утворену позитивно зарядженими йонами ґратку, що перебуває в «газі» вільних електронів. За відсутності електричного поля вільні електрони рухаються хаотично, подібно до того, як рухаються молекули газу. Саме тому такі електрони називають «*електронний газ*» (рис. 1.1, а).

Якщо ж у металевому провіднику створено електричне поле, то електрони, не припиняючи хаотичного руху, починають зміщуватися в напрямку сили, яка діє на них з боку електричного поля. Рух електронів стає *напрямленим* — у металі виникає електричний струм (рис. 1.1, б). *Кількість носіїв заряду в металах є величезною*, саме тому всі метали добре проводять електричний струм.

2. Як було доведено, що в металах саме вільні електрони є носіями заряду?

У 1916 р. американські дослідники *Річард Толмен* (1881–1948) і *Томас Стюарт* (1890–1958) провели дослід, за допомогою якого підтвердили, що вільними носіями заряду в металах є електрони (рис. 1.2).

Рис. 1.2. Дослід Стюарта — Толмена. Котушці надавали швидкого обертання й різко зупиняли. Вільні заряджені частинки в металевому дроті продовжували рух за інерцією (саме так у випадку різкої зупинки транспорту в ньому продовжують рух незакріплені предмети). Тобто в колі виникав короткочасний електричний струм. За напрямком відхилення стрілки гальванометра вчені з'ясували, що струм створюють негативно заряджені частинки, а знаючи опір провідника, силу струму та швидкість обертання котушки, дізналися, що ці частинки — електрони



ДОСЛІДЖЕННЯ

Що знадобиться: аркуш паперу; невелика кулька; кубик.

Змодельуйте дослід Стюарта — Толмена. Для цього розташуйте аркуш паперу на горизонтальній поверхні столу, покладіть на аркуш кубик і поряд із ним — кульку.

Почніть повільно рухати аркуш уздовж столу, поступово прискорюючи рух, а потім різко зупиніть. Проведіть аналогію між спостережуваним явищем і виникненням короткочасного струму в досліді Стюарта — Толмена.



3. Як опір металів залежить від температури?

З'єднаємо сталеву спіраль із джерелом струму й підігріватимемо спіраль у полум'ї спиртівки (рис. 1.3). Напругу будемо підтримувати незмінною. Дослід продемонструє, що в міру нагрівання спіралі сила струму в ній зменшується, а це означає, що опір спіралі зростає.

Рис. 1.3. Дослід, що демонструє залежність електричного опору металів від температури



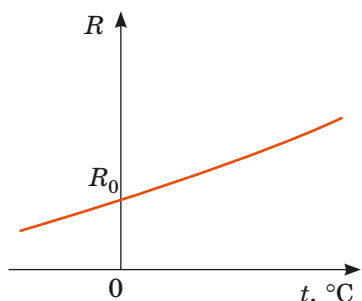


Рис. 1.4. Графік залежності електричного опору R металевого провідника від температури t . Зі збільшенням температури провідника його опір збільшується

Отже, електричний опір металевого провідника залежить від температури (рис. 1.4).

Опір R провідника за температури t можна розрахувати за формулою:

$$R = R_0(1 + \alpha t),$$

де R_0 — опір провідника за температури 0°C ; α — температурний коефіцієнт електричного опору.

Температурний коефіцієнт електричного опору — це фізична величина, яка характеризує залежність питомого опору речовини від температури.

Одиниця температурного коефіцієнта в СІ — кельвін у мінус першому степені:

$$[\alpha] = \text{K}^{-1} = \frac{1}{\text{K}}.$$

Також використовують **одиницю на градус Цельсія**. Наприклад, для алюмінію:

$$\alpha_{\text{Al}} = 0,004 \frac{1}{\text{K}} = 0,004 \frac{1}{^\circ\text{C}}.$$

Температурні коефіцієнти електричного опору визначають експериментально та подають у таблицях (див. *Додаток*).

Скориставшись таблицею температурних коефіцієнтів електричного опору, визначте, яким буде опір вольфрамового дроту, якщо його нагріти до 400°C . Опір такого дроту за температури 0°C дорівнює $50\ \Omega$.

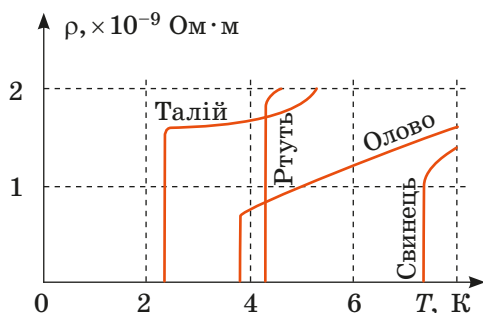


Рис. 1.5. Графіки зміни питомого опору деяких металів за температур, близьких до абсолютного нуля

4. Що таке надпровідність?

У 1911 р. нідерландський учений *Гейке Камерлінг-Оннес* (1853–1926), досліджуючи, як поводить себе ртуть за температур, близьких до абсолютного нуля (-273°C), помітив дивне явище: у разі зниження температури ртуті до $4,15\ \text{K}$ її питомий опір стрибком падав до нуля. Зараз відомо багато речовин і матеріалів, питомий опір яких за певної температури зменшується до нуля (рис. 1.5).

Властивість речовин і матеріалів за певних температур втрачати електричний опір називають **надпровідністю**.

Надпровідність відкриває великі можливості для передавання електричної енергії без втрат на нагрівання. Але все не так просто. Охолодження матеріалів до наднизьких температур і подальше підтримування таких температур потребують багато енергії. Тому вчені працюють над створенням матеріалів із високотемпературною надпровідністю.

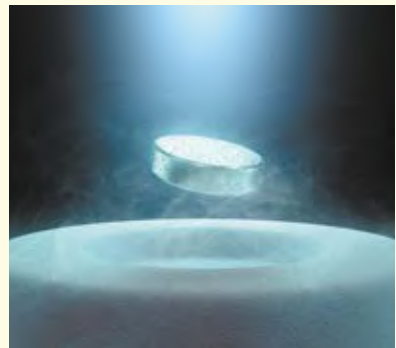
За більш ніж століття досліджень надпровідності отримано матеріали, температура переходу яких у надпровідний стан за нормального тиску приблизно на $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ вища, ніж у перших надпровідників, але вона все одно занижена. Надпровідність за кімнатної температури поки що не реалізовано. Дослідження тривають.

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...



У 1933 р. німецькі вчені *Вальтер Мейснер* і *Роберт Оксенфельд* відкрили явище, завдяки якому над провідником, що перебуває в надпровідному стані, левітує магніт.

Згодом інженери запропонували використати це явище для створення *надпровідникових маглев-поїздів*. У таких системах поїзд утримується над колією на висоті близько 10 см і рухається майже без тертя, що дає змогу досягати швидкостей понад 500 км/год. У Японії триває проєкт щодо створення надпровідникового маглева, запуск комерційного використання якого заплановано на 2034 р. На заставці до § 1 зображено його експериментальний прототип.



5. Учимся розв'язувати задачі

■ **Задача.** Електричне коло складається із джерела струму, амперметра та реостата, обмотка якого виготовлена зі сталі. За температури $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ показ амперметра $0,26\text{ А}$, а опір реостата — 200 Ом . Яким буде показ амперметра, якщо обмотка реостата нагріється до $50\text{ }^{\circ}\text{C}$? Напругу на виході джерела струму вважайте незмінною. ■

Аналіз фізичної проблеми. Під час нагрівання обмотки реостата її опір зростає, тому (відповідно до закону Ома) сила струму в колі зменшується. Для кількісного опису змін скористаємося законом Ома та формулою температурної залежності опору. Значення температурного коефіцієнта електричного опору сталі візьмемо з таблиці (див. *Додаток*).

Дано:

$$I_0 = 0,26 \text{ А}$$

$$R_0 = 200 \text{ Ом}$$

$$t = 50 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$\alpha = 0,006 \frac{1}{\text{К}}$$

Знайти: $I - ?$

Пошук математичної моделі, розв'язання
Запишемо закон Ома для ділянки кола для двох теплових станів обмотки реостата.

До нагрівання

$$I_0 = \frac{U}{R_0} \Rightarrow U = I_0 R_0$$

Після нагрівання

$$I = \frac{U}{R} \Rightarrow U = IR,$$

$$\text{де } R = R_0(1 + \alpha t)$$

$$\text{Отже, маємо: } I_0 R_0 = IR_0(1 + \alpha t) \Rightarrow I_0 = I(1 + \alpha t).$$

$$\text{Остаточно одержуємо: } I = \frac{I_0}{1 + \alpha t}.$$

Перевіримо одиницю шуканої величини (урахувавши, що $\frac{1}{\text{К}} = \frac{1}{^{\circ}\text{C}}$), знайдемо її значення:

$$[I] = \frac{\text{А}}{1 + \frac{1}{^{\circ}\text{C}} \cdot ^{\circ}\text{C}} = \text{А}; \quad I = \frac{0,26}{1 + 0,006 \cdot 50} = \frac{0,26}{1 + 0,3} = 0,2 \text{ (А)}.$$

Проаналізуємо результат: сила струму в обмотці реостата зменшилася, отже, результат реальний.

Відповідь: $I = 0,2 \text{ А}$.

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Електричний струм у металах являє собою напрямлений рух вільних електронів.

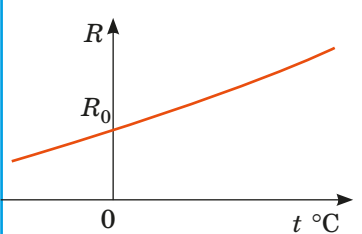
Під дією електричного поля електрони рухаються напрямлено, зберігаючи свій хаотичний рух.

Електричний опір R металевих провідників

збільшується в разі підвищення температури t і зменшується в разі її зниження.

R_0 — опір провідника за температури $0 \text{ }^{\circ}\text{C}$

$$R = R_0(1 + \alpha t)$$



Температурний коефіцієнт електричного опору α

— це фізична величина, яка характеризує залежність питомого опору речовини від температури.

$$[\alpha] = \text{К}^{-1} = \frac{1}{\text{К}} = \frac{1}{^{\circ}\text{C}}$$

За температури, близької до 0 К ($-273 \text{ }^{\circ}\text{C}$), деякі метали переходять у **надпровідний стан** — опір металевих провідників стрибком падає до нуля.



КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Опишіть характер руху вільних електронів у металах за відсутності електричного поля; за наявності електричного поля.
2. Що являє собою електричний струм у металах?
3. Опишіть суть досліду з виявлення природи електричного струму в металах.
4. Чи залежить опір металів від температури? Якщо залежить, то як?
5. Яким символом позначають температурний коефіцієнт електричного опору? Якою є його одиниця в СІ?
6. Що таке надпровідність?



ВПРАВА № 1

1. Електрон розташований в електричному полі (рис. 1). Як напрямлена сила, з якою це поле діє на електрон?

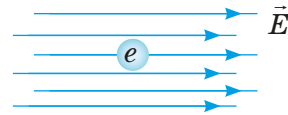


Рис. 1

2. Поясніть, чому в електромережах краще використовувати мідні або алюмінієві дроти?

3. Чи виділяється теплота під час проходження струму в провіднику, який перебуває в надпровідному стані?

4. Опір вольфрамової нитки лампи розжарення за температури $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ дорівнює 100 Ом . Яким буде опір нитки за температури $800\text{ }^{\circ}\text{C}$?

5. На рис. 2 подано графік залежності опору металевого провідника від температури. Яким є температурний коефіцієнт електричного опору цього металу?

6. У скільки разів зміниться сила струму в платиновому дроті, якщо його охолодити від $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$? Напруга на дроті є незмінною.

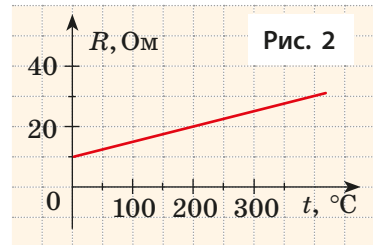


Рис. 2

7. Які сучасні та перспективні напрями застосування надпровідності ви знаєте? Оцініть, чи реально використовувати надпровідність у побуті вже сьогодні. Відповідь обґрунтуйте.

8. Дізнайтеся, що означає вираз «високотемпературна надпровідність». Про яку температуру тут ідеться?



TOP SKILLS: РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

Прочитайте текст.

У техніці та промисловості часто потрібно вимірювати температуру в різних умовах, наприклад за дуже високих температур — у печах (понад $500\text{ }^{\circ}\text{C}$) або за дуже низьких температур — у криогенних установках (нижче $-160\text{ }^{\circ}\text{C}$). Для цього використовують точні й надійні прилади. Одними з найпоширеніших серед них є **термометри опору**.

На електричних схемах термометр опору позначають так:



Дія термометра опору ґрунтується на залежності електричного опору металевого провідника від температури.

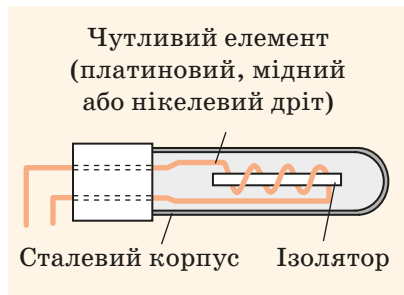
Термометр опору складається із чутливого датчика та вимірювального пристрою. Датчик — це металевий дріт, намотаний на виготовлений із діелектрика стрижень і розміщений у металевому корпусі (див. рисунок).

Коли датчик поміщають у середовище, температуру якого потрібно виміряти, опір дроту змінюється. За цим опором визначають температуру дроту, а отже, й середовища. На практиці шкалу приладу відразу градуюють в одиницях температури.

Найточніший тип термометрів опору — це платинові термометри, адже платина не окиснюється в повітрі, тому такі термометри мають дуже високу точність і стабільність. Використовують також мідні й нікелеві термометри опору.

Дайте відповіді на запитання.

1. На чому ґрунтується дія термометрів опору?
2. Назвіть основні складники термометрів опору.
3. У яких одиницях градуюють шкалу термометрів опору?
4. Які властивості платини зумовлюють використання платинових термометрів попри їхню високу вартість?
5. Що станеться з показами термометра опору, якщо дріт його датчика частково окисниться?
6. Чому для вимірювання дуже високих і дуже низьких температур не використовують рідинні термометри?
7. Чому, на вашу думку, схематичне позначення термометра опору дуже схоже на позначення резистора?
8. Запропонуйте вимоги до матеріалу, із якого має бути виготовлений дріт датчика ідеального термометра опору.
9. Однією з винахідницьких пропозицій щодо термометрів опору є така: замінити сталевий корпус датчика на пластиковий — як дешевший і гнучкіший. Обговоріть цю пропозицію в групах. Чи матимуть такі термометри попит? Обґрунтуйте свою відповідь.



Будова датчика термометра опору

Ключові терміни

Дослід Стюарта — Толмена • Температурний коефіцієнт електричного опору • Надпровідність • Термометр опору



ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

rnk.com.ua/112696

Тема. Дослідження залежності електричного опору металевго провідника від температури.

Мета: дослідити залежність електричного опору мідного дроту від температури.

Обладнання: мультиметр; термометр; пристрій для вивчення залежності електричного опору металів від температури; нагрівник; посудина з водою; штатив із муфтою та лапкою.

Теоретичні відомості

Для виконання роботи використаємо *пристрій для дослідження залежності електричного опору металевго провідника від температури* (такий, як на рис. 1, або інший схожій модифікації).

Пристрій являє собою намотаний на картонний циліндр (1) мідний дріт (2), кінці якого з'єднані з клемми (3), розташованими на пластмасовій панелі (4) пристрою. Пристрій має отвір (5), призначений для термометра. Картонний циліндр із дротом розміщені в скляній пробірці (6).

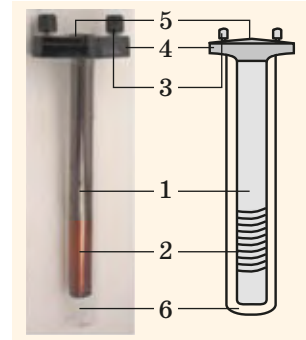


Рис. 1

ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ

Підготовка до експерименту

1. Ознайомтеся з будовою пристрою для дослідження залежності електричного опору металевго провідника від температури.
2. Зберіть установку, подану на рис. 2.
3. Перемкніть тумблер мультиметра на вимірювання опору (Ω), установивши його навпроти позначки 10^3 Ом.

Експеримент

Дотримуйтесь інструкції з безпеки (див. форзац підручника). Результати вимірювань відразу заносьте до таблиці*.

1. Виміряйте початкову температуру t_0 і опір R мідного дроту за цієї температури.

Зверніть увагу! Торкатися клем пристрою щупами мультиметра слід тільки в момент вимірювання опору.



Рис. 2

* Зрозуміло, що в цьому й аналогічних випадках таблицю слід перенести до зошита.

2. Увімкніть нагрівник і, слідкуючи за показами термометра, визначайте опір дроту через кожні $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ в інтервалі від 30 до $70\text{ }^{\circ}\text{C}$. Вимкніть нагрівник.

Температура t , $^{\circ}\text{C}$	$t_0 =$	30	40	50	60	70
Опір R , $\kappa\text{Ом}$	$R =$					

Опрацювання результатів експерименту

За даними таблиці побудуйте графік $R(t)$ — залежності електричного опору дроту від його температури.



Унаслідок похибки вимірювань експериментальні точки можуть не лежати на одній прямій. У такому разі графік проводять так, щоб з обох боків від графіка була приблизно однакова кількість експериментальних точок.

Аналіз експерименту та його результатів

Проаналізуйте експеримент і його результати. Сформулюйте й запишіть висновок, у якому зазначте: 1) що ви досліджували; 2) які результати одержали; 3) чи досягли ви мети дослідження.

Творче завдання

Продовживши побудований графік залежності $R(t)$ до перетину з віссю ординат (віссю опору), знайдіть опір R_0 мідного дроту за температури $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Виберіть на графіку довільну точку та визначте для неї відповідні значення опору R і температури t мідного дроту.

Скориставшись формулою $R = R_0(1 + \alpha t)$, визначте середнє значення температурного коефіцієнта електричного опору міді. Порівняйте одержане значення з табличним. Зазначте причину відхилення.

ФІЗИКА І ТЕХНІКА В УКРАЇНІ



Лев Васильович Шубников (1901–1937) — видатний фізик-експериментатор зі світовим ім'ям. Із 1930 р. Л. В. Шубников мешкав у Харкові, де очолював створену ним лабораторію низьких температур при Харківському фізико-технічному інституті. Учений започаткував дослідження металів у надпровідному стані; важливе значення мали його експерименти з отримання зріджених газів, зокрема водню, азоту, кисню. Найвища нагорода для вченого — це використання його прізвища для назви

відкритого ним явища. «Ефект Шубникова — де Гааза», «фаза Шубникова», «метод Обреїмова — Шубникова» — це лише декілька прикладів внеску видатного вченого в сучасну фізику. У 2001 р. на честь Л. В. Шубникова було названо наукову премію НАН України за видатні наукові роботи в галузі експериментальної фізики.



rnk.com.ua/
114210

§ 2. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ У РОЗЧИНАХ І РОЗПЛАВАХ ЕЛЕКТРОЛІТІВ

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Розгляньте дослід, зображений на рисунку: після додавання солі в дистильовану воду лампа загоряється. Чому це відбувається? Звідки в розчині з'являються частинки, що проводять струм, і які це частинки? Запишіть ваші припущення. Поверніться до своїх записів після опрацювання § 2.



1. Що являє собою електричний струм в електролітах?

Багато кристалічних речовин складаються з позитивних і негативних йонів. Так, кристали натрій хлориду — кухонної солі (NaCl) складаються з позитивних йонів натрію (Na^+) і негативних йонів хлору (Cl^-) (рис. 2.1), а кристали купрум(II) сульфату (CuSO_4) — з позитивних йонів міді (Cu^{2+}) і негативних йонів сульфату (SO_4^{2-}).

Якщо такі речовини розчинити, наприклад у воді, вони частково або повністю розпадаються на окремі йони. Це явище називають *електролітичною дисоціацією* (від латин. *dissociatio* — розділення), а речовини, які, розчиняючись, розпадаються на йони, є *електролітами*.

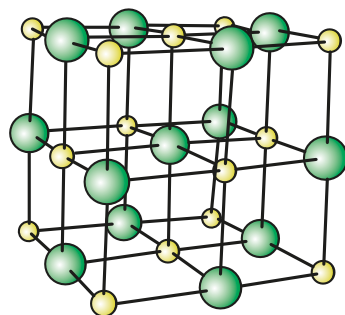


Рис. 2.1. Модель кристалічної ґратки кухонної солі (NaCl): позитивні йони натрію (Na^+) — жовті кульки; негативні йони хлору (Cl^-) — зелені кульки

Електролітична дисоціація — це процес розпаду електролітів на йони внаслідок дії полярних молекул розчинника.

За відсутності електричного поля йони перебувають у хаотичному тепловому русі. А от якщо в розчині або в розплаві створити електричне поле (помістити в них електроди, приєднані до різнойменних полюсів джерела струму), то, як і вільні електрони в металах, йони рухатимуться в певному напрямку — у рідині виникне *електричний струм* (рис. 2.2).

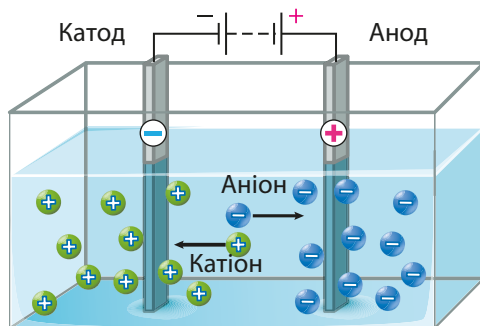


Рис. 2.2. Під дію електричного поля різнойменно заряджених електродів позитивні йони (*катіони*) рухаються до негативного електрода (*катода*), а негативні йони (*аніони*) — до позитивного електрода (*анода*)

Електричний струм у розчинах і розплавах електролітів являє собою напрямлений рух позитивних і негативних йонів.

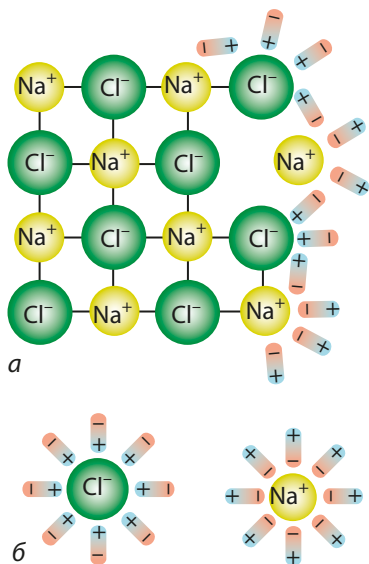


Рис. 2.3. Механізм електролітичної дисоціації кухонної солі

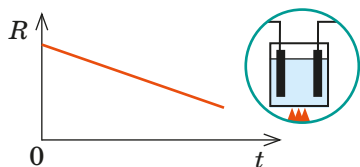


Рис. 2.4. Приблизний графік залежності електричного опору R розчину електроліту від температури t

2. Як відбувається електролітична дисоціація?

Механізм електричної дисоціації розглянемо на прикладі кухонної солі.

Молекули води є полярними: атоми водню й атом кисню в молекулі води розташовані несиметрично, тому з одного боку молекули домінує позитивний заряд, а з іншого боку — такий самий за значенням негативний заряд.

Коли кристалик натрій хлориду (NaCl) потрапляє у воду, полярні молекули води оточують йони натрію та йони хлору (рис. 2.3, а). Деякі молекули навіть потрапляють у проміжки між йонами та значно послаблюють силу їхнього притягання. Унаслідок цього процесу та завдяки тепловому руху молекули води ніби «витягують» йони натрію і хлору з кристалика солі (рис. 2.3, б).

Зі збільшенням температури концентрація вільних йонів у розчині електроліту значно збільшується. Саме тому зі збільшенням температури електричний опір розчину електроліту зменшується (рис. 2.4).

ДОСЛІДЖЕННЯ

Що знадобиться: джерело струму (4,5 В); два олівці, заточені з обох кінців (або два грифелі); з'єднувальні проводи; аркуш картону з отворами; склянка з розчином харчової соди (NaHCO_3).

Просуньте олівці в отвори та частково занурте в розчин; інші кінці олівців з'єднайте із джерелом струму.

За деякий час біля кінчика одного з олівців у розчині з'являться бульбашки газу. Зробіть припущення щодо спостережуваного явища.



3. Що таке електроліз?

Під час проходження електричного струму через розчин електроліту (на відміну від струму в металах) відбувається перенесення хімічних складників електроліту й ті виділяються на електродах — осідають у вигляді твердого шару або виділяються в газоподібному стані.

Наприклад, якщо через водний розчин купрум(II) хлориду (CuCl_2) пропускати струм, то поверхню катода вкриє тонкий шар міді (рис. 2.5), а на аноді виділиться хлор, наявність якого можна виявити за запахом.

З'ясуємо, що відбувається. Коли розчином іде струм, вільні позитивні йони міді (Cu^{2+}) прямують до катода, а вільні негативні йони хлору (Cl^-) — до анода (рис. 2.6).

Досягши катода, катіони міді «захоплюють» з його поверхні електрони та перетворюються на нейтральні атоми міді. Тобто *відбувається хімічна реакція відновлення*, й на поверхні катода осідає мідь.



Рис. 2.5. За кілька хвилин після початку пропускання струму через розчин купрум(II) хлориду поверхню катода вкриє тонкий шар міді

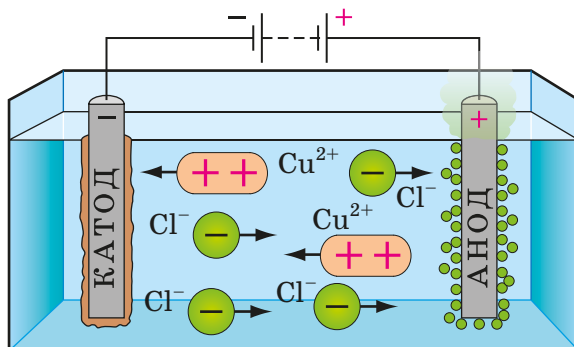


Рис. 2.6. Схема дослідження електричного струму у водному розчині купрум(II) хлориду. Катіони міді прямують до катода, аніони хлору — до анода

Водночас аніони хлору, досягши поверхні анода, «віддають» йому електрони та перетворюються на нейтральні атоми хлору. Тобто *відбувається хімічна реакція окиснення*, й на аноді виділяється хлор.

Процес виділення речовин на електродах, пов'язаний з окисно-відновними реакціями, які відбуваються на електродах під час проходження струму, називають **електролізом**.

А ЯК НАСПРАВДІ?



— Якщо я все зрозуміла, то під час електролізу розчинів солей на катоді завжди виділяється метал? — запитала Катерина, роздивляючись фото досліду.

— Так, — погодилася Наталка, — у солі йони металу завжди є позитивними, тому вони прямують до катода — негативного електрода.

— А мені здається, що в цьому випадку виділятися нічого не буде, — з усмішкою зауважив Павло.

Як ви вважаєте, хто має рацію?



4. Скільки речовини виділяється в ході електролізу?

Уперше явище електролізу докладно вивчив англійський фізик *Майкл Фарадей* (1791–1867). Точно вимірюючи маси речовин, які виділялися на електродах під час електролізу, учений сформулював два закони електролізу. Ми розглянемо **перший закон Фарадея для електролізу**:

Маса речовини, яка виділяється на електроді, прямо пропорційна електричному заряду, який пройшов через електроліт:

$$m = kq$$

,

$$m = kIt$$

де m — маса речовини; q — електричний заряд; t — час проходження струму; I — сила струму; k — коефіцієнт пропорційності, який називають *електрохімічним еквівалентом*.

Електрохімічний еквівалент чисельно дорівнює масі речовини, яка виділяється на електроді внаслідок проходження через електроліт заряду 1 кулон.

Одиниця електрохімічного еквівалента в СІ — кілограм на кулон:

$$[k] = \frac{\text{кг}}{\text{Кл}}.$$

Електрохімічні еквіваленти в мільйони разів менші від одного кілограма на кулон, тому в таблицях (див. *Додаток*) їх частіше подають у *міліграмах на кулон*:

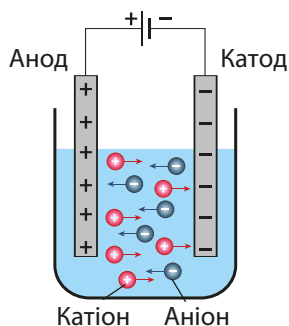
$$1 \frac{\text{мг}}{\text{Кл}} = 1 \cdot 10^{-6} \frac{\text{кг}}{\text{Кл}}.$$

- ✓ Через розчин аргентум нітрату (AgNO_3) пропускають електричний струм. Яка речовина виділяється на катоді?
- ✓ Електрохімічний еквівалент срібла дорівнює $1,12 \frac{\text{мг}}{\text{Кл}}$. Що це означає?



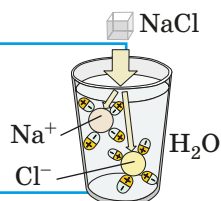
ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Електричний струм у розчинах і розплавах електролітів являє собою напрямлений рух вільних іонів.



- ✓ Вільні йони в розчинах електролітів з'являються завдяки *електролітичній дисоціації*.
- ✓ Позитивні йони (катіони) рухаються до катода (негативного електрода), негативні йони (аніони) — до анода (позитивного електрода).

Електролітична дисоціація — це процес розпаду електролітів на йони внаслідок дії полярних молекул розчинника.



- ✓ Зі збільшенням температури електричний опір розчину електроліту зменшується.

Електроліз — це процес виділення речовин на електродах, пов'язаний з окисно-відновними реакціями, які відбуваються на електродах під час проходження струму.

Перший закон Фарадея для електролізу

Маса m речовини, яка виділяється на електроді, прямо пропорційна електричному заряду q , який пройшов через електроліт:

$$m = kq, \text{ або } m = kIt,$$

де t — час проходження струму; I — сила струму; k — *електрохімічний еквівалент*.



КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. У чому полягає процес електролітичної дисоціації? Наведіть приклади.
2. Що являє собою електричний струм у розчинах і розплавах електролітів?
3. Як змінюється опір електроліту зі зміною температури?
4. Опишіть процес електролізу.
5. Сформулюйте перший закон Фарадея.
6. Яким є фізичний зміст електрохімічного еквівалента?



ВПРАВА № 2

1. Розгляньте схематичний рисунок демонстрації провідності розчину купрум(II) сульфату (рис. 1). Зазначте: а) який електрод слугує катодом, а який — анодом; б) у якому напрямку рухаються катіони міді.
2. Дистильована вода не є провідником. А чому водопровідна, річкова та морська вода проводить електричний струм?
3. Чому розчин солі у воді добре проводить електричний струм, а розчин цукру у воді — погано?
4. Під час електролізу розчину алюміній хлориду на катоді виділилося 1,8 г алюмінію. Визначте, який заряд пройшов через розчин.
5. Під час електролізу розчину аргентум нітрату на катоді виділилося 25 г срібла. Скільки часу тривав електроліз, якщо сила струму була незмінною та дорівнювала 0,5 А?
6. Щоб визначити електрохімічний еквівалент міді, через розчин купрум(II) сульфату протягом 30 хв пропускали струм силою 0,5 А. Яке значення електрохімічного еквівалента отримали, якщо маса катода до початку досліду була 75,20 г, а після досліду — 75,47 г?
7. Три електролітичні ванни заповнені розчинами різних солей. Через розчини пропускають електричний струм (рис. 2). На якому з катодів виділяється найбільша маса металу? Який це метал?

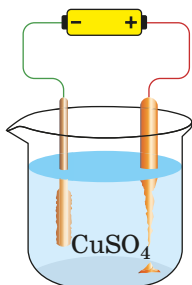


Рис. 1

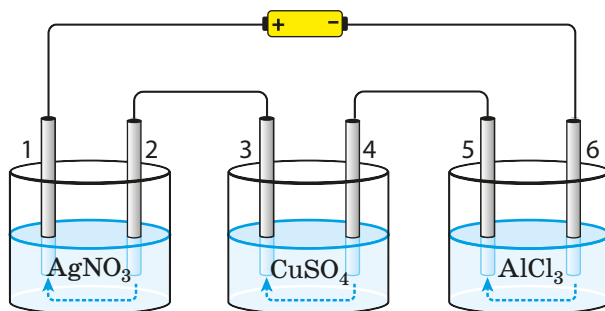


Рис. 2

8. Син коваля й учень палітурника Майкл Фарадей зміг стати видатним ученим. Дізнайтеся про життя М. Фарадея та історію його відкриттів, підготуйте повідомлення.

Ключові терміни

Електроліти • Катод • Анод • Катіони • Аніони • Електролітична дисоціація • Електроліз • Перший закон Фарадея для електролізу • Електрохімічний еквівалент



rnk.com.ua/
114211

§ 3. ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОЛІЗУ

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Хромований кран, позолочена прикраса, алюмінієві заготовки, отримання водню... Об'єднайтеся в групи, виберіть для кожної групи одну фотографію з поданих і дізнайтеся, чому слово *електроліз* об'єднує всі ці фотографії. А може, ви знайдете ще кілька зображень, які стосуються цього процесу.



1. Як отримати метали за допомогою електролізу?

Електроліз широко застосовують у промисловості, отримуючи із солей і оксидів багато металів: мідь, нікель, алюміній та ін. Наприклад, щоб отримати алюміній, як електроліт використовують алюміній оксид (Al_2O_3), розчинений у розплавленому кріоліті (Na_3AlF_6) за температури 950°C . Розчин поміщають в електролітичні ванни; *катодом* зазвичай слугує викладене графітом дно ванни, *анодами* — занурені в електроліт вугільні блоки (рис. 3.1).

Завдяки електролітичній дисоціації в розчині утворюються позитивні йони алюмінію (Al^{3+}) і негативні йони кисню (O^{2-}).

Позитивні йони алюмінію прямують до катода і, «забираючи» в нього електрони, відновлюються — перетворюються на нейтральні атоми алюмінію. Оскільки розплавлений алюміній має більшу густину, ніж розчин, то він накопичується на дні ванни. Періодично (1–2 рази на добу) рідкий алюміній відбирають через спеціальний отвір.

Негативні йони кисню прямують до анодів, де віддають їм «зайві» електрони, — утворюється кисень (O_2). Кисень реагує з вугільними анодами — утворюється вуглекислий газ (CO_2), який відсмоктується вентиляторами, очищується та прямує в атмосферу через димову трубу.

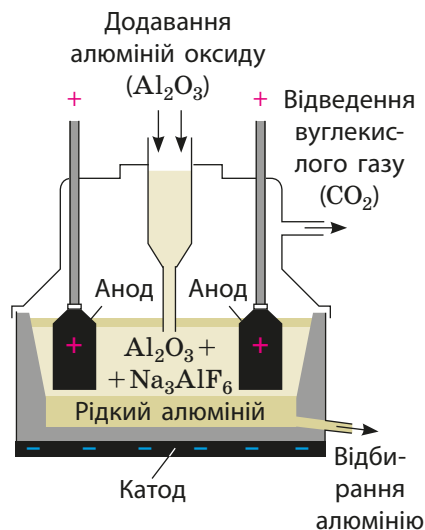


Рис. 3.1. Виробництво алюмінію (схема промислового пристрою)

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...



Зараз вироби з алюмінію ми бачимо всюди. Приблизно 150 років тому алюміній був дуже рідкісним металом і коштував у десятки разів дорожче за золото. Усе змінилося в 1886 р., коли французький металург *Поль Еру* і американський хімік *Чарльз Холл*, працюючи незалежно один від одного, винайшли електролітичний спосіб отримання алюмінію.



2. Як отримують надчисті метали?

Метали, отримані шляхом електролізу (або іншим способом), зазвичай містять деяку кількість домішок. Для очищення металів від домішок можна знову використати електроліз.

Спосіб очищення металів за допомогою електролізу називають **рафінуванням**.

Як приклад розглянемо очищення міді. У ванну з розчином купрум(II) сульфату (CuSO_4) занурюють два електроди. Анодом слугує товста пластинка неочищеної міді, а катодом — тонка пластинка чистої міді (рис. 3.2). У розчині купрум(II) сульфат розпадається на йони міді (Cu^{2+}) та йони сульфату (SO_4^{2-}). Йони міді прямують до катода й осідають на ньому. Йони сульфату рухаються до анода та «забирають» у нього йони міді. Відтворений у такий спосіб купрум(II) сульфат опиняється в розчині й там знову розпадається на йони. Урешті-решт чиста мідь переноситься з анода на катод. Анод при цьому розчиняється, а домішки осідають на дні або залишаються в розчині.

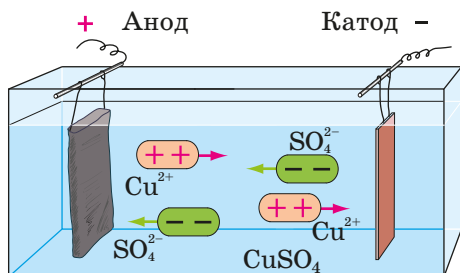


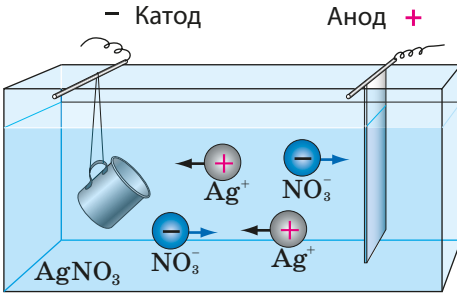
Рис. 3.2. Рафінування міді: тонка пластинка чистої міді є катодом, товста пластинка неочищеної міді — анодом; ванна наповнена водним розчином купрум(II) сульфату (CuSO_4)

3. Як метал захищають від корозії?

За допомогою електролізу можна наносити тонкий шар металу на поверхню виробу — робити сріблення, золочення, нікелювання, хромування тощо. Такий шар може захищати від корозії, збільшувати міцність виробу або просто ставати його прикрасою.

Спосіб покриття виробу тонким шаром металів за допомогою електролізу називають **гальваностегією**.

Виріб, який бажають покрити шаром певного металу, занурюють у ванну з розчином електроліту, до складу якого входить цей метал. Власне виріб слугує катодом, а пластинка металу, яким покривають виріб, — анодом. Під час пропускання струму метал осідає на виробі (катоді), а анодна пластинка поступово розчиняється (рис. 3.3).



Які фотографії на заставці до § 3 мають стосунок до гальваностегії? Наведіть власні приклади виробів, для виготовлення яких використовують гальваностегію.



Рис. 3.3. Гальванічне сріблення. Предмет, який покривають сріблом (кухоль), є катодом, срібна пластинка — анодом; ванна наповнена розчином аргентум нітрату

4. Що таке гальванопластика?

Гальванопластика — це спосіб отримання точних копій рельєфних виробів за допомогою електролізу.

Спочатку з воску роблять зліпок рельєфного виробу. Щоб поверхня зліпка проводила струм, її покривають тонким шаром графіту. Потім зліпок поміщають у ванну з розчином електроліту; зліпок слугуватиме катодом. Анодом буде пластинка металу. Під час електролізу на зліпку нарощується досить товстий шар металу, що заповнює всі нерівності зліпка. Після припинення електролізу віск відділяють від шару металу й у результаті отримують точну копію виробу (рис. 3.4).

Зрозуміло, що застосування електролізу в сучасній техніці не обмежене розглянутими прикладами. За допомогою електролізу отримують водень; електроліз лежить в основі зарядження та розрядження кислотних і лужних акумуляторів тощо.

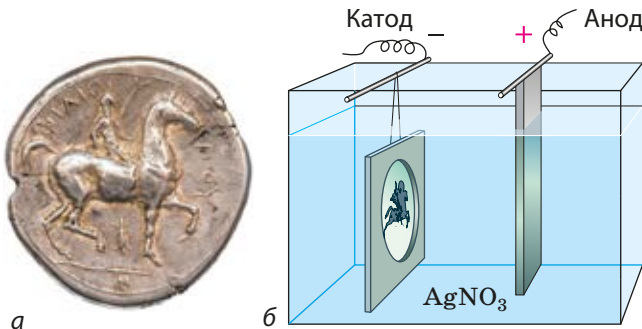


Рис. 3.4. Отримання срібних копій за допомогою електролізу: а — монета, копію якої слід отримати; б — схема пристрою: восковий зліпок, покритий тонким шаром графіту, є катодом, срібна пластинка — анодом; ванна наповнена розчином аргентум нітрату (AgNO_3)

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...



Шляхом поділу води на водень і кисень за допомогою електролізу можна отримати *дуже ефективно паливо* — водень. Його питома теплота згоряння в кілька разів перевищує аналогічний показник для природного газу, нафти чи вугілля. До того ж під час згоряння водню не утворюється вуглекислий газ. Саме тому водень вважають паливом майбутнього.

Це паливо можна зробити ще екологічнішим: якщо використовувати для його виробництва лише відновлювані джерела енергії, то можна отримати так званий «зелений» водень — паливо, під час виробництва й використання якого не завдається шкоди довкіллю.



5. Учимся розв'язувати задачі

■ **Задача.** Під час нікелювання на кожний 1 дм^2 поверхні виробу, який нікелюють, подають силу струму $0,4 \text{ А}$. За який час на виріб буде нанесено шар нікелю завтовшки $0,02 \text{ мм}$? ■

Аналіз фізичної проблеми. Час перебігу електролізу визначимо, скориставшись першим законом Фарадея для електролізу; масу речовини, що виділилася на катоді, подамо через густину та об'єм шару нікелю. Електрохімічний еквівалент і густину нікелю знайдемо в таблицях *Додатка*. Розв'язуючи задачу, густину зручно подати в грамах на кубічний сантиметр, а отже, товщину шару — у сантиметрах, площу поверхні — у квадратних сантиметрах, а електрохімічний еквівалент — у грамах на кулон.

Дано:

$$S = 100 \text{ см}^2$$

$$I = 0,4 \text{ А}$$

$$d = 0,002 \text{ см}$$

$$\rho = 8,9 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$$

$$k = 0,30 \frac{\text{мг}}{\text{Кл}}$$

$$= 0,0003 \frac{\text{г}}{\text{Кл}}$$

Знайти:

$$t - ?$$

Пошук математичної моделі, розв'язання

Згідно з першим законом Фарадея: $m = kIt$.

Оскільки $m = \rho V$, а $V = Sd$, то $m = \rho Sd$.

Отже, маємо: $\rho Sd = kIt$. Звідси $t = \frac{\rho Sd}{kI}$.

Перевіримо одиницю, визначимо значення шуканої величини:

$$[t] = \frac{\frac{\text{г}}{\text{см}^3} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{см}}{\frac{\text{г}}{\text{Кл}} \cdot \text{А}} = \frac{\text{г} \cdot \text{Кл}}{\text{г} \cdot \text{А}} = \frac{\text{А} \cdot \text{с}}{\text{А}} = \text{с};$$

$$t = \frac{8,9 \cdot 100 \cdot 0,002}{0,0003 \cdot 0,4} \approx 14\,800 \text{ (с)}; t = 14\,800 \text{ с} \approx 4 \text{ год } 7 \text{ хв.}$$

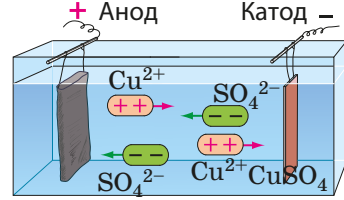
Відповідь: $t \approx 4 \text{ год } 7 \text{ хв.}$



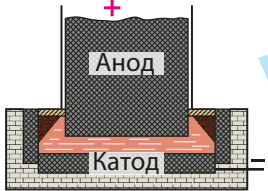
ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Гальваностегія — покриття виробу тонким шаром металу за допомогою електролізу (сріблення, хромування, позолочення, нікелювання).

Рафінування — очищення металів за допомогою електролізу.



Виробництво металів



Електролітом є розчин чи розплав солі або оксиду металу.

Застосування електролізу



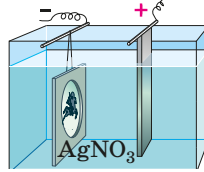
Виробництво водню

Джерело струму

Анод Катод

Під час електролізу води на катоді утворюється водень, а на аноді — кисень.

Гальванопластика — спосіб отримання точних копій рельєфних виробів за допомогою електролізу.



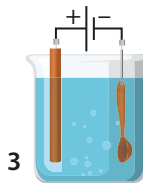
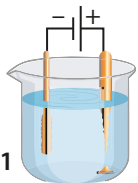
КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Наведіть приклади застосування електролізу. 2. Опишіть процес отримання алюмінію. 3. Як можна очистити метали від домішок? 4. Для чого поверхню металів покривають тонким шаром іншого металу? 5. Що таке гальваностегія; гальванопластика?



ВПРАВА № 3

1. Установіть відповідність між зображенням (1–3) і назвою відповідного виробничого процесу (А–Г).



- А Гальваностегія
- Б Гальванопластика
- В Отримання водню
- Г Рафінування

- 2.** На рис. 1 наведено схематичне зображення електричного кола.
- 1) Назвіть основні складники кола.
 - 2) Який електрод слугує катодом, а який — анодом?
 - 3) На якому електроді виділяється срібло?
 - 4) Якою є сила струму в колі?
 - 5) За який час на електроді утвориться шар срібла масою 784 мг?
 - 6) Яку енергію буде витрачено під час сріблення, якщо напруга на електродах становить 11 В?
- 3.** Під час електролітичного рафінування нікелю через водний розчин NiSO_4 пропускають струм силою 50 А протягом 5 діб.
- 1) Яка маса чистого нікелю виділиться на катоді?
 - 2) Яку силу струму треба встановити, щоб за той самий час отримати 3,24 кг нікелю?
 - 3) Якою буде маса чистого нікелю, якщо час процесу збільшити в 1,5 рази?
- 4.** На рис. 2 наведено схематичне зображення електричного кола, до складу якого входить посудина з водним розчином цинк(II) сульфату. Використовуючи дані рисунка, обчисліть товщину шару цинку, що утвориться на катоді в результаті електролізу, якщо площа покриття дорівнює $0,01 \text{ м}^2$.

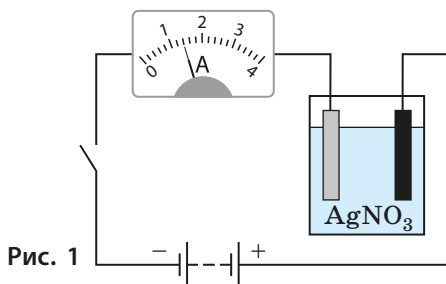


Рис. 1

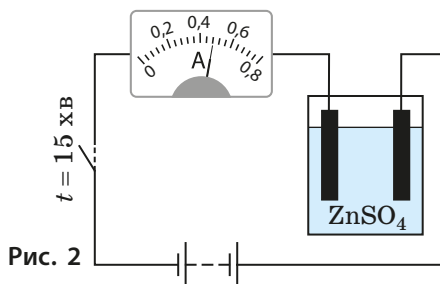


Рис. 2

- 5.** Для сріблення ложок через розчин аргентум нітрату пропускали струм силою 1,8 А. Катодом слугували 12 ложок, кожна з яких мала площу поверхні 50 см^2 . Скільки часу тривав електроліз, якщо на ложках утворився шар срібла завтовшки 58 мкм?
- 6.** Під час рафінування міді анодом слугує пластина неочищеної міді масою 2 кг, яка має 12 % домішок. Яку корисну роботу має виконати струм для очищення цієї міді, якщо процес відбувається за напруги 6 В?
- 7.** Дізнайтеся про застосування електролізу для очищення води. Підготуйте стисле повідомлення.

Ключові терміни

Виробництво металів • Рафінування • Гальваностегія • Гальванопластика



rnk.com.ua/112699

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

Тема. Визначення електрохімічного еквівалента міді.

Мета: дослідити електроліз водного розчину купрум(II) сульфату та виміряти електрохімічний еквівалент міді.

Обладнання: терези з важками (або електронні ваги); амперметр; годинник; ключ; реостат; з'єднувальні проводи; джерело постійного струму; склянка з водним розчином купрум(II) сульфату; вугільні або мідні електроди; тримач; паперові серветки.

ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ

Підготовка до експерименту

1. З першого закону Фарадея для електролізу ($m = kIt$) отримайте формулу для визначення електрохімічного еквівалента.
2. Запишіть план проведення експерименту щодо визначення електрохімічного еквівалента.

Експеримент

Дотримуйтесь інструкції з безпеки. Результати вимірювань відразу заносьте до таблиці.

1. Закріпіть електроди в тримачі (рис. 1).
2. Занурте електроди, закріплені в тримачі, у розчин електроліту на 2–3 хв, потім дістаньте їх і промокніть серветкою.
3. Вийміть один з електродів із тримача. На верхній частині електрода зробіть будь-яку позначку — цей електрод слугуватиме катодом.
4. Зважте електрод із позначкою з точністю до 10 мг і знову закріпіть електрод у тримачі.
5. Складіть електричне коло за схемою на рис. 2.



Рис. 1

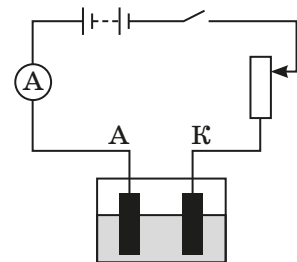


Рис. 2



Зверніть увагу: електрод, який слугуватиме катодом (електрод із позначкою), приєднують до негативного полюса джерела струму; ключ при цьому має бути розімкнений.

6. Занурте електроди в розчин купрум(II) сульфату, замкніть ключ і за допомогою реостата встановіть силу струму в колі не більше 1 А. Зафіксуйте час початку електролізу.
7. Здійснюйте електроліз протягом 15 хв, увесь час слідкуючи за показом амперметра та підтримуючи за допомогою реостата силу струму в колі незмінною.

8. Після закінчення часу, відведеного для електролізу, розімкніть коло, вийміть електрод із шаром міді з тримача, дуже обережно промокніть його серветкою та зважте.

Сила струму I , А	Час електролізу t , с	Маса катода		Маса міді, що виділилася Δm , мг	Електрохімічний еквівалент k , $\frac{\text{мг}}{\text{Кл}}$
		на початок досліду m_0 , г	після досліду m , г		

Опрацювання результатів експерименту

Результати обчислень відразу заносьте до таблиці.

- Визначте масу міді, що виділилася на катоді: $\Delta m = m - m_0$. Результат подайте в міліграмах.
- Знайдіть значення електрохімічного еквівалента міді: $k = \frac{\Delta m}{It}$. Результат округліть до двох значущих цифр.

Аналіз експерименту та його результатів

Проаналізуйте експеримент і його результати. Зробіть висновок, у якому зазначте: 1) яке явище ви досліджували; 2) які фізичні величини вимірювали; 3) чи збіглося виміряне значення електрохімічного еквівалента міді з табличним; у чому, на вашу думку, причина розбіжності.

Творче завдання

Запропонуйте спосіб визначити масу хлору, що виділяється на аноді за певний час електролізу водного розчину натрій хлориду (кухонної солі), якщо є таке обладнання: джерело живлення, з'єднувальні проводи, два набори для електролізу (дві склянки, два тримачі, чотири електроди), терези, водний розчин купрум(II) сульфату, водний розчин натрій хлориду, таблиця електрохімічних еквівалентів.

ФІЗИКА І ТЕХНІКА В УКРАЇНІ



Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона НАН України (Київ). Дуговий розряд (див. § 5) набув поширення завдяки зварюванню. Безперечний світовий авторитет України в цій галузі забезпечили дослідження вчених Інституту електрозварювання. Світове визнання інститут здобув завдяки

новітній для свого часу технології зварювання під флюсом, яку розробив засновник інституту академік Євген Оskarович Патон (1870–1953). В інституті розроблено новітні технології, які застосовують у космосі й навіть для зварювання живих тканин.

На фото — відомий суцільнозварний міст Патона в Києві. Цей міст Американське зварювальне товариство визнало видатною зварною конструкцією XX ст.



rnk.com.ua/
114212

§ 4. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ У ГАЗАХ

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Прочитавши назву § 4, дехто з вас здивується. Адже ми вивчали, що газу є діелектриками, тож про який електричний струм ідеться? Цілком слушно, але зауважимо: газу є діелектриками за звичайних умов. Існують умови, за яких газу можуть ставати провідниками. Розгляньте дослід (рис. 4.1) і дайте відповіді на запитання: 1) За допомогою якого приладу з'ясували, що за звичайних умов повітря не проводить електричний струм? 2) Що було зроблено, щоб повітря стало провідником струму? Зробіть припущення, які частинки при цьому є вільними носіями заряду.



Рис. 4.1. Експеримент із вивчення провідності газів: *а* — за звичайних умов у повітрі майже немає вільних заряджених частинок і воно не проводить електричний струм; *б* — у разі внесення в повітряний прошарок запаленої спиртівки повітря стає провідником

1. Який механізм провідності газів?

На відміну від металів та електролітів, газу складаються з електрично нейтральних частинок (атомів і молекул), тому за звичайних умов повітря є діелектриком.

Коли полум'я спиртівки нагріває повітря, кінетична енергія теплового руху частинок повітря збільшується настільки, що в разі їх зіткнення від частинки може відірватися електрон і стати вільним. Утративши електрон, молекула (або атом) стає *позитивним йоном* (рис. 4.2) — відбувається *термічна йонізація*.

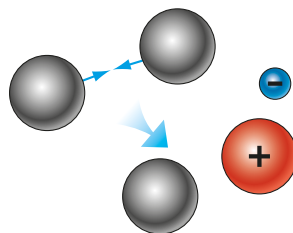


Рис. 4.2. Схема йонізації молекули газу. Утративши в результаті зіткнення електрон, молекула стає позитивним йоном

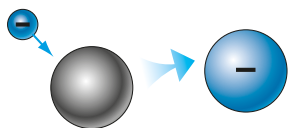


Рис. 4.3. Схема утворення негативних йонів у газі

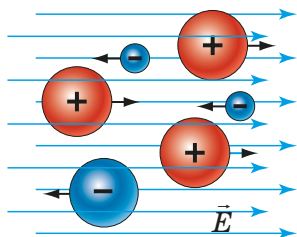


Рис. 4.4. У йонізованому газі за наявності електричного поля виникає напрямлений рух вільних заряджених частинок — електричний струм

Здійснюючи тепловий рух, електрон може зіткнутися з нейтральною частинкою і вона його захопить — утвориться *негативний йон* (рис. 4.3).

Процес утворення позитивних і негативних йонів та вільних електронів із молекул (атомів) газу називають **йонізацією**.

Якщо *йонізований газ (плазму)* помістити в електричне поле, то внаслідок дії цього поля позитивні йони рухатимуться в напрямку силових ліній поля, а електрони та негативні йони — у протилежному напрямку (рис. 4.4). У плазмі виникне електричний струм.

Електричний струм у йонізованих газах (плазмі) являє собою напрямлений рух вільних електронів, позитивних і негативних йонів.

Електричний струм у *плазмі* називають **газовим розрядом**. Газ може стати йонізованим не тільки внаслідок підвищення його температури. Наприклад, верхні шари атмосфери Землі йонізуються під дією *космічних променів*, сильний йонізаційний вплив на газ мають *рентгєнівські промені* — це *йонізація випромінюванням*.

А ЯК НАСПРАВДІ?



Штучному інтелекту поставили *запитання*: «Яких частинок більше в плазмі — вільних електронів чи йонів?»; «Чи є в плазмі негативні йони?». Одержали такі *відповіді*:

«У плазмі однакова кількість вільних електронів і позитивних йонів, адже плазма електрично нейтральна»; «У плазмі є негативні йони, що утворюються в разі приєднання електронів до нейтральних атомів або молекул».

Чи є між відповідями суперечність? А як насправді?

2. Несамостійний газовий розряд

Досліди показують: якщо усунути причину, яка викликала йонізацію газу (прибрати пальник, вимкнути джерело рентгєнівського випромінювання тощо), то газовий розряд зазвичай припиняється.

Газовий розряд, який відбувається тільки за наявності зовнішнього йонізатора, називають **несамостійним газовим розрядом**.

З'ясуємо, чому після закінчення дії йонізатора газовий розряд припиняється.

По-перше, може відбутися *рекомбінація* електронів і позитивних йонів — об'єднання їх у нейтральну молекулу (атом) (рис. 4.5).

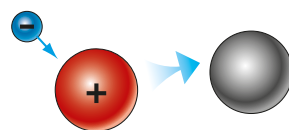


Рис. 4.5. Схема рекомбінації (відновлення) молекул газу

По-друге, унаслідок дії поля вільні електрони рухаються до позитивного електрода (анода) і поглинаються ним; негативні йони рухаються до анода, «віддають» йому «зайві» електрони й перетворюються на нейтральні частинки; позитивні йони, досягши негативного електрода (катода), «забирають» у нього електрони й теж перетворюються на нейтральні частинки.

Отже, якщо йонізатор «працює», у газі безперервно з'являються нові йони; після припинення дії йонізатора кількість вільних заряджених частинок у газі швидко зменшується й газ перестає проводити струм.

3. Як утворюється електронна лавина?

За певних умов газ може проводити електричний струм і після припинення дії йонізатора.

Газовий розряд, який відбувається без дії зовнішнього йонізатора, називають **самостійним газовим розрядом**.

Як відбувається самостійний газовий розряд? Під час руху в електричному полі швидкість електрона поступово збільшується. Проте це збільшення не відбувається нескінченно — електрон зіштовхується із частинками газу. Якщо між зіткненнями електрон встигне набути великої швидкості, то, зіткнувшись із нейтральним атомом або молекулою, він може вибити з них електрон — *може їх йонізувати*. Унаслідок йонізації утворюються позитивний йон і ще один електрон. Послідовність таких зіткнень приводить до створення *електронної лавини* (рис. 4.6). Описаний процес називають **ударною йонізацією** або **йонізацією електронним ударом**.

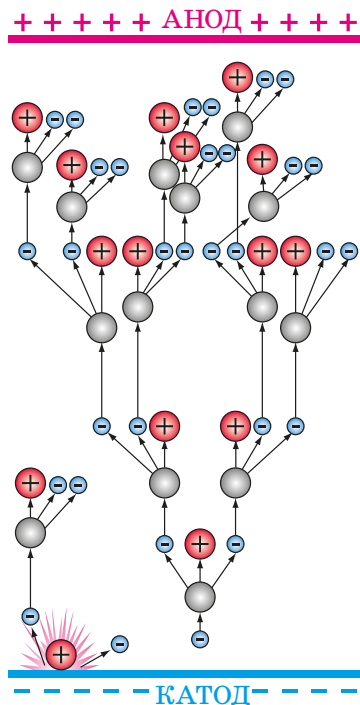


Рис. 4.6. Схема розвитку електронної лавини. Вільний електрон, прискорений електричним полем, зіштовхується з атомом (молекулою) і вибиває ще один електрон. Розігнавшись, два електрони звільняють ще два й т. д. Кількість вільних електронів збільшується доти, доки вони не досягнуть анода

Електрони, що утворилися внаслідок ударної йонізації, прямують до анода і в решті-решт поглинаються ним. Проте газовий розряд не припиниться, якщо будуть з'являтися нові електрони. Одним із джерел нових електронів може бути поверхня катода. Річ у тім, що позитивні йони прямують до катода й вибивають із нього нові електрони (див. [рис. 4.6](#)). Іншими словами, унаслідок бомбардування катода позитивними йонами відбувається *емісія (випускання)* електронів із поверхні катода.

Отже, *самостійний газовий розряд підтримується завдяки ударній йонізації та завдяки емісії електронів із поверхні катода*.

4. За яких умов можлива йонізація електронним ударом?

Щоб *електрон* зміг у разі зіткнення вибити електрон із нейтральних атома чи молекули, він має набути достатньої кінетичної енергії. Це може відбутися у двох випадках: якщо електрон буде *довго розганятися* або якщо він буде *розганятися дуже швидко*.

За нормального тиску ($p \approx p_{\text{атм}}$) електрони в газах дуже часто зіштовхуються з атомами й молекулами газу, тому *електричне поле*, у якому рухається електрон, *має бути досить сильним*, щоб електрон до зіткнення встиг набути енергії, необхідної для йонізації.

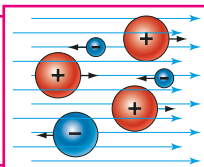
Якщо ж тиск газу малий ($p < 0,1 p_{\text{атм}}$), тобто *газ є досить розрідженим*, то час між зіткненнями значно збільшується й електрон може набути енергії, необхідної для йонізації молекули (атома), у слабшому полі.



ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

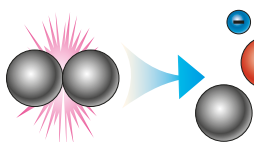


Електричний струм у йонізованому газі (плазмі) — газовий розряд — являє собою напрямлений рух вільних електронів, позитивних і негативних йонів.



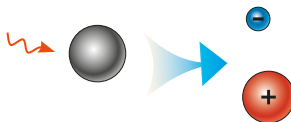
Йонізація газу — процес утворення позитивних і негативних йонів та вільних електронів з електрично нейтральних атомів і молекул.

Термічна йонізація



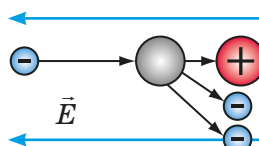
Енергія, необхідна для йонізації, виділяється під час зіткнення молекул (атомів), які за високої температури газу мають велику швидкість.

Йонізація випромінюванням



Енергію, необхідну для йонізації, постачає в атом (молекулу) височастотне електромагнітне випромінювання.

Йонізація електронним ударом



Енергію, необхідну для йонізації, постачає в атом (молекулу) електрон, розігнаний електричним полем.



Види
газових
розрядів

Несамостійний газовий розряд — газовий розряд, який відбувається тільки за наявності зовнішнього йонізатора.

Самостійний газовий розряд — газовий розряд, який відбувається без дії зовнішнього йонізатора.



КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Чому за звичайних умов газ не проводить електричний струм?
2. Який газ називають йонізованим?
3. Що таке йонізація? Які види йонізації ви знаєте?
4. Який розряд у газі називають несамостійним?
5. Чому після закінчення дії йонізатора несамостійний газовий розряд швидко припиняється?
6. Дайте означення самостійного газового розряду.
7. Опишіть механізм ударної йонізації.



ВПРАВА № 4

1. В електричному полі, створеному двома різноіменно зарядженими пластинами, міститься йонізований газ (рис. 1). Перенесіть рисунок до зошита. Зобразіть силові лінії електричного поля між пластинами. Покажіть напрямок руху електронів і йонів. Яким буде рух нейтральних частинок?
2. Чому, на вашу думку, швидко збільшення кількості вільних електронів під час самостійного газового розряду назвали лавиною (див. фото на заставці до § 4)?
3. Чому в разі охолодження газів їхня провідність падає?
4. Чим йонізація газів відрізняється від електролітичної дисоціації?
5. Що спільного і в чому різниця між електричним струмом у газах, рідинах і металах?
6. Цікавим прикладом несамостійного газового розряду є газовий розряд у плазмовій кулі (рис. 2). Розріджений газ у кулі йонізується електричним струмом дуже високої частоти. Якщо кулі торкнутися рукою, то промені притягуються до руки. Дізнайтеся, чому це відбувається; що є спільним між цим явищем і роботою сенсорного екрана; хто був винахідником плазмової кулі та ін.

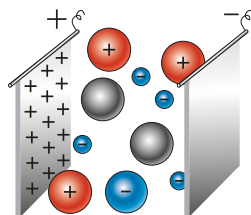


Рис. 1



Рис. 2

Ключові терміни

Газовий розряд • Йонізація • Електронний удар • Несамостійний газовий розряд • Самостійний газовий розряд



rnk.com.ua/
114213

§ 5. ВИДИ САМОСТІЙНИХ ГАЗОВИХ РОЗРЯДІВ

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Щоб захиститися від блискавки, давньогрецькі мореплавці прив'язували мотузку до леза меча, меч прикріплювали до щогли, а кінець мотузки опускали в море. Першообразом якого сучасного пристрою, на вашу думку, є це пристосування? Як працює цей пристрій? Як він пов'язаний із темою § 5?

1. Чому під час газових розрядів випромінюється світло?

Із § 4 ви дізналися, що під час самостійного газового розряду вільний електрон розганяється електричним полем до такої швидкості, що, зіткнувшись з атомом, вибиває з нього ще один електрон. Проте під час зіткнення електрон також може передати атому частину своєї енергії; атом при цьому *збуджується*. Але в збудженому стані атом може перебувати дуже короткий час (кілька наносекунд): майже миттєво він випромінює надлишкову енергію у вигляді фотона — «порції» світла.

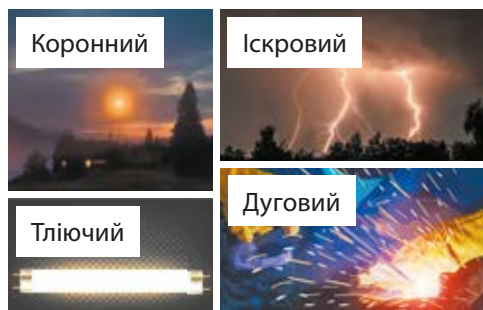


Рис. 5.1. Види самостійних газових розрядів

Оскільки під час газового розряду збуджується величезна кількість атомів, самостійний газовий розряд зазвичай супроводжується світінням. Яскраві (а іноді й небезпечні) спалахи блискавки, моторошні для невідомої людини «вогні святого Ельма», різнобарвне світіння газорозрядних трубок, сліпуче світло під час зварювання металу — усе це приклади різних *самостійних газових розрядів* (рис. 5.1).

2. Чому виникає блискавка?

За атмосферного тиску та великої напруги між електродами виникає **іскровий газовий розряд**. Іскорки, які з'являються, коли ви знімаєте синтетичний светр; блискавка під час грози; іскра між зарядженими кондукторами електрофорної машини (рис. 5.2), — усе це приклади іскрового розряду.

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...



Під час одного розряду блискавки виділяється в середньому 1 млрд Дж енергії — приблизно стільки ж виділяється під час згоряння 31 л бензину. А якщо врахувати, що по всій Землі щороку спалахує близько 1,4 млрд блискавок, то було б чудово «спіймати» цю енергію.

Гроза енергетика — так назвали спосіб отримання енергії шляхом упіймання та перенаправлення енергії блискавок в електромережу. На жаль, використати потенціал блискавок поки не виходить. Можливо, саме ви станете першими...

Іскровий розряд має вигляд яскравих зигзагоподібних смужок, що розгалужуються (рис. 5.3). Він триває всього кілька десятків мікросекунд і зазвичай супроводжується характерними звуковими ефектами (потріскування, тріск, грім тощо). Річ у тім, що температура газу, а отже, й тиск у ділянці розряду різко підвищуються, у результаті повітря швидко розширюється та виникає ударна хвиля, яку ми сприймаємо як звук.

У техніці іскровий розряд використовують, наприклад, у запальних свічках бензинових двигунів (рис. 5.4), для оброблення особливо міцних металів.

Прикладом грандіозного іскрового розряду в природі є *блискавка*.

У результаті наукових досліджень було встановлено, що під час грози відбувається перерозподіл зарядів у грозовій хмарі, тому різні частини хмари заряджаються зарядами протилежних знаків. Зазвичай нижні шари хмари мають негативний заряд, а верхні — позитивний.

Напруга між хмарою і Землею, напруга між двома хмарами, зверненими одна до одної різнойменно зарядженими частинами, сягають кількох сотень мільйонів вольтів. Завдяки ударній йонізації, а далі — йонізації випромінюванням, яке супроводжує розряд, в електричному полі



Рис. 5.2. Іскровий розряд між зарядженими кондукторами електрофорної машини



Рис. 5.3. Вигляд іскрового газового розряду



Рис. 5.4. Електрична напруга між електродами запальної свічки становить 12–15 тисяч вольтів

між хмарами з'являються лавини вільних йонів і електронів, тобто виникає короткочасний самостійний газовий розряд — *блискавка*. Сила струму в каналі блискавки сягає сотень тисяч амперів.

3. Як захиститися від удару блискавки?

Удар блискавки може спричинити лісові пожежі, вивести з ладу лінії електропередачі та навіть призвести до загибелі людей. Щоб не стати жертвою удару блискавки, пам'ятайте, що блискавка частіше вдаряє у відносно високі предмети.

ПРАВИЛА ПОВЕДІНКИ ПІД ЧАС ГРОЗИ

Опинившись під час грози в полі, **не можна** бігти ним, — навпаки, потрібно присісти, щоб не вивищуватися над місцевістю.



Під час грози в лісі **не можна** ховатися під високими деревами, а в полі — під поодиноким деревом, копицею сіна тощо: імовірність влучання блискавки в такі об'єкти дуже висока; до того ж вологе дерево проводить струм, який потім розтікається землею.

Під час грози **не можна** купатись у відкритих водоймах, адже якщо блискавка вдарить у водойму, струм може пройти тілом людини й спричинити судоми, параліч дихання або зупинку серця.



Якщо гроза застала в автомобілі, **треба** зачинити вікна й двері та перечекати негоду. Металевий корпус автомобіля створює захисний екран (клітка Фарадея), і блискавка не проникає всередину.

Під час грози **не можна** запускати повітряного змія: мокра мотузка стає провідником електрики, і блискавка може вдарити в змія. При цьому заряди пройдуть через руку й тіло людини в землю.



4. Як виникає коронний газовий розряд?

Перед грозою або під час грози біля гострих виступів предметів іноді можна спостерігати слабе фіолетове світіння у вигляді корони, що охоплює вістря. Причиною цього явища є самостійний газовий розряд, який називають коронним (рис. 5.5). З'ясуймо, чому і як виникає **коронний газовий розряд**.

На поверхні Землі під дією електричного поля грозової хмари накопичуються (індукуються) заряди, за знаком протилежні заряду хмари. Особливо щільно такі заряди розташовані на гострих частинах предметів. У результаті електричне поле біля вістря виявляється настільки сильним, що заряд стікає із загостреного предмета, йонізуючи довколишнє повітря. Оскільки поле є досить сильним тільки навколо вістря, то коронні розряди спостерігаються лише біля гострих частин предметів.

На виникненні коронного розряду ґрунтується дія *блискавковідводу*. Блискавковідвід являє собою загострений металевий стрижень, з'єднаний товстим провідником із металевим предметом (див. рис. 5.6). Стрижень установлюють вище за найвищу точку будинку, який захищають, а металевий предмет закопують глибоко в землю (на рівні ґрунтових вод). Під час грози на кінці блискавковідводу виникає коронний розряд. У результаті заряд не накопичується на будинку, а стікає з вістря блискавковідводу.

Вважається, що блискавковідвід винайшов *Бенджамін Франклін* у 1752 р. Проте подібні конструкції існували й раніше.



Рис. 5.5. «Вогні святого Ельма» — коронний розряд біля гострих кінців корабельних щогл — багато століть сповнювали жахом мореплавців, які не могли правильно пояснити їхню природу

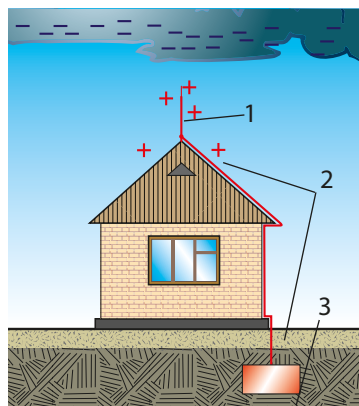


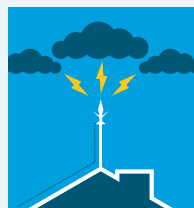
Рис. 5.6. Блискавковідвід (гromовідвід): 1 — загострений металевий стрижень; 2 — провідник — товстий з'єднувальний провід; 3 — металевий предмет, закопаний глибоко в землю

А ЯК НАСПРАВДІ?



Переважає більшість пересічних громадян вважають, що блискавковідвід потрібно називати блискавковловлювачем, адже він не відводить блискавку, а вловлює її, спрямовуючи в землю.

А як насправді? Чи правильно зображено на рисунок призначення блискавковідводу?



5. Який газовий розряд використовують під час електрозварювання?

На початку XIX ст. англійський учений *Гамфрі Деві* (1778–1829) провів такий дослід. Він приєднав два вугільні електроди до полюсів великої електричної батареї, з'єднав електроди один з одним, а потім трохи розсунув. Між кінчиками електродів учений спостерігав яскраве дугоподібне полум'я, а самі кінчики розжарювалися, випромінюючи

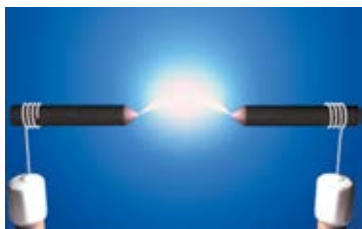


Рис. 5.7. Дуговий газовий розряд

сліпуче біле світло. Так було отримано ще один вид самостійного газового розряду — **дуговий газовий розряд (електрична дуга)** (рис. 5.7). З'ясуймо причину його виникнення.

Коли електроди з'єднані, електричне коло є замкненим і в ньому йде досить сильний електричний струм. У місці з'єднання електродів опір найбільший, отже, саме тут відповідно до закону Джоуля — Ленца виділяється найбільша кількість теплоти. Кінці електродів розжарюються до 4000–7000 °С, і з поверхні катода починають вилітати електрони (відбувається термоелектронна емісія).

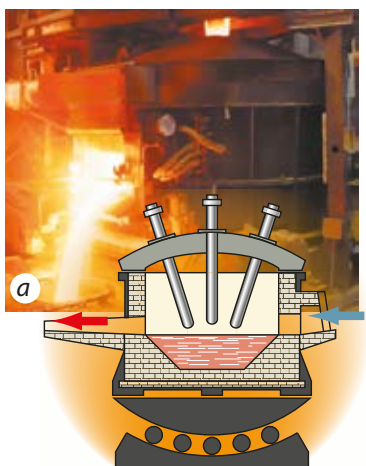


Рис. 5.8. Застосування дугового газового розряду для плавлення (а) та зварювання (б) металів

Тепер, навіть якщо електроди розвести, через газовий проміжок між ними проходитиме струм, оскільки в газі між електродами буде достатня кількість вільних заряджених частинок (вільні електрони, що «випарувалися» з катода, а також вільні електрони та йони, що з'явилися внаслідок йонізації газу через високу температуру). Надалі висока температура катода й анода підтримується бомбардуванням електродів позитивними і негативними йонами та електронами, прискореними електричним полем.

Висока температура йонізованого газу у випадку дугового розряду, а також випромінювання світла, яке супроводжує такий розряд, забезпечили широке застосування електричної дуги в науці, техніці, промисловості. Електрична дуга «працює» як потужне джерело світла в прожекторах. У металургії застосовують електропечі, в яких використовують дуговий розряд; жаром електричної дуги зварюють метали тощо (рис. 5.8).

6. Який вид газового розряду «працює» в рекламних вивісках?

За *низького тиску* (близько 0,01 мм рт. ст.) можна спостерігати світіння розрідженого газу — **тліючий** (або **жеврійний**) **газовий розряд**. Нагадаємо: за низького тиску відстань між частинками є настільки великою, що навіть у слабкому електричному полі електрони встигають за час між зіткненнями з атомами й молекулами газу набуті енергії, достатньої для ударної йонізації. Тліючий розряд використовують у лампах денного світла (люмінесцентних трубках); квантових джерелах світла (газових лазерах); кольорових газорозрядних трубках (колір світіння визначається природою газу, а отже, може бути різним).



ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Іскровий газовий розряд



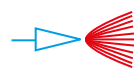
Виникає за атмосферного тиску та великої напруги між електродами. Має вигляд яскравих



зигзагоподібних смуг, що розгалужуються, триває лише кілька десятків мікросекунд.

Коронний газовий розряд

Виникає за тиску порядку в атмосферного в сильному, різко неоднорідному електричному полі. Являє собою слабе фіолетове світіння у вигляді корони (пучків, китиць).



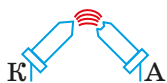
Види самостійних газових розрядів

Дуговий газовий розряд

Виникає за високої температури (понад 4000 °C) і майже за будь-якого тиску.



Являє собою яскраве дугоподібне полум'я.



Тліючий газовий розряд

Виникає за невеликої напруги між електродами та низького тиску. Являє собою майже однорідний стовп газу, що світиться.



КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Назвіть основні види самостійних газових розрядів.
2. Наведіть приклади іскрового газового розряду. За яких умов він виникає?
3. Назвіть основні правила безпеки, яких необхідно дотримуватися під час грози.
4. Що являє собою коронний розряд?
5. Які особливості дугового розряду забезпечили його широке застосування?
6. За яких умов виникає тліючий розряд? Де його використовують?



ВПРАВА № 5

1. Який вид самостійного газового розряду зображено на фото?

Яке природне явище має такий вигляд?

2. Самостійний газовий розряд якого виду допомагає запобігти удару блискавки? Як це відбувається?

3. Який вид самостійного газового розряду описував давньоримський філософ і поет *Луцій Анней Сенека* (4 р. до н. е. — 65 р.), говорячи, що перед грозою «зорі ніби сходять із неба та сідають на щогли кораблів»?

4. Чому однією з умов виникнення тліючого газового розряду є низький тиск?

5. Чому під час дугового газового розряду вугільні електроди із часом зменшуються в розмірах, при цьому анод зменшується швидше?

6. Дізнайтеся, як було доведено, що блискавка має електричну природу; які вчені першими дослідили природу блискавки.

7. Скориставшись додатковими джерелами інформації, наведіть кілька прикладів шкідливої дії блискавки. Які правила поведінки під час грози ви додали б до поданого в параграфі переліку?



Ключові терміни

Іскровий газовий розряд • Коронний газовий розряд • Дуговий газовий розряд • Тліючий газовий розряд • Блискавковідвід

ФІЗИКА І ТЕХНІКА В УКРАЇНІ



Євген Оскарович Патон (1870–1953) — видатний український учений та інженер, засновник *Інституту зварювання*, який став центром розвитку зварювальних технологій у СРСР і світі та зараз носить його ім'я.

Є. О. Патон — автор і керівник проєктів понад 100 зварних мостів. Перший у світі суцільнозварний міст через Дніпро в Києві став символом інженерної думки та довговічності конструкцій. Зварювальні технології Патона стали стандартом у багатьох країнах, особливо в галузях важкої промисловості.

Роботи вченого сприяли розвитку матеріалознавства й інженерії конструкцій, що забезпечило новий рівень міцності та надійності металевих споруд. Розробка технології автоматичного зварювання під флюсом стала видатним внеском у машинобудування та металургію.

Є. О. Патон вважається одним із провідних інженерів XX ст., а заснований ним інститут і сьогодні є світовим лідером у галузі зварювання.



rnk.com.ua/
114214



§ 6. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ У ВАКУУМІ

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Згадайте, що таке електричний струм. А що ви уявляєте, коли застосовуєте слово «вакуум»? Як ви вважаєте, чи може у вакуумі існувати електричний струм? Якщо ні, то чи можна щось зробити, щоб така можливість з'явилася?

1. Звідки у вакуумі носії заряду?

У перекладі з латини слово «вакуум» означає порожнечу, тобто простір, вільний від речовини. У техніці та фізиці *під вакуумом розуміють стан газу за тиску, який набагато менший від атмосферного.*

Щоб у вакуумі існував струм, у вакуум слід помістити джерело вільних заряджених частинок, наприклад електронів. Найбільша концентрація вільних електронів — у металах. Але зазвичай вільні електрони не можуть залишити метал, адже утримуються силами кулонівського притягання з боку позитивних йонів. Для подолання цих сил електронам необхідно передати енергію, наприклад нагріти метал. Унаслідок нагрівання металу кінетична енергія електронів збільшується настільки, що вони починають вилітати з поверхні металу, тобто стають вільними.

Процес випромінювання електронів нагрітими тілами називають **термоелектронною емісією**.

Завдяки термоелектронній емісії біля поверхні металу утворюється хмара вільних електронів — **електронна хмара**, що має негативний заряд, відповідно поверхня металу набуває позитивного заряду (рис. 6.1). При цьому що вища температура металу, то більша густина електронної хмари.

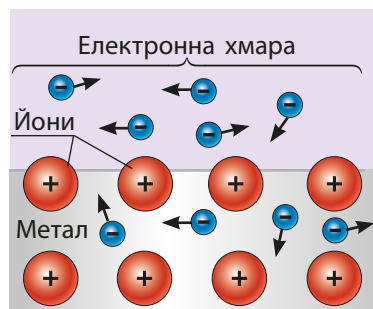


Рис. 6.1. Електрони, що покинули метал, утримуються біля його поверхні електричним полем, створеним електронною хмарою та некомпенсованими позитивними йонами металу

Проведіть аналогію між термоелектронною емісією та випаровуванням рідини. Що спільне? У чому відмінність?



2. Що являє собою електричний струм у вакуумі?

Ви вже знаєте, що для існування електричного струму необхідне виконання двох умов: *наявність вільних заряджених частинок і наявність електричного поля*. Для створення таких умов у скляний балон поміщають два електроди (*катод і анод*) і відкачують із балона повітря.

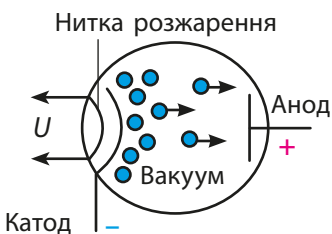


Рис. 6.2. Термоелектрони (електрони, що вилетіли з металу в ході термоелектронної емісії), рухаючись від катода до анода, створюють електричний струм

Катод нагрівають, використовуючи *нитку розжарення* — тонкий дріт із тугоплавкого металу, під'єднаний до джерела струму. У результаті з поверхні катода вилітають електрони. Катод приєднують до негативного полюса джерела струму, а анод — до позитивного.

Електрони, що вилетіли з катода, потрапляють в електричне поле між катодом і анодом і починають рухатися напрямлено, створюючи електричний струм ([рис. 6.2](#)).

Електричний струм у вакуумі являє собою напрямлений рух вільних електронів, отриманих у результаті електронної емісії.

3. Чому вакуумний діод має односторонню провідність?

Зараз ми вже не уявляємо життя без різноманітних електронних пристроїв. Комп'ютери, телефони, мікрохвильові печі, холодильники тощо полегшують наш побут, допомагають навчатися та працювати. А чи знаєте ви, що все починалося з винайдення *вакуумного діода*?

Вакуумний діод — це електронно-вакуумний пристрій, що складається зі скляного балона, з якого відкачане повітря, і розташованих у балоні двох електродів (анода та підігрівного катода) ([рис. 6.3](#)).

Головна особливість вакуумного діода полягає в тому, що він має *односторонню провідність*. Що це означає? Якщо ввімкнути діод у коло так, що катод буде з'єднаний з негативним полюсом джерела струму, а анод — з позитивним (*пряме ввімкнення*), то в колі існуватиме електричний струм (див. [рис. 6.2](#)). Якщо ж катод буде з'єднаний з позитивним полюсом, а анод — з негативним (*зворотне ввімкнення*), то електрони, що вилітають із катода, будуть відкидатися полем назад, на катод, і струму в колі не буде ([рис. 6.4](#)).

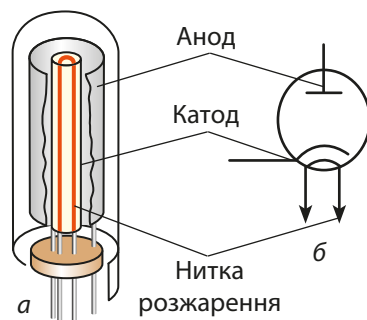
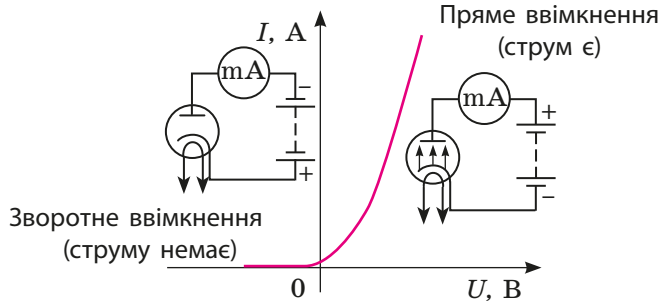


Рис. 6.3. Вакуумний діод: а — будова; б — позначення на електричних схемах

Рис. 6.4. Вольт-амперна характеристика вакуумного діода. *Пряме ввімкнення діода:* зі збільшенням напруги між електродами сила струму швидко зростає. *Зворотне ввімкнення діода:* сила струму дорівнює нулю

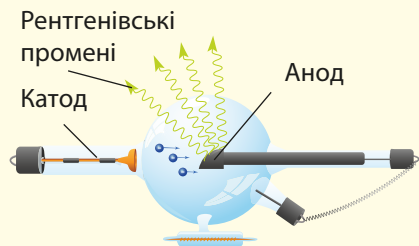


ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...



Напевно, усім вам відомо про діагностування за допомогою рентгенівських променів. А чи знаєте ви, що основною частиною рентгенівського апарата (див. фото на заставці до § 6) є рентгенівська трубка, принцип дії якої ґрунтується саме на створенні електричного струму у вакуумі?

Гарячий катод випромінює електрони, які розганяються потужним електричним полем до величезної швидкості. Під час гальмування цих електронів випромінюються промені, за допомогою яких можна отримати зображення кісток і внутрішніх органів людини або тварини.

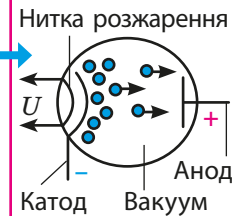


ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ



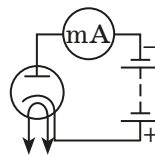
Електричний струм у вакуумі являє собою напрямлений рух вільних електронів, отриманих у результаті електронної емісії.

Термоелектронна емісія — процес випромінювання електронів нагрітими тілами.

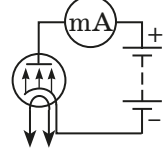


Вакуумний діод — це електронно-вакуумний пристрій, що складається зі скляного балона, з якого відкачано повітря, і розташованих у балоні двох електродів (анода та підігрівного катода).

Струму немає



Струм є



- ✓ працює завдяки термоелектронній емісії;
- ✓ має односторонню провідність.



КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

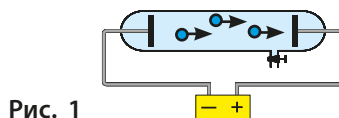
1. Що являє собою електричний струм у вакуумі? 2. У чому полягає явище термоелектронної емісії? 3. За якої умови електрон може залишити поверхню провідника? 4. Чому за відсутності електричного поля електрони, що вилетіли з металу, залишаються біля поверхні, утворюючи електронну хмару? 5. Чому вакуумний діод має однобічну провідність?



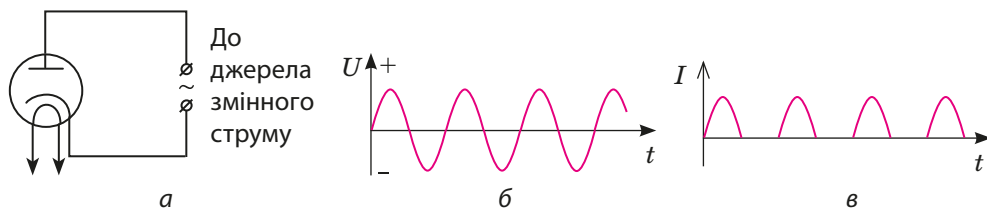
ВПРАВА № 6

1. Чому для того, щоб розігнати електрони до величезних швидкостей, необхідно створити глибокий вакуум?

2. На рис. 1 зображений електровакуумний пристрій. Який електрод у цьому пристрої слугує катодом, який — анодом? Чому, якщо підігрівати анод, а не катод, то електричний струм у пристрої не виникне?



3. Свого часу однобічну провідність вакуумного діода використовували в радіоелектроніці для перетворення змінного струму на пульсуючий (рис. 2, а). Якщо подавати на діод змінну напругу (графік її залежності від часу подано на рис. 2, б), то графік залежності сили струму від часу матиме вигляд, зображений на рис. 2, в. Поясніть, чому.



4. Термоелектронна, фотоелектронна, автоелектронна, вторинна електронна, йонно-електронна — все це різні види електронної емісії. Дізнайтесь, що в них спільного та чим вони відрізняються.

5. Сьогодні замість вакуумних діодів здебільшого використовують напівпровідникові. Але вакуумні діоди все ще застосовують у деяких спеціалізованих галузях техніки. Дізнайтесь, у яких.

Ключові терміни

Термоелектронна емісія • Вакуум • Електричний струм у вакуумі
• Вакуумний діод



rnk.com.ua/
114215

§ 7. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ У НАПІВПРОВІДНИКАХ. ВЛАСНА ПРОВІДНІСТЬ НАПІВПРОВІДНИКІВ

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Ви вже знаєте, що за провідністю всі речовини поділяють на *провідники*, *напівпровідники* і *діелектрики*. Згадайте, чому провідники добре проводять електричний струм, а діелектрики — погано. Чому, на вашу думку, напівпровідники отримали таку назву?

1. Якими є особливості провідності напівпровідників?

Напівпровідники за своєю провідністю посідають проміжне місце між провідниками й діелектриками (рис. 7.1). Це означає, що концентрація вільних заряджених частинок у напівпровідниках є набагато меншою, ніж у провідників, і набагато більшою, ніж у діелектриках. Наприклад, дуже поширений у техніці напівпровідник германій за кімнатної температури має приблизно 10^{20} вільних заряджених частинок у 1 м^3 речовини. Здавалося б, велика кількість? Але це в 10 млрд разів менше, ніж у металах.

У ході вивчення залежності провідності напівпровідників від зовнішніх чинників виявилось таке.

По-перше, питомий опір металів майже не залежить від освітленості, тоді як *питомий опір більшості напівпровідників* зі збільшенням освітленості зменшується.

По-друге, з підвищенням температури питомий опір металів збільшується, а *питомий опір напівпровідників*, навпаки, зменшується (рис. 7.2).

Провідники
 $\rho \sim 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$

Напівпровідники
 $\rho \sim 10^{-4} - 10^7 \text{ Ом} \cdot \text{м}$

Діелектрики
 $\rho \sim 10^{12} - 10^{20} \text{ Ом} \cdot \text{м}$

Рис. 7.1. Порядок питомого опору матеріалів. Стрілками показано напрямок збільшення концентрації вільних заряджених частинок

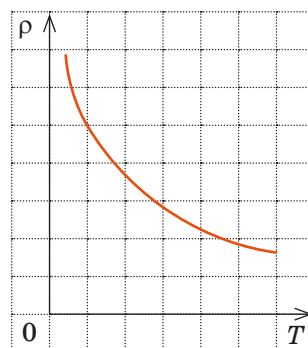


Рис. 7.2. Графік залежності питомого опору ρ напівпровідників від абсолютної температури T

По-третє, за наявності домішок метали гірше проводять струм, а введення певних домішок у напівпровідники може різко зменшити опір останніх.

Існують й інші відмінності, але про них ви дізнаєтеся пізніше.

Чому, на вашу думку, напівпровідники називають матеріалами з від'ємним температурним коефіцієнтом опору, на відміну від металів, температурний коефіцієнт опору яких завжди є додатним?



ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...



Більшість сучасної техніки — від побутових пристроїв і комп'ютерів до сонячних панелей, роботів і безпілотних автомобілів — неможливо уявити без напівпровідникових матеріалів. Безумовний лідер серед них — кремній. Але він не є зручним для виготовлення більш потужних

і гнучких пристроїв, тому виникає потреба шукати нові напівпровідникові матеріали. Одним із найперспективніших є *графен* (ми згадували про нього, коли вивчали наноматеріали). Дехто вважає графен тим універсальним напівпровідниковим матеріалом, який згодом перевершить кремній.



2. Які особливості внутрішньої будови напівпровідників?

Розглянемо будову напівпровідників на прикладі кремнію. Як ви вже знаєте з курсу хімії, у Періодичній системі хімічних елементів кремній (силіцій) розташований у IV групі. Кремній має чотири валентні електрони, які «відповідають» за зв'язок між сусідніми атомами.

У твердому стані для кремнію характерна кристалічна ґратка, в якій кожний атом має чотирьох найближчих «сусідів». Атом кремнію ніби «позичає» атомам-сусідам по одному валентному електрону. Сусідні атоми так само «позичають» йому свої валентні електрони «для спільного користування». Отже, між кожними двома атомами кремнію завжди є електронна пара, що на цей момент спільна для обох атомів. Такий зв'язок, як вам відомо з курсу хімії, називають *ковалентним* (рис. 7.3).

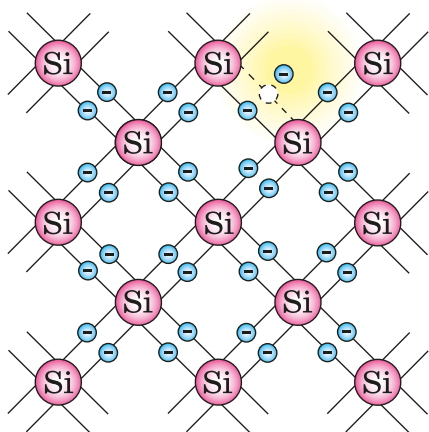


Рис. 7.3. Схематичне зображення ковалентного зв'язку в кремнії

3. Який механізм власної провідності напівпровідників?

У напівпровідниковому кристалі серед валентних електронів обов'язково є електрони, кінетична енергія яких настільки велика, що вони можуть «залишити» зв'язок і стати вільними. Один такий електрон показаний на жовтому полі рис. 7.3. Якщо напівпровідниковий кристал помістити в електричне поле, то вільні електрони почнуть рухатися до позитивного полюса джерела струму і в напівпровіднику виникне електричний струм.

Провідність напівпровідників, зумовлену наявністю в них вільних електронів, називають **електронною провідністю**.

Після того як електрон «залишив» валентний зв'язок, його місце виявиться «порожнім» — таке місце фізики називають **діркою** (див. рис. 7.3). Зрозуміло, що дірці приписують позитивний заряд. На вакантне місце (у дірку) може «перестрибнути» електрон від сусіднього зв'язку. Тоді дірка з'явиться біля сусіднього атома. Послідовність таких «стрибків» виглядає так, ніби дірка (позитивний заряд) переміщується в кристалі (рис. 7.4).

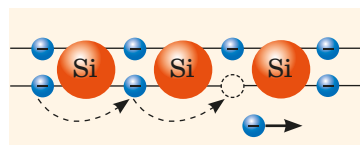


Рис. 7.4. Механізм діркової провідності. Червоні кружечки — йони кристалічної ґратки; сині — електрони; білий — вакантне місце (дірка)

Провідність напівпровідників, зумовлену наявністю дірок (вакантних місць), називають **дірковою провідністю**.

У чистому напівпровіднику електричний струм створює однакова кількість вільних електронів і дірок. Таку провідність називають **власною провідністю напівпровідників**.

Електричний струм у напівпровідниках являє собою напрямлений рух вільних електронів і дірок.

А ЯК НАСПРАВДІ?



«Якщо я все зрозуміла, — зазначила Юля, — у напівпровідниках є два види вільних носіїв заряду: позитивні частинки (дірки), які під дією поля рухаються в одному напрямку, і вільні електрони, які рухаються в протилежному напрямку».

«Насправді в напівпровідниках рухаються тільки електрони (вільні й зв'язані), і всі в одному напрямку, — не погодився Тарас. — А дірка — це не частинка, а вільне місце в кристалі, і вона *ніби* рухається. Так само, як до мене ніби наближався стілець, коли я запізнився на виставу й мої друзі по черзі пересідали з одного стільця на інший». А як насправді?

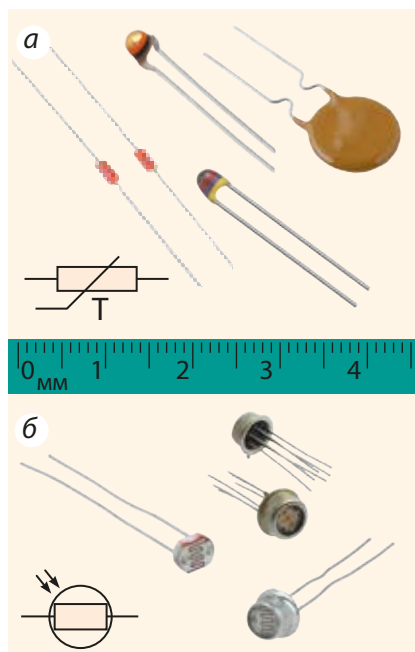


Рис. 7.5. Зовнішній вигляд і схематичне позначення: термісторів — напівпровідникових терморезисторів (а); фоторезисторів (б)

4. На чому базується робота термісторів і фоторезисторів?

Якщо напівпровідник нагріти або опромінити світлом, кількість вільних електронів і дірок збільшиться, відповідно збільшиться й провідність напівпровідника.

На залежності провідності напівпровідників від температури ґрунтується дія **термісторів** (рис. 7.5, а), які застосовують для контролю та вимірювання температури, а також у колах захисту електричних пристроїв від перегріву.

На залежності провідності напівпровідників від освітленості ґрунтується дія **фоторезисторів** (рис. 7.5, б), які застосовують для вимірювання освітленості, у системах сигналізації та автоматики, для сортування виробів тощо. За допомогою фоторезисторів запобігають нещасним випадкам та аваріям, автоматично зупиняючи роботу обладнання в разі порушення процесу.

ДОСЛІДЖЕННЯ

Що знадобиться: мультиметр; фоторезистор; ковпачок від ручки або аркуш чорного паперу.

Перемкніть тумблер мультиметра на вимірювання опору (Ω), установіть його навпроти позначки 10^3 Ом.

Розмістіть фоторезистор на добре освітленій частині стола та виміряйте опір, торкнувшись виводів фоторезистора щупами мультиметра.

Тепер затулійте фоторезистор рукою або помістіть його в тінь і знову виміряйте опір. Потім занурте фоторезистор у ковпачок ручки або покладіть у конверт, зроблений з аркуша чорного паперу, і ще раз виміряйте опір фоторезистора. Зробіть висновок щодо залежності опору фоторезистора від освітленості.



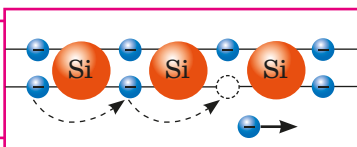
Ключові терміни

Ковалентний зв'язок • Електронна провідність • Діркова провідність
• Власна провідність напівпровідників • Термістор • Фоторезистор



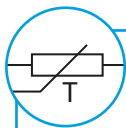
ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Електричний струм у напівпровідниках являє собою напрямлений рух вільних електронів і дірок.

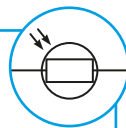


Власна провідність напівпровідників — провідність, зумовлена наявністю однакової кількості вільних електронів (*електронна провідність*) і дірок (*діркова провідність*).

- ✓ Власна провідність напівпровідників суттєво *залежить від температури та освітленості*: зі збільшенням температури або освітленості питомий опір напівпровідників зменшується.



Термістор — це напівпровідниковий пристрій, дія якого ґрунтується на залежності опору напівпровідників від температури.



Фоторезистор — це напівпровідниковий пристрій, дія якого ґрунтується на залежності опору напівпровідників від освітленості.



КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Чим напівпровідники відрізняються від металів? 2. Як у чистих напівпровідниках з'являються вільні електрони? 3. Поясніть механізм діркової провідності. 4. Чим зумовлена власна провідність напівпровідників? 5. На якій властивості напівпровідників ґрунтується дія термісторів? Де їх застосовують? 6. На якій властивості напівпровідників ґрунтується дія фоторезисторів? Де їх застосовують?



ВПРАВА № 7

1. Виберіть речовини, які мають електронно-діркову провідність:
а) алюміній; б) германій; в) залізо; г) мідь; д) кремній.

2. Установіть відповідність між середовищем (1–3) і графіком залежності питомого опору середовища від температури (А–Г).

1 Метали

2 Розчини електролітів

3 Напівпровідники

ρ

А



ρ

Б



ρ

В



ρ

Г



3. Чому внаслідок зменшення освітленості опір фоторезистора збільшується, адже до цього він був освітлений і в ньому з'явилося багато вільних електронів і дірок?

4. Дізнайтеся, як застосовують фоторезистори в космічній галузі.



rnk.com.ua/
114216

§ 8. ДОМІШКОВА ПРОВІДНІСТЬ НАПІВПРОВІДНИКІВ. ЕЛЕКТРОННО-ДІРКОВИЙ ПЕРЕХІД

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Напевно, ви знаєте, як виглядає звичайна лампа розжарення. Приблизно такий розмір мають вакуумні лампи — діоди і тріоди. А тепер уявіть, що у вашому смартфоні, мікросхема процесора якого містить кілька мільйонів мікротранзисторів, замість транзисторів використали тріоди... Який розмір мав би ваш смартфон?

1. Як на провідність напівпровідників впливають домішки?

У § 7 ми розглянули електричний струм у чистих напівпровідниках. У таких напівпровідниках кількість вільних електронів і дірок є однаковою. Проте якщо в чистий напівпровідник додати невелику кількість домішки, то картина може дещо змінитися.

Виявляється, що залежно від домішки в напівпровіднику може бути або більше дірок, або більше вільних електронів. До того ж, оскільки кожний атом домішки може додати в напівпровідник один вільний електрон або дірку, провідність напівпровідника з такою домішкою буде набагато кращою, ніж провідність чистого напівпровідника.

Розглянемо вплив домішок на провідність кремнію. Нагадаємо, що кремній — чотиривалентний елемент.

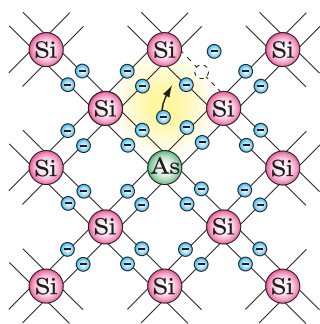


Рис. 8.1. Схема будови кремнію з введеними атомами арсену. П'ятий валентний електрон арсену не бере участь у ковалентному зв'язку та стає вільним

2. Які домішки називають донорними?

Додамо в кристал кремнію домішку п'ятивалентного елемента, наприклад арсену. Частина атомів кремнію буде замінена атомами арсену. Чотири валентні електрони атома арсену утворюють парні електронні зв'язки із сусідніми атомами кремнію; п'ятому валентному електрону зв'язку не вистачить, тому він легко може стати вільним (рис. 8.1). У результаті майже кожний атом домішки дасть вільний електрон.

Домішки, атоми яких відносно легко віддають електрони, називають **донорними домішками** (від латин. *donare* — дарувати, жертвувати).

Бачимо, що донорні домішки додають до кристала тільки електрони, а додаткові дірки не утворюються, тому *в напівпровідниках із донорними домішками концентрація вільних електронів є значно вищою, ніж концентрація дірок*.

Напівпровідники з переважно електронною провідністю називають **напівпровідниками *n*-типу** (від латин. *negativus* — негативний).

Які вільні носії заряду та чому будуть переважати в індії (індій — тривалентний елемент), якщо в нього додати невелику кількість кремнію?



3. Які домішки називають акцепторними?

Додамо в кристал кремнію домішку тривалентного елемента, наприклад індію. Атом індію має три валентні електрони, тому він може «встановити зв'язки» тільки з трьома атомами кремнію. Щоб утримати структуру кристалічної ґратки, відсутній електрон (четвертий) індій «запозичує» в атомів кремнію. У результаті кожний атом індію спричиняє утворення дірки (рис. 8.2).

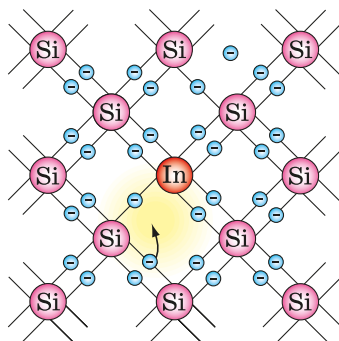


Рис. 8.2. Схема будови кристала кремнію із введеними атомами індію. Кожний атом індію створює одну дірку

Домішки, атоми яких «запозичують» електрони, називають **акцепторними домішками** (від латин. *acceptor* — той, що приймає).

Бачимо, що акцепторні домішки додають до напівпровідникового кристала тільки дірки, а додаткові вільні електрони не утворюються. *У напівпровідниках з акцепторними домішками основні вільні носії заряду — дірки*.

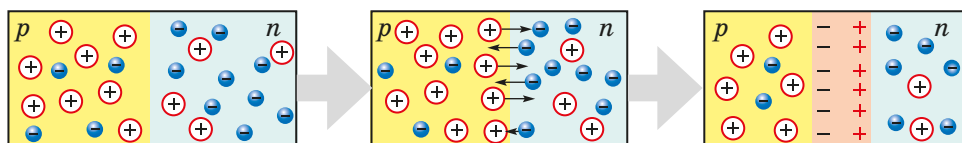
Напівпровідники з переважно дірковою провідністю називають **напівпровідниками *p*-типу** (від латин. *positivus* — позитивний).

4. Як утворюється електронно-дірковий перехід?

Широке застосування напівпровідників на 99 % зумовлене властивостями *електронно-діркового переходу*.

Електронно-дірковий перехід (*p-n*-перехід) — це ділянка контакту двох напівпровідників із різними типами провідності — дірковою (напівпровідник *p*-типу) та електронною (напівпровідник *n*-типу).

Формування *p-n*-переходу



Відбувається контакт напівпровідника *p*-типу (де багато дірок — позначені червоними кружечками) і напівпровідника *n*-типу (де багато вільних електронів — позначені синіми кульками).

Починається дифузія вільних електронів і дірок через місце контакту. Вільні електрони потрапляють у напівпровідник *p*-типу, де частково захоплюються дірками. Дірки переміщуються в протилежному напрямку.

Прилегла до місця контакту *n*-ділянка набуває позитивного заряду; прилегла до місця контакту *p*-ділянка набуває негативного заряду. Навколо місця контакту формується подвійний запірний шар (*p-n*-перехід).

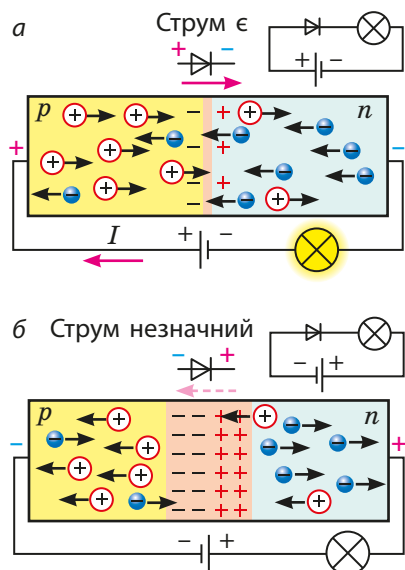


Рис. 8.3. Приєднання напівпровідникового діода до електричного кола:
а — пряме ввімкнення;
б — зворотне ввімкнення

Саме в електронно-дірковому переході відбувається ряд цікавих явищ. Але найважливішим є той факт, що *p-n*-перехід має *однобічну провідність*: через нього електричний струм добре проходить в одному напрямку й практично не проходить у протилежному. Цю властивість використовують для виготовлення *напівпровідникових діодів* і *транзисторів*, без яких неможливий жоден сучасний електронний пристрій.

Напівпровідниковий діод — напівпровідниковий пристрій, у внутрішній будові якого сформований один *p-n*-перехід.

Якщо під'єднати діод так, щоб *p*-ділянка була з'єднана з позитивним полюсом джерела струму, а *n*-ділянка — з негативним (*пряме ввімкнення*), то діод буде пропускати електричний струм (рис. 8.3, а). Якщо ж під'єднати діод так, щоб *p*-ділянка

Чому, на вашу думку, ділянка з p - n -переходом має однобічну провідність? Перевірте свою гіпотезу, скориставшись QR-кодом або посиланням на початку § 8.

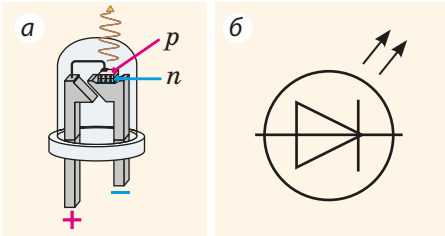


Рис. 8.4. Світлодіод: а — будова; б — позначення на електричних схемах

була з'єднана з негативним полюсом джерела, а n -ділянка — з позитивним (*зворотнє ввімкнення*), то сила зворотного струму буде незрівнянно менша від прямого (рис. 8.3, б).

За певного складу напівпровідників ділянка контакту може випромінювати світло. Це явище покладено в основу роботи *світлодіодів* (рис. 8.4).

Світлодіод — напівпровідниковий пристрій з електронно-дірковим переходом, який створює оптичне випромінювання під час пропускання електричного струму в прямому напрямку.

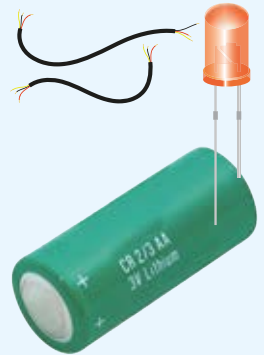
ДОСЛІДЖЕННЯ

Що знадобиться: світлодіод; батарейка (2–4 В); з'єднувальні проводи.

Уважно розгляньте світлодіод. Подивіться, який його вивід приєднаний до p -ділянки (зазвичай це довгий вивід), а який — до n -ділянки.

За допомогою з'єднувальних проводів приєднайте світлодіод до батарейки так, щоб позитивний полюс батарейки був приєднаний до p -ділянки світлодіода, а негативний полюс — до n -ділянки.

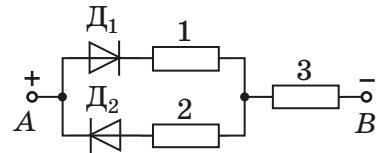
Потім змініть полярність приєднання. Поясните спостережувані явища.



5. Учимся розв'язувати задачі

■ **Задача.** Визначте силу струму в ділянці кола (див. рисуюнок), якщо напруга на ділянці становить 3,6 В, опір резистора 1 дорівнює 4 Ом, резистора 2 — 7 Ом, резистора 3 — 5 Ом. Якою стане сила струму, якщо змінити полярність під'єднання джерела струму? Діоди вважайте ідеальними. ■

Аналіз фізичної проблеми. Для розв'язання задачі скористаємося законом Ома для ділянки кола та законами послідовного з'єднання провідників. Урахуємо, що *діоди ідеальні*, отже, за прямого ввімкнення їхній опір дорівнює нулю, за зворотного ввімкнення їхній опір є нескінченно великим, тобто струм через діод не йде.



Дано:

$$U = 3,6 \text{ В}$$

$$R_1 = 4 \text{ Ом}$$

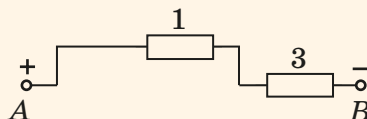
$$R_2 = 7 \text{ Ом}$$

$$R_3 = 5 \text{ Ом}$$

Знайти: $I = ?$ **Пошук математичної моделі, розв'язання****Частина 1.** $A \leftarrow +$, $B \leftarrow -$.

Струм іде лише ділянкою, яка містить діод D_1 ; діодом D_2 , а отже, і резистором 2 струм не йде; опір діода D_1 дорівнює нулю, тому він не впливає на струм.

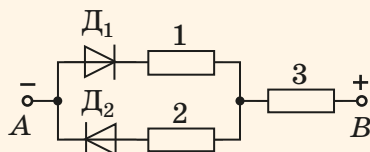
Накреслимо еквівалентну схему:



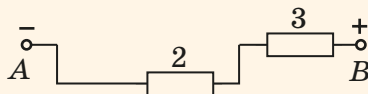
Бачимо, що резистори 1 і 3 з'єднані послідовно, тому загальний опір кола становить:

$$R = R_1 + R_3 = 4 \text{ Ом} + 5 \text{ Ом} = 9 \text{ Ом}.$$

За законом Ома для ділянки кола маємо: $I = \frac{U}{R} = \frac{3,6 \text{ В}}{9 \text{ Ом}} = 0,4 \text{ А}.$

Частина 2. $A \leftarrow -$, $B \leftarrow +$.

Тепер струм іде лише ділянкою, яка містить діод D_2 ; діодом D_1 , а отже, і резистором 1 струм не йде; діод D_2 не впливає на струм.



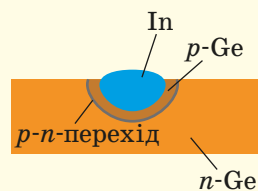
Резистори 2 і 3 з'єднані послідовно, тому:

$$R = R_2 + R_3 = 7 \text{ Ом} + 5 \text{ Ом} = 12 \text{ Ом}. \quad I = \frac{U}{R} = \frac{3,6 \text{ В}}{12 \text{ Ом}} = 0,3 \text{ А}.$$

Відповідь: $I = 0,4 \text{ А}$; якщо змінити полярність, то $I = 0,3 \text{ А}.$ **ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...**

Щоб отримати p - n -перехід, недостатньо, щоб два провідники з різними видами провідності «торкнулись» один одного, адже в цьому випадку відстань між провідниками буде занадто високою й дифузії вільних носіїв заряду не буде. Але фізики винайшли різні методи.

Один із них — *сплавний метод*. На пластинку монокристала з донорною домішкою, наприклад на германій (n -Ge), кладуть шматочок індію і нагрівають до 500°C . Сплавляючись, германій та індій утворюють тонкий шар напівпровідника p -типу (p -Ge). Часто на одному кристалі створюють декілька p - n -переходів.

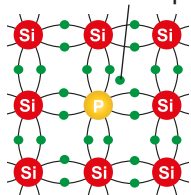




ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Види домішкової провідності напівпровідників

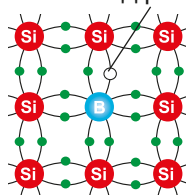
Вільний електрон



Донорні домішки — домішки, атоми яких відносно легко віддають електрони.

- ✓ Напівпровідники з донорними домішками — це напівпровідники *n*-типу (в них більша концентрація вільних електронів).

Дірка



Акцепторні домішки — домішки, атоми яких «запозичують» електрони.

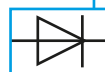
- ✓ Напівпровідники з акцепторними домішками — це напівпровідники *p*-типу (в них більша концентрація дірок).

Електронно-дірковий перехід (*p-n*-перехід) — це ділянка контакту двох напівпровідників із різними типами провідності — дірковою (напівпровідник *p*-типу) та електронною (напівпровідник *n*-типу).

- ✓ Має **однобічну провідність**



Напівпровідниковий діод — напівпровідниковий пристрій, у внутрішній будові якого сформований один *p-n*-перехід.



КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Як і чому зміниться опір чистого напівпровідника, якщо додати домішку? 2. Яку домішку називають донорною? 3. Яку домішку потрібно ввести, щоб отримати напівпровідник *p*-типу? 4. Які властивості має ділянка контакту двох напівпровідників із різними типами провідності? Як називають цю ділянку? 5. Що таке напівпровідниковий діод? Наведіть його позначення на електричній схемі.



ВПРАВА № 8

1. Які з наведених тверджень є істинними?

А Напівпровідник з акцепторною домішкою є напівпровідником *p*-типу.

Б У напівпровідниках *n*-типу основними вільними носіями заряду є дірки.

В Опір *p-n*-переходу залежить від напрямку струму.

2. На рис. 1 наведено схему прямого ввімкнення напівпровідника з *p-n*-переходом у коло. Якою є полярність під'єднання джерела струму до клем *A* і *B*?

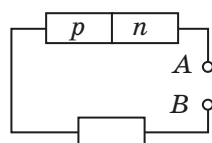


Рис. 1

3. Визначте загальну силу струму в ділянці кола (рис. 2), якщо напруга між точками A і B дорівнює 16 В. Діоди вважайте ідеальними. Якою буде сила струму, якщо змінити полярність під'єднання джерела струму?

4. Електричне коло (рис. 3) складається з п'яти однакових резисторів опором 2 Ом, двох ідеальних діодів і джерела струму. Визначте загальний опір кола до і після зміни полярності під'єднання джерела струму.

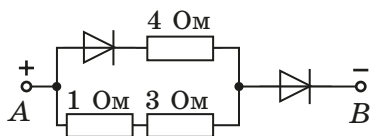


Рис. 2

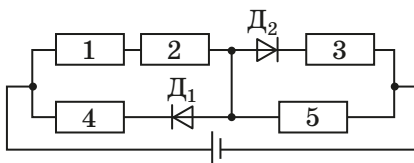


Рис. 3

5. У червні 2015 р. сонячна енергія вперше випередила інші джерела енергії в Євросоюзі. Вона забезпечила 22,1 % споживання, випередивши атомну енергетику. Дізнайтеся, який стосунок має сонячна енергетика до напівпровідників.

Ключові терміни

Донорна домішка • Акцепторна домішка • Напівпровідник n -типу
 • Напівпровідник p -типу • p - n -перехід • Напівпровідниковий діод
 • Світлодіод

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3



Тема. Дослідження електричного опору кола з напівпровідниковим діодом.

rnk.com.ua/112774

Мета: дослідити особливості роботи напівпровідникового діода в колі постійного струму, переконатися на досліді, що діод переважно пропускає струм тільки в одному напрямку.

Обладнання: напівпровідниковий діод малої потужності на підставці; джерело постійного струму (4–6 В); вольтметр; амперметр (або міліамперметр); повзунковий реостат (0–15 Ом) із трьома виводами; ключ; з'єднувальні проводи.

ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ

Підготовка до експерименту

1. Уважно розгляньте електричне коло для дослідження залежності сили *прямого струму*, який проходить через діод, від поданої на діод

напруги (рис. 1) та електричну схему цього кола (рис. 2).

2. Перенесіть електричну схему (див. рис. 2) у зошит, поряд із кожним елементом поставте відповідну цифру (див. рис. 1).

Експеримент

Дотримуйтесь інструкції з безпеки.

1. Складіть електричне коло за схемою на рис. 2.
2. Переміщуючи повзунок реостата, поступово збільшуйте напругу на діоді (щоразу приблизно на 0,1 В), почавши з мінімально можливого значення. Щоразу знімайте покази приладів і заносьте їх до таблиці.

Зверніть увагу: щоб діод не вийшов з ладу, сила прямого струму повинна не перевищувати 0,3 А.

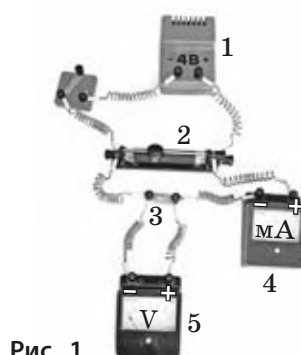


Рис. 1

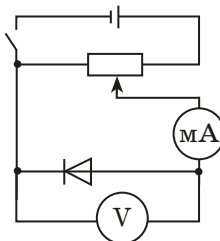


Рис. 2

Напруга U , В						
Сила прямого струму $I_{пр}$, мА						

3. Змініть полярність під'єднання джерела живлення, а відповідно, і амперметра та переконайтеся, що в цьому випадку стрілка амперметра майже не відхиляється.

Опрацювання результатів експерименту

За результатами експерименту побудуйте графік залежності сили струму, що проходить через діод, від поданої на діод напруги для прямого ввімкнення діода.

Аналіз експерименту та його результатів

Проаналізувавши експеримент і його результати, зробіть висновок, у якому зазначте: 1) роботу якого пристрою ви досліджували; 2) чи однаково цей пристрій проводить електричний струм в обох напрямках.

Творче завдання

Запропонуйте простий пристрій, за допомогою якого можна визначати напрямок електричного струму в колі (можна запропонувати декілька варіантів).



Ви довідалися, що майже в кожному середовищі може існувати електричний струм, але вільні носії заряду й умови їх появи є різними в різних середовищах.

1. Ви згадали про електричний струм у металах і дізналися, чому метали завжди проводять електричний струм і є найкращими провідниками.

Електричний струм у металах — напрямлений рух вільних електронів

Вільні носії заряду

Вільні електрони, які в металах наявні завжди

Залежність електричного опору від температури

Зі збільшенням температури опір збільшується: $R = R_0(1 + \alpha t)$, де α — температурний коефіцієнт електричного опору

На залежності електричного опору металів від температури ґрунтується дія **термометрів опору**

За температури, близької до 0 К, певні метали переходять у **надпровідний стан**

2. Ви дізналися: якщо електроліти розчинити або розплавити, то вони починають проводити електричний струм.

Електричний струм у розчинах і розплавах електролітів — напрямлений рух позитивних і негативних йонів

Вільні носії заряду

Вільні позитивні й негативні йони, які в розчинах з'являються завдяки електролітичній дисоціації

Залежність електричного опору від температури

Зі збільшенням температури опір зменшується

Електроліз — це процес виділення речовин на електродах, пов'язаний з окисно-відновними реакціями, які відбуваються на електродах під час проходження струму.

Перший закон Фарадея для електролізу

$m = kq$, або $m = kIt$, де k — електрохімічний еквівалент

Застосування електролізу

Рафінування — очищення

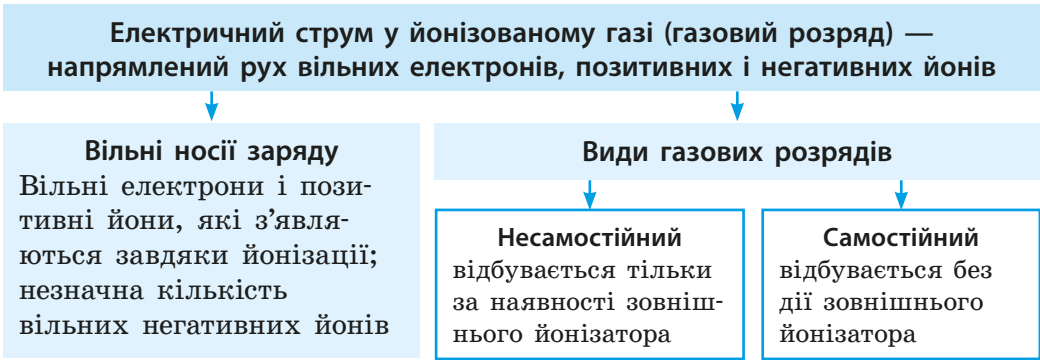
Виробництво металів

Виробництво водню

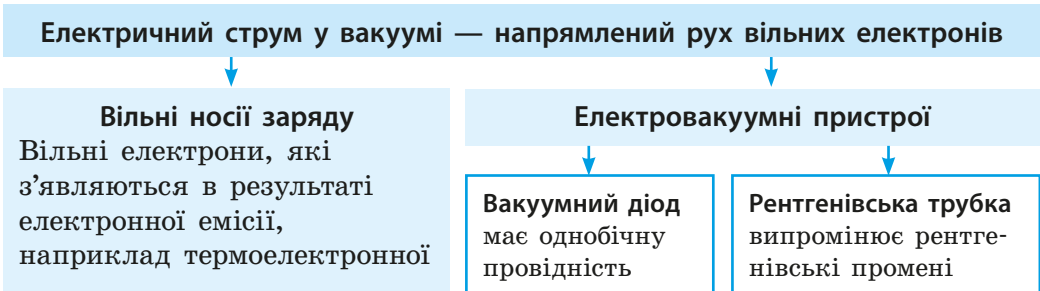
Гальваностегія — покриття виробів

Гальванопластика — отримання копій виробів

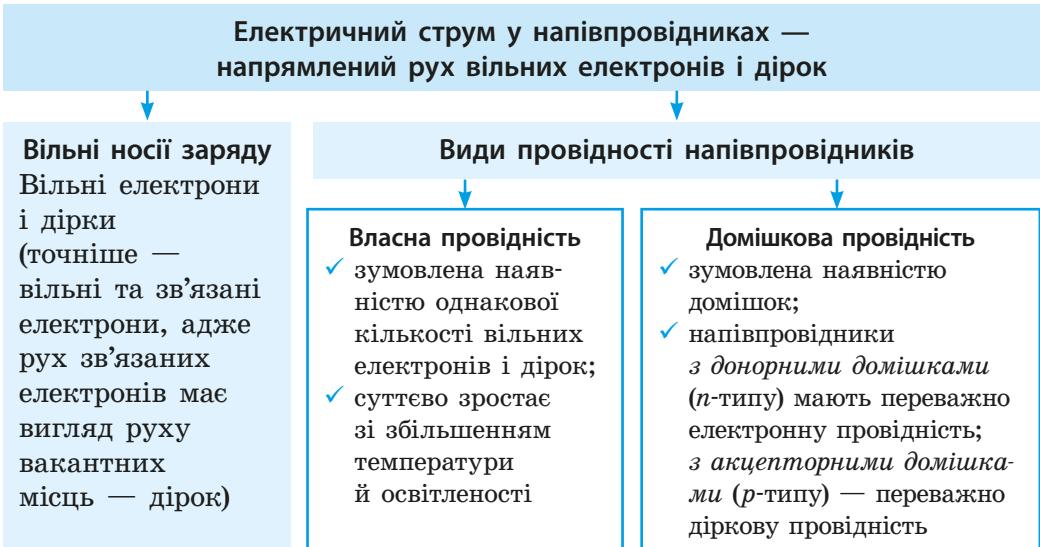
3. Ви з'ясували, що за певних умов газу можуть стати провідниками.



4. Ви довідалися, що електричний струм може існувати навіть у вакуумі.



5. Ви виявили, що в електроніці широко застосовують напівпровідники.



Ділянка контакту двох напівпровідників із різними типами провідності — дірковою (напівпровідник *p*-типу) та електронною (напівпровідник *n*-типу) — це **електронно-дірковий перехід (*p-n*-перехід)**. Він має *односторонню провідність*.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМООЦІНЮВАННЯ ДО РОЗДІЛУ 1



rnk.com.ua/
114217

Група результатів 1.

Проводимо дослідження природи

1. (1 бал) Фото якого газового розряду подано на рис. 1?

А Коронного В Дугового
Б Іскрового Г Тліючого



Рис. 1

2. (2 бали) Щоб перевірити маркування напівпровідникового діода, учениця склала електричне коло (рис. 2). Після замикання кола міліамперметр показав наявність струму. Яку провідність має ділянка діода, позначена смужкою?

А Тільки власну В Переважно
Б Переважно електронну діркову

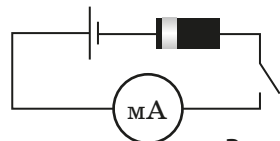


Рис. 2

3. (3 бали) Для дослідження залежності опору мідного дроту від температури зібрали установку (рис. 3).

- 1) Які прилади та пристрої позначено на рисунку цифрами?
- 2) Як зміняться результати дослідження, якщо замість мідного дроту використати чистий напівпровідник?

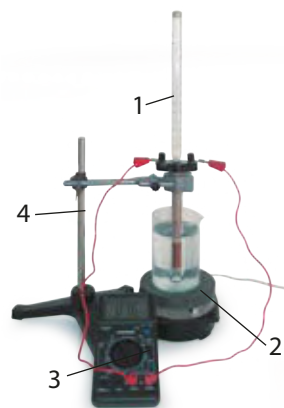


Рис. 3

4. (6 балів) На рис. 4 наведено схему електричного кола, до складу якого входять дві електролітичні ванни з розчинами електролітів.

- 1) Які частинки є вільними носіями заряду в розчинах електролітів?
- 2) Які електроди слугують катодами, а які — анодами?
- 3) Як за відсутності амперметра з'ясувати, що крізь розчин електроліту йде електричний струм?
- 4) Якою є маса речовини, що виділилася на катоді ванни 1, якщо електроліз тривав 1 год? Що це за речовина?

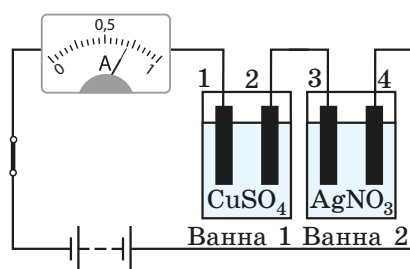
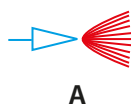


Рис. 4

Група результатів 2. Здійснюємо пошук та опрацьовуємо інформацію

5. (2 бали) Установіть відповідність між видом газового розряду (1–4) та його схематичним зображенням (А–Г).

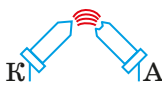
1 Коронний 2 Іскровий 3 Тліючий 4 Дуговий



А



Б



В



Г

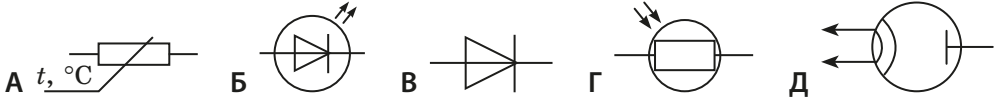
6. (2 бали) Установіть відповідність між електричним пристроєм (1–4) та його умовним позначенням на електричних схемах (А–Д).

1 Вакуумний діод

3 Фоторезистор

2 Напівпровідниковий діод

4 Термометр опору



7. (2 бали) За відповідною таблицею установіть електрохімічний еквівалент міді, яким ви скористаєтеся, визначаючи масу міді, що виділиться на катоді внаслідок електролізу купрум(І) ціаніду (CuCN).
8. (3 бали) На якому електроді (див. рис. 4) під час електролізу виділиться більше металу? Який це метал?
9. (3 бали) За графіком залежності опору металевого провідника від температури (рис. 5) визначте температурний коефіцієнт опору металу, з якого виготовлений провідник.

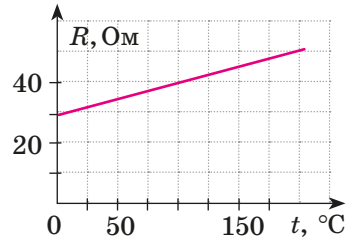


Рис. 5

Група результатів 3. Усвідомлюємо закономірності природи

10. (2 бали) Установіть відповідність між видом самостійного газового розряду (1–4) і назвою пристрою (А–Д).

1 Дуговий розряд

А Блискавковідвід

2 Іскровий розряд

Б Запальна свічка

3 Коронний розряд

В Газорозрядна лампа

4 Тліючий розряд

Г Лампа розжарення

Д Зварювальний апарат

11. (2 бали) Під час сріблення виробу протягом 1 год на катоді виділилося 2 г срібла. Якою була сила струму в процесі сріблення?

12. (4 бали) Сила струму у вольфрамовій нитці лампи розжарення в момент увімкнення лампи у 12,5 раза перевищує силу робочого струму.

1) Як змінюється опір нитки розжарення під час нагрівання?

2) Обчисліть температуру нитки розжарення лампи в робочому стані, якщо в момент увімкнення її температура становить 20°C .

13. (4 бали) Сила струму в ділянці кола, що містить діод D_1 (рис. 6), — 0,5 А. Якою буде загальна сила струму в колі, якщо змінити полярність під'єднання джерела струму? Напруга на ділянці не змінюється, опори резисторів однакові, діоди ідеальні.

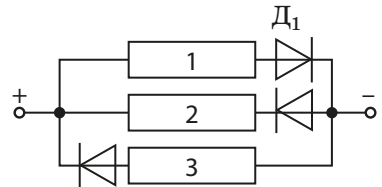


Рис. 6

Зверте ваші відповіді з наведеними в кінці підручника й оцініть свої результати навчання за кожною групою. Поміркуйте, що вдалося найкраще, над чим треба ще попрацювати. Продовжуйте відкривати для себе світ фізики!

ТЕМИ ПОВІДОМЛЕНЬ

1. Історія дослідження природи електричного струму в металах.
2. Надпровідність: історія відкриття та перспективи застосування.
3. Ефект Мейснера.
4. Історія електролізу.
5. Від коштовних прикрас до кухонного посуду. Історія виробництва алюмінію.
6. Внесок українських учених у розвиток електрозварювання.
7. Електрозварювання в космосі.
8. Найцікавіші блискавки.
9. Гіпотези про природу кульової блискавки.
10. Як було винайдено блискавковідвід.
11. Як працює лампа денного світла.
12. Історія винайдення електричної лампи.
13. Від величезних електронно-обчислювальних машин до сучасних комп'ютерів.
14. Як працювали перші телевізори.
15. Чому світлодіоди мають різний колір.

ТЕМИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Дослідження залежності опору металів, розчинів електролітів, напівпровідників від температури.
2. Вплив різних чинників на електроліз (температура, концентрація, напруга, тип електродів).
3. Створення та дослідження діодного мосту.
4. Створення різноманітних джерел живлення.
5. Виготовлення світильника, який сам вмикається й вимикається в разі зміни освітлення.
6. Дослідження електричних кіл із напівпровідниковими діодами.

ТЕМИ НАВЧАЛЬНИХ ПРОЄКТІВ

1. Застосування електролізу в практичній діяльності людини.
2. Коронний газовий розряд і його застосування.
3. Дослідження специфічних властивостей *p-n*-переходу.
4. Дослідження електропровідності рідин.

Під час роботи над навчальними проєктами радимо ознайомитися з деякими порадами щодо їх створення і презентації («Етапи роботи над навчальним проєктом») в інтерактивному електронному додатку.



mnk.com.ua/
114218



РОЗДІЛ 2

**ФІЗИЧНА
БАЗА:
ЩО ВЖЕ
ЗНАЄМО**



rnk.com.ua/
114619

Підготуйтеся
до опанування
нової теми



МАГНІТНІ ТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ЯВИЩА

Ви знаєте, що не
заблукаєте в лісі,
якщо маєте компас,
а тепер дізнаєтеся,
чи допоможе компас
зорієнтуватися на
льодових просторах
Арктики й Антарктики

Ви спостерігали, як магніт
притягує залізні скріпки,
а тепер зможете поясни-
ти, чому він не притягує
мідні монетки

Ви постійно користу-
єтесь електрикою,
а тепер дізнаєтеся,
як працює генератор
електричної енергії

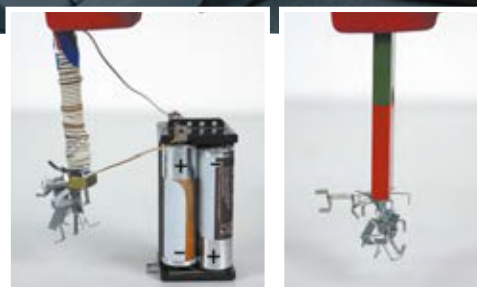




rnk.com.ua/
114219

§ 9. МАГНІТНІ ЯВИЩА. ДОСЛІД ЕРСТЕДА. МАГНІТНЕ ПОЛЕ

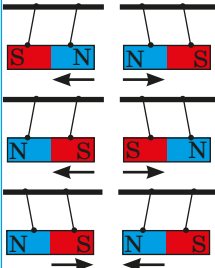
ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Розгляньте рисунок і назвіть спільну властивість об'єктів, що на ньому зображені; зазначте умову, коли ця властивість виявляється. Що, на вашу думку, вирізняє простір навколо цих об'єктів?



1. Скільки полюсів має магніт?

Тіла, які тривалий час зберігають магнітні властивості, називають **постійними магнітами**.

Основні властивості постійних магнітів

1. Магнітна дія магніту є різною на різних ділянках його поверхні; ділянки, де магнітна дія виявляється найсильніше, називають <i>полюсами магніту</i>.	2. Магніт має два полюси — <i>північний N</i> і <i>південний S</i>. Неможливо одержати магніт тільки з одним полюсом.	3. Однойменні полюси магнітів відштовхуються, різнойменні — притягуються.	4. У разі нагрівання постійного магніту до певної температури, яку називають <i>точкою Кюрі</i>, його магнітні властивості зникають.								
Залізні ошурки  Полюси магніту	 Штабовий магніт  Підковоподібний магніт		<table><tr><th>Метал</th><th>Точка Кюрі, °C</th></tr><tr><td>Залізо</td><td>770</td></tr><tr><td>Кобальт</td><td>1127</td></tr><tr><td>Нікель</td><td>354</td></tr></table>	Метал	Точка Кюрі, °C	Залізо	770	Кобальт	1127	Нікель	354
Метал	Точка Кюрі, °C										
Залізо	770										
Кобальт	1127										
Нікель	354										

Першу спробу наукового підходу до вивчення магнетизму здійснив у XIII ст. французький учений *П'єр Пелерен де Марікур* (точні дати життя невідомі) у своєму трактаті «Послання про магніт». Більш системно властивості постійних магнітів дослідив *Вільям Гільберт* (1544–1603) — англійський дослідник і лікар, один із засновників науки про електрику.

А ЯК НАСПРАВДІ?



На порталі новин з'явилося повідомлення про винайдення магніту тільки з одним полюсом — північним. Цей магніт, за словами автора повідомлення, діє за будь-яких температур і може притягувати предмети як з металу, так і з пластику. Які факти з наведеного повідомлення ви оцінюєте як достовірні?

ДОСЛІДЖЕННЯ

Що знадобиться: постійний магніт (наприклад, паличка магнітного конструктора або сувенірний магніт на холодильник); магнітна стрілка (компас); цвяшки або скріпки.

Дослідіть, використовуючи цвяшки або скріпки, силу притягання різних ділянок поверхні магніту. Спробуйте виявити місце розташування полюсів і за допомогою магнітної стрілки визначити, який із полюсів магніту є північним (N), а який — південним (S). Наведіть аргументи на підтвердження ваших висновків.

2. Що спільного між постійним магнітом і котушкою зі струмом?

Ще вчені Давньої Греції висловлювали припущення, що магнітні й електричні явища пов'язані, проте встановити цей зв'язок науковці змогли лише на початку XIX ст.

15 лютого 1820 р. данський професор *Ганс Крістіан Ерстед* (1777–1851) демонстрував студентам дослід із нагріванням провідника електричним струмом. Він помітив, що під час проходження струму магнітна стрілка, розташована під провідником, відхиляється від напрямку «північ — південь» і встановлюється перпендикулярно до провідника (рис. 9.1).

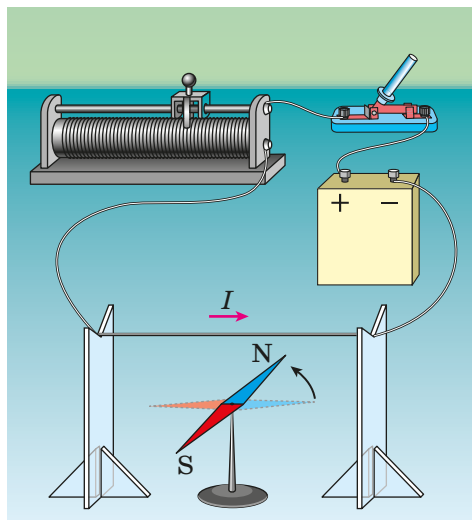


Рис. 9.1. Схема дослідів Ерстеда (тут і далі наявність символу I означає, що в провіднику тече струм; стрілка поряд показує напрямок струму)

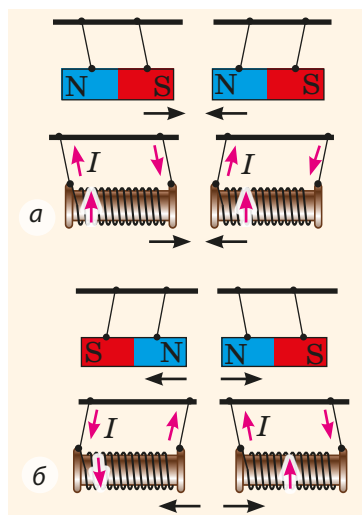


Рис. 9.2. Катушки зі струмом поведуться як постійні магніти. Залежно від напрямку струму катушки притягуються (а) або відштовхуються (б)

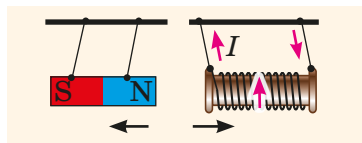


Рис. 9.3. Взаємодія постійного магніту й катушки зі струмом

Щойно струм припинявся, стрілка поверталася в початковий стан. Так було з'ясовано, що *електричний струм чинить магнітну дію*.

Незабаром також було встановлено, що котушки*, у яких проходить електричний струм, поведуться як постійні магніти (рис. 9.2).

3. Яке поле називають магнітним?

Під час вивчення електричних явищ у 8 класі ви дізналися, що навколо зарядженого тіла існує *електричне поле* й що саме через це поле здійснюється *електрична взаємодія між зарядженими тілами та частинками*.

Навколо намагніченого тіла й навколо провідника зі струмом також існує поле — його називають *магнітним*. *Магнітна взаємодія здійснюється через магнітне поле* (першим такого висновку дійшов англійський фізик *Майкл Фарадей*).

Розглянемо, наприклад, взаємодію постійного магніту й катушки зі струмом (рис. 9.3). Катушка зі струмом створює магнітне поле. Магнітне поле діє на постійний магніт (намагнічене тіло) з певною силою — магніт відхиляється. Магніт теж створює магнітне поле, яке діє на катушку зі струмом, — катушка теж відхиляється.

Зазначимо, що магнітне поле також існує навколо будь-якої *рухомої зарядженої частинки* та навколо будь-якого *рухомого зарядженого тіла*. Ми не можемо побачити магнітне поле, проте воно (як і електричне поле) є абсолютно реальним — це *вид матерії*.

Магнітне поле — це вид матерії, яка існує навколо намагнічених тіл, провідників зі струмом, рухомих заряджених тіл і частинок та діє на інші намагнічені тіла, провідники зі струмом, рухомі заряджені тіла й частинки.

* *Катушка* — порожниста циліндрична основа з намотаним на неї ізольованим дротом.

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...



Магнітні явища мають широке практичне застосування. Котушки зі струмом, які діють як електромагніти, і постійні магніти є основною частиною електродвигунів, що приводять у рух багато побутових пристроїв (пилососи, міксери, пральні машини, фени тощо).

У медицині магнітне поле надійно «працює» в апаратах МРТ (магнітно-резонансної томографії), за допомогою яких створюють детальні зображення внутрішніх органів без шкідливого випромінювання (див. заставку до § 9).

Порівняйте електричне і магнітне поля та заповніть таблицю.

Параметр	Електричне поле	Магнітне поле
Джерела поля		
Об'єкти, на які діє		
Приклади прояву		

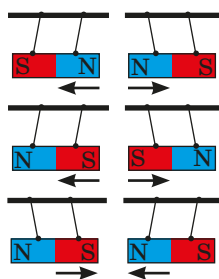


ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Постійні магніти — тіла, які тривалий час зберігають магнітні властивості.

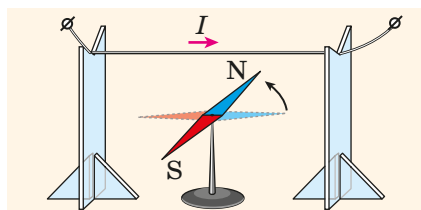
Властивості постійних магнітів:

- ✓ магнітна дія найсильніша на полюсах (північний N, південний S);
- ✓ однойменні полюси → відштовхуються, різнойменні → притягуються;
- ✓ неможливо створити магніт з одним полюсом;
- ✓ при нагріванні до точки Кюрі → магнітні властивості зникають.



Магнітна взаємодія передається через магнітне поле.

Дослід Ерстеда (1820 р.):
провідник зі струмом
діє на магнітну стрілку



Магнітне поле — це вид матерії, що існує навколо:

- ✓ намагнічених тіл,
- ✓ провідників зі струмом,
- ✓ рухомих заряджених тіл і частинок —

і діє на інші намагнічені тіла, провідники зі струмом, рухомі заряджені тіла й частинки.



Ми не бачимо магнітне поле, але воно реальне, як і електричне.



КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Назвіть основні властивості постійних магнітів. 2. Опишіть дослід Г. Ерстеда. У чому суть відкриття вченого? 3. Біля яких об'єктів існує магнітне поле? На які об'єкти воно діє? 4. Дайте означення магнітного поля.



ВПРАВА № 9

1. Магнітну стрілку розташували біля штабового магніту (рис. 1). Який полюс магніту є північним?

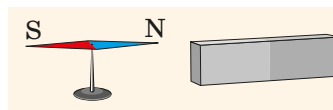


Рис. 1

2. Яке з тверджень є правильним?

а) Магніт може мати лише один полюс;
б) Магнітне поле існує навколо провідника зі струмом; в) Однойменні полюси магнітів притягуються.

3. Сталеву спицю намагнітили та розділили кусачками спочатку на 2, а потім на 4 частини (рис. 2). Яку властивість магнітів демонструє цей дослід?

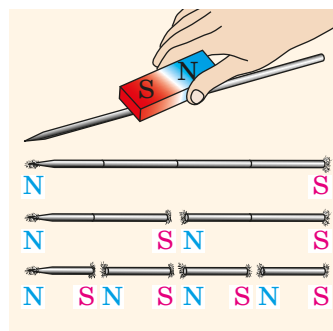


Рис. 2

4. Різнойменні полюси двох магнітів із нікелю розташовані навпроти один одного. Як будуть взаємодіяти ці магніти за кімнатної температури? Як зміниться сила їхньої взаємодії в разі нагрівання магнітів до 450 °С?

5. Чи існує магнітне поле навколо блискавки? Відповідь обґрунтуйте.

6. Уявіть, що вам необхідно зробити отвір у стіні так, щоб не пошкодити проводи електромережі й не отримати ураження струмом. Візуально визначити місце розташування проводів неможливо. Запропонуйте принцип роботи пристрою для розв'язання проблеми.

7. Дізнайтесь історію відкриття Г. Ерстеда. Які дослідження він провів? Які результати одержав?



ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

Візьміть кілька голок з нитками. Складіть нитки в один пучок і повільно піднесіть знизу до голок постійний магніт. Поясніть спостережуване явище (рис. 3).

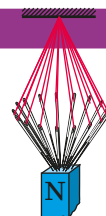


Рис. 3

Ключові терміни

Постійні магніти • Дослід Ерстеда • Магнітне поле



rnk.com.ua/
114220

§ 10. ІНДУКЦІЯ МАГНІТНОГО ПОЛЯ. ЛІНІЇ МАГНІТНОЇ ІНДУКЦІЇ. МАГНІТНЕ ПОЛЕ ЗЕМЛІ

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. На фото праворуч зображено результати дослідів із постійними магнітами та залізними ошурками. Об'єднайтесь у групи. Вибравши одне фото, обговоріть деталі, на які ви звернули увагу. Висловіть гіпотезу, яка може пояснити те, що ви спостерігаєте. Презентуйте класу ідеї своєї групи.

1. Яка фізична величина характеризує силову дію магнітного поля?

Магнітна індукція $\vec{B}$ (індукція магнітного поля) — це векторна фізична величина, яка характеризує силову дію магнітного поля.

Одиниця магнітної індукції в СІ — тесла; названа на честь сербського фізика Ніколи Тесли (1856–1943): $[B] = \text{Тл}^$.*

За напрямком магнітної індукції в даній точці магнітного поля обрано напрямком, у якому вказує північний полюс магнітної стрілки, встановленої в цій точці.

Нагадаємо, що магнітна стрілка — це маленький постійний магніт, який легко повертається в горизонтальній площині (рис. 10.1).

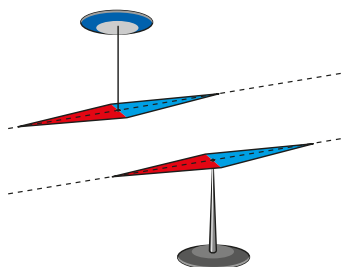
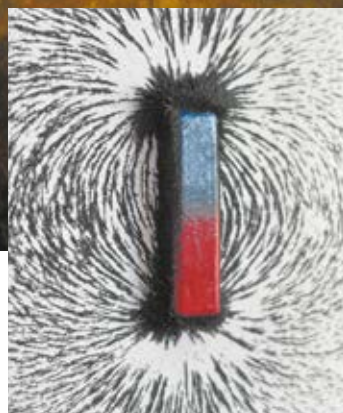


Рис. 10.1. Магнітна стрілка — це постійний магніт. Пунктирною лінією показано вісь магнітної стрілки

* Як подати 1 Тл через інші одиниці СІ, за якою формулою можна визначити модуль магнітної індукції, як напрямлена сила, з якою магнітне поле діє на провідник зі струмом, ви дізнаєтесь із матеріалу § 12.

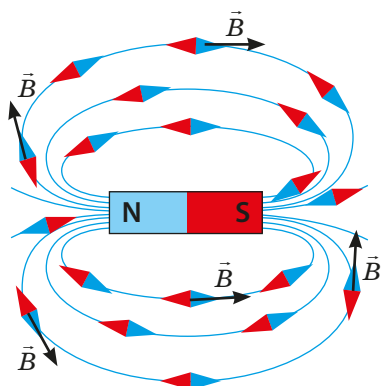


Рис. 10.2. У магнітному полі магнітні стрілки орієнтуються: північний полюс кожної стрілки вказує напрямок магнітної індукції магнітного поля в даній точці

Розглянувши графічне зображення магнітного поля штабового магніту, можемо зробити деякі висновки (див. на [рис. 10.3](#)). Ці висновки справджуються для магнітних ліній будь-якого магніту.

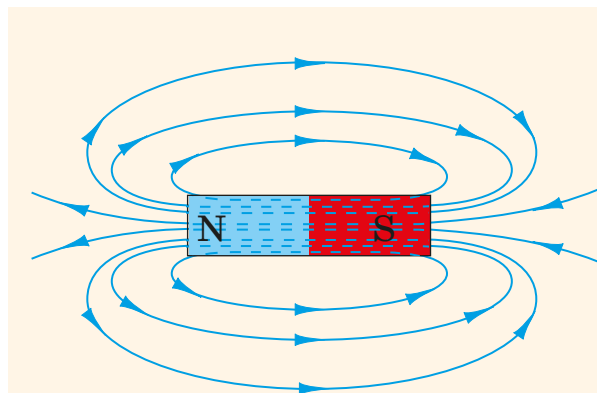


Рис. 10.3. Лінії магнітної індукції магнітного поля штабового магніту. Насправді лінії магнітної індукції всередині постійного магніту є викривленими, і зазвичай усередині магніту їх не показують

2. Як візуалізувати магнітне поле?

Якщо навколо штабового магніту помістити магнітні стрілки, то побачимо, що розташування стрілок набуде певної орієнтації ([рис. 10.2](#)). Їхні осі ніби утворять лінії.

Умовні напрямлені лінії, у кожній точці яких дотична збігається з лінією, уздовж якої напрямлена магнітна індукція, називають **лініями магнітної індукції** або **магнітними лініями**.

Саме за допомогою магнітних ліній графічно зображують магнітні поля:

1) *за напрямком лінії магнітної індукції в даній точці домовилися брати напрямок вектора магнітної індукції;*

2) *лінії магнітної індукції зображають щільніше в тих ділянках поля, де модуль магнітної індукції більший.*

МАГНІТНІ ЛІНІЇ:

- поза магнітом виходять із північного полюса магніту та входять у південний;
- завжди замкнені;
- найщільніше розташовані біля полюсів магніту;
- ніколи не перетинаються

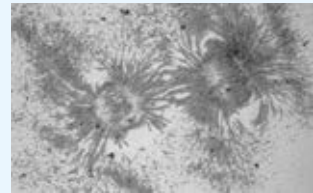
Який напрямок мають магнітні лінії всередині штабового магніту?



ДОСЛІДЖЕННЯ

Що знадобиться: постійні магніти (наприклад, сувенірний магніт на холодильник, магнітна паличка конструктора тощо); залізні ошурки; аркуш паперу (або прозора обкладинка для зошита); склянка для зберігання ошурків.

Відтворіть картину ліній магнітної індукції магнітного поля магніту. Для цього розташуйте магніт на столі, накрийте його аркушем і обережно насипте залізні ошурки на папір над магнітом і навколо нього*. У магнітному полі кожний шматочок заліза намагнітиться й перетвориться на маленьку «магнітну стрілку». Імпровізовані «стрілки» зорієнтуються вздовж магнітних ліній. Злегка постукайте по паперу пальцем або олівцем, щоб ошурки «осіли» та вишикувалися вздовж магнітних ліній. Спробуйте визначити, де лінії щільніші, а де — рідші. Намалюйте або сфотографуйте «візерунки», створені ошурками (картину магнітних ліній). Позначте полюси магніту.



Якщо у вас є декілька магнітів, проведіть дослідження спочатку з кожним із них, а потім покладіть два магніти поряд і спостерігайте, як змінюється картина магнітних ліній.

3. Яке поле називають однорідним?

Магнітне поле в певній частині простору називають **однорідним**, якщо в кожній його точці *магнітна індукція є однаковою і за модулем, і за напрямком* (рис. 10.4).

На ділянках, де магнітне поле є однорідним, лінії магнітної індукції паралельні та розташовані на однаковій відстані одна від одної (рис. 10.4, 10.5) — щільність магнітних ліній є однаковою. У фізиці прийнято магнітні лінії однорідного магнітного поля, які напрямлені до нас, зображати крапками (рис. 10.6, а) — ми ніби бачимо «вістря стріл», що летять до нас. Якщо магнітні лінії напрямлені від нас, то їх

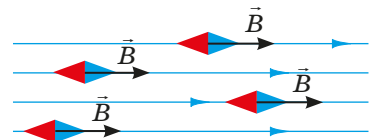


Рис. 10.4. Ділянка, на якій магнітне поле є однорідним

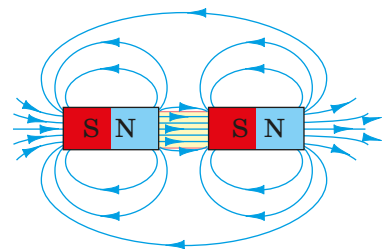


Рис. 10.5. Магнітне поле в просторі між двома різноіменними полюсами магнітів (виділено жовтим кольором) можна вважати однорідним

* Рівномірний шар ошурків простіше отримати, якщо насипати їх крізь ситечко.

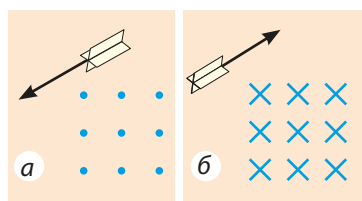


Рис. 10.6. Зображення ліній магнітної індукції однорідного магнітного поля, які перпендикулярні до площини рисунка та напрямлені до нас (а); напрямлені від нас (б)

зображають хрестиками (рис. 10.6, б) — ми ніби бачимо «пир'я стріл», що летять від нас.

Переважно ми маємо справу з *неоднорідним магнітним полем* — полем, у різних точках якого магнітна індукція має різні значення й напрямки. Магнітні лінії такого поля викривлені, а їх щільність є різною.

4. Чи можна вважати Землю магнітом?

З метою вивчення земного магнетизму *Вільям Гільберт* виготовив постійний магніт у вигляді кулі (модель Землі). Розташувавши на кулі компас, він помітив, що стрілка компаса поводить себе так само, як на поверхні Землі.

Експерименти дозволили вченому припустити, що *Земля — це величезний магніт, а на півночі нашої планети розташований її південний магнітний полюс*. Подальші дослідження підтвердили гіпотезу В. Гільберта.

На рис. 10.7 зображено картину ліній магнітної індукції магнітного поля Землі та зазначено розташування її географічних і магнітних полюсів.

Уявіть, що ви подорожуєте на Північний полюс, рухаючись точно в тому напрямку, на який вказує стрілка компаса. Чи досягнете ви місця призначення?



Рис. 10.7. Схема розташування ліній магнітної індукції магнітного поля планети Земля

Лінії магнітної індукції магнітного поля Землі не є паралельними її поверхні. Якщо закріпити магнітну стрілку в карданному підвісі, тобто так, щоб вона могла вільно обертатися як навколо горизонтальної, так і навколо вертикальної осей, стрілка встановиться під певним кутом до поверхні Землі (рис. 10.8).

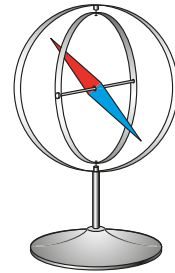


Рис. 10.8. Магнітна стрілка в карданному підвісі

Як буде розташована магнітна стрілка в пристрої на рис. 10.8 біля північного магнітного полюса Землі? біля південного магнітного полюса Землі?



Магнітне поле Землі здавна допомагало орієнтуватися мандрівникам, морякам, військовим і не лише їм.

А ЯК НАСПРАВДІ?



Під час дискусії щодо ролі магнітного поля Землі Микола стверджував, що риби, морські ссавці й птахи під час своїх міграцій орієнтуються за магнітним полем Землі. Так само орієнтуються, шукаючи шлях додому, і деякі тварини, наприклад коти. Олена заперечувала: живі істоти не мають магнітних стрілок усередині, тому наведена інформація не може бути правдивою. А як вважаєте ви?

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...



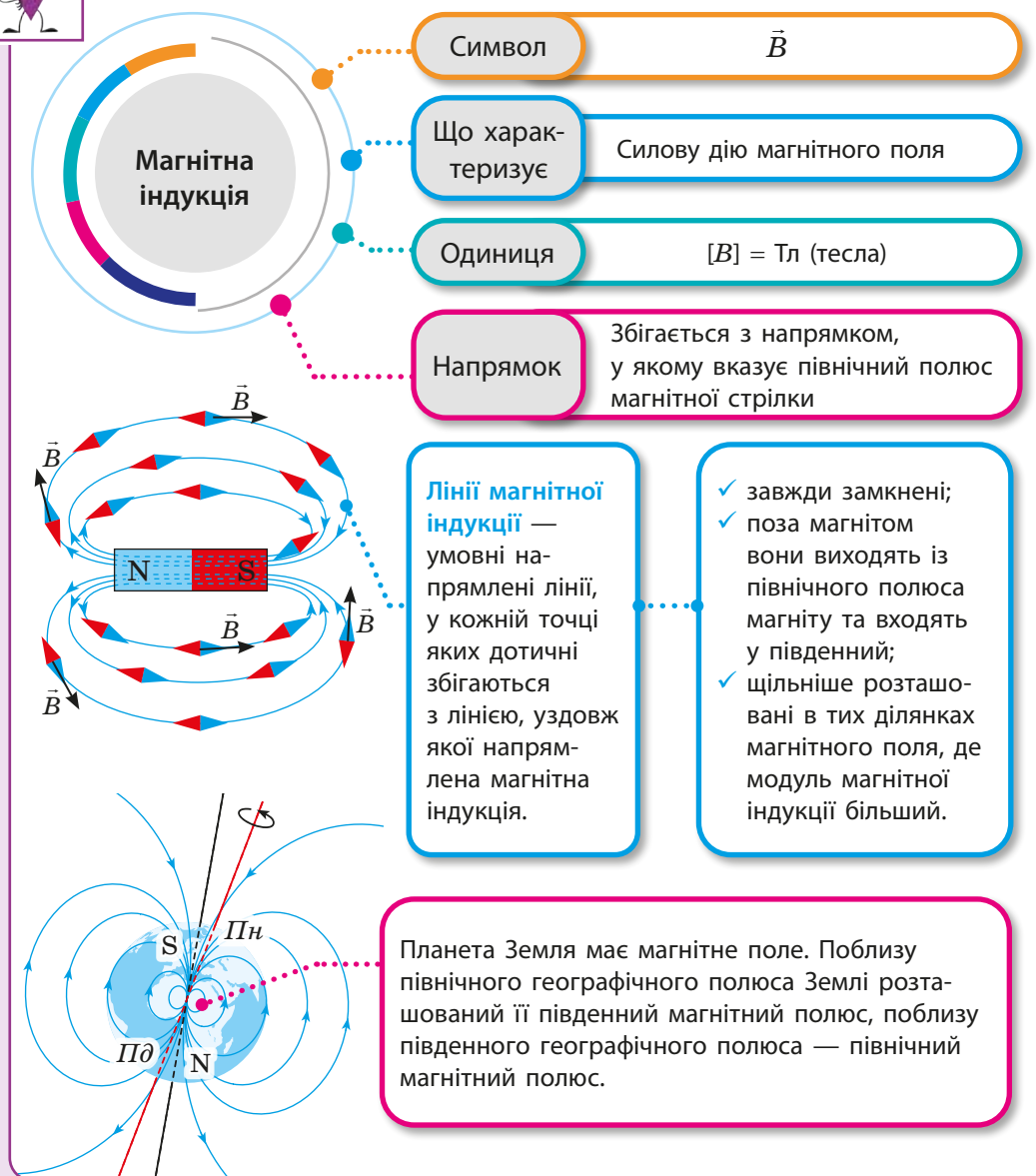
У будь-якій місцевості магнітне поле Землі періодично (щодооби) змінюється. Крім того, спостерігаються невеликі щорічні зміни магнітного поля Землі. Трапляються, однак, і різкі його зміни. Сильні збурення магнітного поля Землі, які тривають від одного до кількох днів, називають *магнітними бурями*. Здорові люди їх майже не відчують, а от у тих, хто має серцево-судинні захворювання та захворювання нервової системи, магнітні бурі викликають погіршення самопочуття.

Магнітне поле Землі є своєрідним «щитом», який захищає нашу планету від заряджених частинок, що летять із космосу, переважно від Сонця («сонячний вітер»). Поблизу магнітних полюсів потоки частинок підлітають досить близько до атмосфери Землі. Під час зростання сонячної активності космічні частинки потрапляють у верхні шари атмосфери та йонізують молекули газу — тоді на Землі спостерігаються полярні сяйва.





ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ



КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Дайте означення магнітної індукції. Яка її одиниця в СІ?
2. Як напрямлена магнітна індукція?
3. Наведіть означення ліній магнітної індукції. Що обрано за їх напрямок? Від чого залежить щільність їх розташування?
4. Яке магнітне поле є однорідним?
5. Доведіть, що Земля має магнітне поле.
6. Як розташовані магнітні полюси Землі відносно географічних?



ВПРАВА № 10

1. На рис. 1 зображено лінії магнітної індукції на певній ділянці магнітного поля. Для кожного випадку *a–в* визначте: 1) яке це поле — однорідне чи неоднорідне; 2) напрямок магнітної індукції в точках *A* і *B* поля; 3) у якій точці — *A* чи *B* — магнітна індукція поля є більшою.

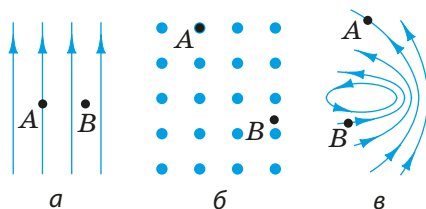


Рис. 1

2. Чому сталеві віконні ґрати можуть із часом намагнітитися?

3. На рис. 2 зображено лінії магнітної індукції магнітного поля, створеного двома однаковими постійними магнітами.

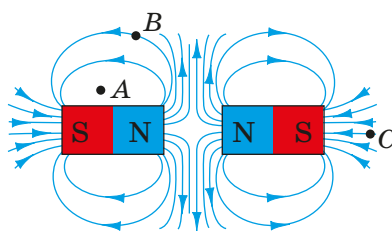


Рис. 2

1) Чи існує магнітне поле в точці *A*?
2) Який напрямок має магнітна індукція в точці *B*? у точці *C*?

3) У якій точці — *A*, *B* чи *C* — магнітна індукція поля є найбільшою?
4) Який напрямок має магнітна індукція всередині магнітів?

4. На рис. 3 зображено фото картини магнітних ліній магнітного поля, одержаної за допомогою залізних ошурків. Що було використано як джерело магнітного поля? Яку інформацію про це поле можна дізнатися з наведеного фото?

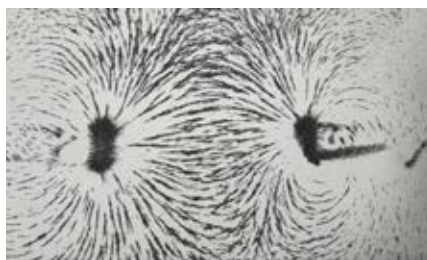


Рис. 3

5. Раніше під час експедицій на Північний полюс виникали труднощі щодо визначення напрямку руху, адже поблизу полюса звичайні компаси майже не працювали. Як ви вважаєте, чому?

6. Дізнайтесь, яке значення має магнітне поле для життя на нашій планеті. Що сталося б, якби магнітне поле Землі раптом зникло?

Ключові терміни

Магнітна стрілка • Індукція магнітного поля • Лінії магнітної індукції
• Однорідне поле



rnk.com.ua/
114221

§ 11. МАГНІТНЕ ПОЛЕ СТРУМУ. ПРАВИЛО СВЕРДЛИКА

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. У попередніх параграфах ми говорили, що навколо провідника зі струмом існує магнітне поле. Проте питання, як визначити напрямок ліній магнітної індукції цього поля й від чого залежить магнітна індукція, залишалося поза нашою увагою. Сформулюйте декілька ідей щодо цього питання та обґрунтуйте їх.

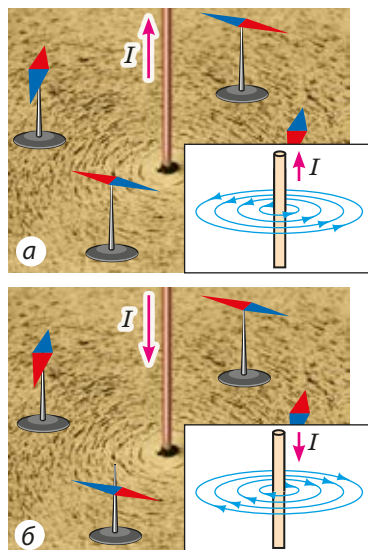


Рис. 11.1. Визначення напрямку ліній магнітної індукції (на рисунку лінії блакитного кольору) магнітного поля провідника зі струмом за допомогою магнітних стрілок

1. Що визначають за допомогою правила свердлика?

Дослідимо магнітне поле прямого провідника зі струмом. Для цього провідник пропустимо через аркуш картону, насиплемо на картон залізні ошурки та замкнемо коло. У магнітному полі провідника ошурки намагнітяться й відтворять картину ліній магнітної індукції магнітного поля прямого провідника зі струмом — концентричні кола, що охоплюють провідник.

Розташуємо поряд із провідником декілька магнітних стрілок і пустимо в провіднику струм — стрілки зорієнтуються в магнітному полі провідника (рис. 11.1, а). Північний полюс кожної стрілки вкаже напрямок магнітної індукції магнітного поля в даній точці, а отже, і напрямок магнітних ліній.

Зі зміною напрямку струму в провіднику зміниться й орієнтація магнітних стрілок (рис. 11.1, б): *напрямок магнітної індукції магнітного поля провідника зі струмом залежить від напрямку струму в провіднику.*

Для визначення напрямку ліній магнітної індукції магнітного поля провідника зі струмом використовують **правило свердлика**:

Якщо вкручувати свердлик за напрямком струму в провіднику, то напрямок обертання ручки свердлика вкаже напрямок ліній магнітної індукції магнітного поля провідника зі струмом (рис. 11.2, а);

або *правило правої руки*:

Якщо спрямувати великий палець правої руки за напрямком струму в провіднику, то чотири зігнуті пальці вкажуть напрямок ліній магнітної індукції магнітного поля провідника зі струмом (рис. 11.2, б).

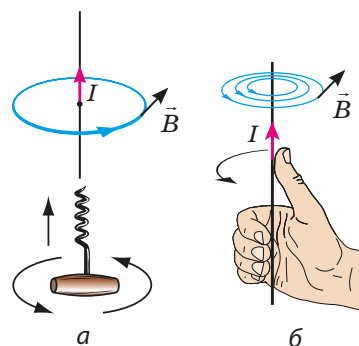


Рис. 11.2. Визначення напрямку ліній магнітної індукції за допомогою правил: свердлика (а); правої руки (б)

Переконайтесь у справдженні правила свердлика для випадків на рис. 11.1.



ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...



Звичайним механічним замком керує людина, переміщуючи зачіпку (технічна назва — ригель) у положення «замкнено» або «відімкнено» за допомогою обертання металевого ключа. У більшості електромагнітних замків ригель до корпусу дверей притискає сила, що діє з боку магнітного поля, яке створюється електричним струмом. Відкриття такого замка здійснюється мікропроцесорним контролером. Після процедури ідентифікації користувача (наприклад, введення коду чи прикладання пальця до біометричного зчитувача) контролер перевіряє, чи є користувач у базі даних і чи не внесений він до «чорного списку». Якщо ідентифікація успішна, система відключає живлення й замок автоматично відкривається.

Електромагнітні замки неможливо відкрити за допомогою відмички — для їх злому доведеться витратити набагато більше зусиль.

2. Від чого залежить магнітна індукція магнітного поля провідника зі струмом?

Магнітну дію провідника зі струмом виявив Г. Ерстед у 1820 р. А чому це відкриття не було зроблено раніше? Річ у тім, що зі збільшенням відстані r від провідника магнітна індукція створеного ним магнітного поля значно зменшується: якщо магнітна стрілка розташована не поблизу провідника зі струмом, магнітна дія струму є майже непомітною.

Розгляньте рис. 11.3. Чому зі збільшенням відстані від провідника щільність ліній магнітної індукції зменшується? Чи однаковими є модулі магнітної індукції $\vec{B}_1$, $\vec{B}_2$ і $\vec{B}_3$?

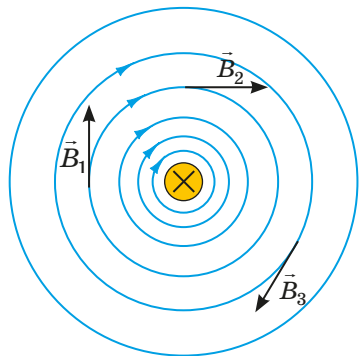


Рис. 11.3. Лінії магнітної індукції магнітного поля прямого провідника зі струмом. Провідник розташований перпендикулярно до площини рисунка; хрестик (X) означає, що струм у провіднику напрямлений від нас



Рис. 11.4. Дослідження магнітного поля котушки зі струмом за допомогою магнітних стрілок

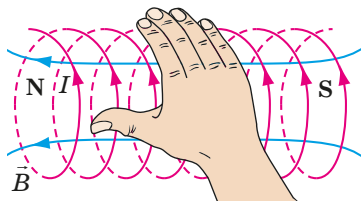


Рис. 11.5. Визначення полюсів котушки зі струмом за допомогою правої руки

Магнітна індукція залежить також від сили струму: зі збільшенням сили струму в провіднику магнітна індукція створеного ним магнітного поля збільшується.

А ЯК НАСПРАВДІ?



В одному з фільмів грабіжники, щоб уникнути процедури ідентифікації системою електромагнітних замків у банку, відключили електропостачання всього кварталу. Чи є сенс у таких діях з погляду фізики?

3. Як визначити полюси котушки зі струмом?

Змотаємо ізольований дріт у котушку й пустимо в ньому струм. Якщо тепер навколо котушки розмістити магнітні стрілки, то до одного торця котушки стрілки повернуться північним полюсом, а до другого — південним (рис. 11.4). Отже, навколо котушки зі струмом існує магнітне поле.

Як і штабовий магніт, котушка зі струмом має два полюси — південний і північний. Полюси котушки розташовані на її торцях, і їх легко визначити за допомогою правої руки:

Якщо чотири зігнуті пальці правої руки спрямувати за напрямком струму в котушці, то відігнутий на 90° великий палець укаже напрямок на північний полюс котушки, тобто напрямок магнітної індукції магнітного поля всередині котушки (рис. 11.5).

Порівнявши магнітні лінії постійного штабового магніту та магнітні лінії котушки зі струмом, побачимо їх надзвичайну схожість (рис. 11.6).

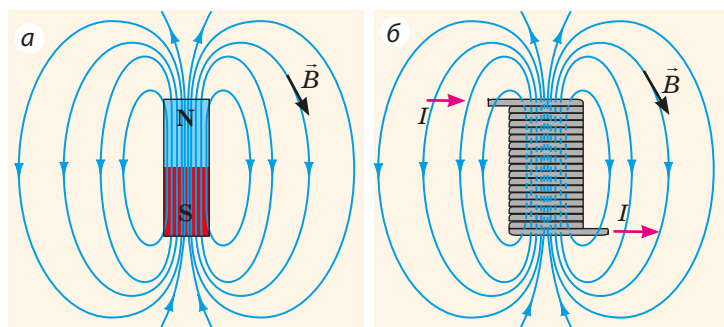


Рис. 11.6. Лінії магнітної індукції магнітного поля штабового магніту (а) і котушки зі струмом (б)

ДОСЛІДЖЕННЯ

Що знадобиться: залізний цвях; ізолюваний дріт; батарейка (4,5 В або 9 В); компас із магнітною стрілкою.

Виготовте дрітну котушку, намотавши дріт на цвях. Виберіть напрямок електричного струму, який ви пропускати будете дрітом. Визначте за допомогою правила правої руки полюси котушки зі струмом. Спрогнозуйте поведінку магнітної стрілки компаса, коли ви розташуєте його навпроти кожного з торців котушки.

Експериментально перевірте своє припущення, під'єднавши дріт до контактів батарейки. Виконайте пояснювальний рисунок. Сформулюйте висновок щодо результатів дослідження.



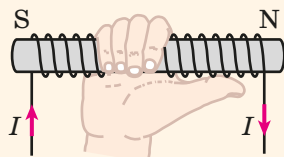
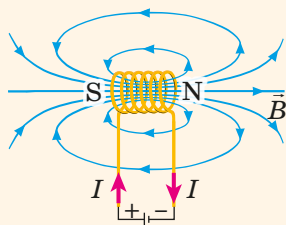
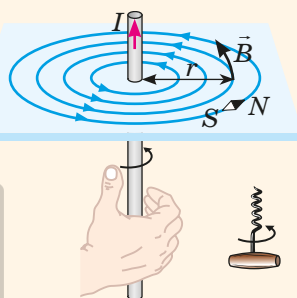
ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Напрямок ліній магнітної індукції $\vec{B}$ магнітного поля провідника зі струмом

визначаємо за допомогою магнітних стрілок, правила свердлика або правила правої руки.

Котушка зі струмом, як і постійний магніт, має два полюси.

Якщо чотири зігнуті пальці правої руки спрямувати за напрямком струму в котушці, то відігнутий на 90° великий палець укаже напрям на північний полюс котушки.



$B \uparrow$, якщо $I \uparrow$
 $r \downarrow$
 $B \downarrow$, якщо $I \downarrow$
 $r \uparrow$





КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Як визначити напрямок ліній магнітної індукції магнітного поля провідника зі струмом? 2. Сформулюйте правило свердлика. 3. Як магнітна індукція магнітного поля провідника зі струмом залежить від відстані до провідника? від сили струму в провіднику? 4. Який вигляд мають лінії магнітної індукції магнітного поля прямого провідника зі струмом? котушки зі струмом? 5. Як визначити магнітні полюси котушки зі струмом?



ВПРАВА № 11

1. На рис. 1 блакитним кольором зображено лінію магнітної індукції магнітного поля провідника зі струмом. Яким є напрямок струму в провіднику?

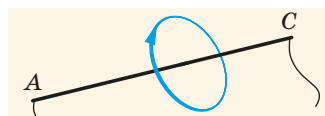


Рис. 1

2. На рис. 2 зображено лінії магнітної індукції магнітних полів двох провідників зі струмом.

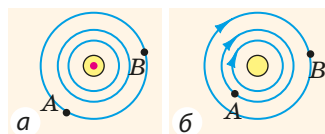


Рис. 2

1) Як напрямлені лінії магнітної індукції на рис. 2, а? Напрямок струму зображено червоним кольором.

2) Яким є напрямок струму в провіднику на рис. 2, б?

3) У якій точці — А чи В — магнітне поле є сильнішим (рис. 2, а, б)?

3. Яким полюсом має повернутися до нас магнітна стрілка, розташована під провідником (рис. 3)? Чи зміниться відповідь, якщо стрілку розташувати над провідником?

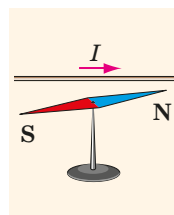


Рис. 3

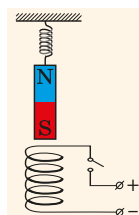


Рис. 4

4. Над котушкою (рис. 4) підвішено магніт. Що станеться, якщо замкнути коло?

5. Визначте полюси джерела струму на рис. 5.

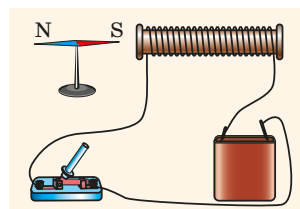


Рис. 5

6. У деяких випадках фахівці використовують *біфілярну намотку*: провід скручують удвоє так, щоб обидва його кінці опинилися поряд. У чому сенс такої намотки?

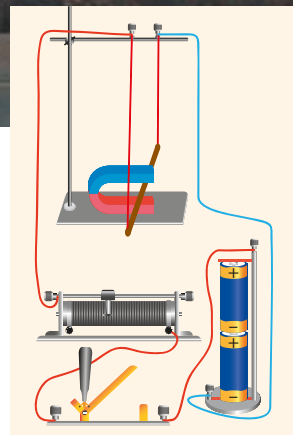
Ключові терміни

Правило свердлика • Правило правої руки



rnk.com.ua/
114222

§ 12. СИЛА АМПЕРА



ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Візьмемо прямий провідник, виготовлений з алюмінію, і підвісимо його на тонких і гнучких проводах так, щоб він був розташований між полюсами підковоподібного постійного магніту (див. рисунок). Об'єднайтесь у групи та спрогнозуйте поведінку провідника після того, як у ньому з'явиться струм, а також зазначте фізичні величини, які, на вашу думку, визначатимуть цю поведінку. Якщо є можливість, експериментально перевірте ваші гіпотези. Презентуйте класу ідеї своєї групи.

1. Яка сила діє на провідник зі струмом?

На провідник зі струмом, розташований певним чином у магнітному полі, діє сила. Довів наявність цієї сили й з'ясував, від чого залежать її значення та напрямок, французький учений *Андре-Марі Ампер* (1775–1836). Саме тому цю силу називають *силою Ампера*.

Сила Ампера — це сила, з якою магнітне поле діє на провідник зі струмом.

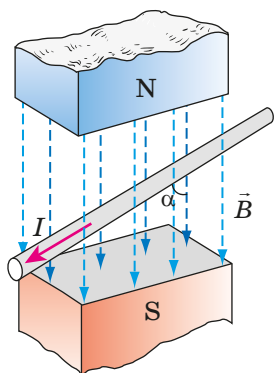


Рис. 12.1. Кут α — кут між напрямком магнітної індукції та напрямком струму в провіднику

Сила Ампера прямо пропорційна силі струму в провіднику та довжині активної частини провідника (тобто частини, якою йде струм і яка розташована в магнітному полі). Сила Ампера збільшується зі збільшенням магнітної індукції поля і залежить від того, під яким кутом до ліній магнітної індукції розташований провідник.

Значення сили Ампера (F_A) обчислюють за формулою:

$$F_A = BIl \sin \alpha,$$

де B — магнітна індукція магнітного поля; I — сила струму в провіднику; l — довжина активної частини провідника; α — кут між напрямком магнітної індукції та напрямком струму в провіднику (рис. 12.1).

Зверніть увагу! Магнітне поле не діятиме на провідник зі струмом ($F_A=0$), якщо провідник розташований паралельно лініям магнітної індукції цього поля ($\alpha=0$, $\sin \alpha=0$).

Щоб визначити напрямок сили Ампера, використовують **правило лівої руки**:

Якщо ліву руку розташувати так, щоб лінії магнітної індукції входили в долоню, а чотири витягнуті пальці вказували напрямок струму в провіднику, то відігнутий на 90° великий палець укаже напрямок сили Ампера (рис. 12.2).

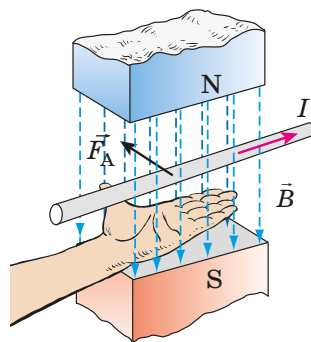


Рис. 12.2. Визначення напрямку сили Ампера за правилом лівої руки

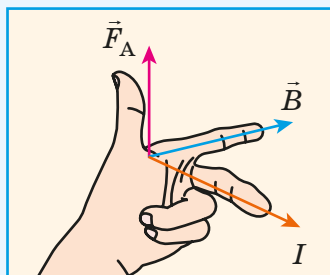
На рисунку показано визначення напрямку сили Ампера, яка діє на провідник, розташований у магнітному полі. Визначте напрямок струму в провіднику, напрямок магнітної індукції та напрямок сили Ампера.



А ЯК НАСПРАВДІ?



Під час вивчення теми «Сила Ампера» в класі розгорілася дискусія. Дарина стверджувала, що напрямок сили Ампера можна визначити за правилом Флемінга, та навела пояснювальний рисунок. Олена їй заперечувала та наполягала на тому, що напрямок сили Ампера визначають за правилом лівої руки. Як ви вважаєте, хто має рацію?



Доведіть, що два паралельні провідники, в яких течуть струми одного напрямку, притягуються.



Якщо вам складно розв'язати завдання, скористайтеся підказкою за QR-кодом або коротким посиланням.

rnk.com.ua/
114628

2. Як визначити модуль магнітної індукції?

Якщо провідник розташований перпендикулярно до ліній магнітної індукції ($\alpha=90^\circ$, $\sin \alpha=1$), то поле діє на провідник із максимальною силою: $F_{A\max} = BIl$. Звідси отримуємо **формулу для визначення модуля магнітної індукції**:

$$B = \frac{F_{A\max}}{Il}$$

У СІ одиниця магнітної індукції — тесла (Тл). 1 Тл — це індукція такого однорідного магнітного поля, яке діє з максимальною силою 1 Н на провідник завдовжки 1 м, у якому тече струм силою 1 А:

$$1 \text{ Тл} = 1 \frac{\text{Н}}{\text{А} \cdot \text{м}}.$$

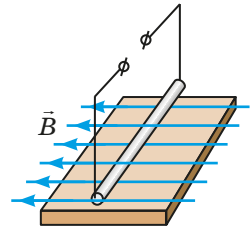
ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...



Значення магнітної індукції не залежить ані від сили струму в провіднику, ані від довжини провідника, а залежить тільки від властивостей магнітного поля. Наприклад, якщо вдвічі зменшити силу струму в провіднику, то вдвічі зменшиться й сила Ампера, з якою магнітне поле діє на провідник, а от значення магнітної індукції не зміниться.

3. Учимся розв'язувати задачі

■ **Задача.** Стрижень довжиною 0,1 м і масою 40 г перебуває в однорідному магнітному полі індукцією 0,5 Тл перпендикулярно до магнітних ліній поля (див. рисунок). Струм якої сили та в якому напрямку необхідно пропустити в стрижні, щоб він не тиснув на опору (завис у магнітному полі)? ■



Аналіз фізичної проблеми. Стрижень не тиснутиме на опору, якщо сила Ампера зрівноважить силу тяжіння. Це відбудеться за таких умов: 1) сила Ампера буде напрямлена протилежно силі тяжіння (тобто вертикально вгору); 2) значення сили Ампера дорівнюватиме значенню сили тяжіння: $F_A = F_{\text{тяж}}$.

Дано:

$$l = 0,1 \text{ м}$$

$$m = 40 \text{ г} = 0,04 \text{ кг}$$

$$B = 0,5 \text{ Тл}$$

$$\alpha = 90^\circ$$

$$g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

Знайти:

I — ?

Пошук математичної моделі, розв'язання

1. Визначимо напрямок струму. Для цього розташуємо ліву руку так, щоб лінії магнітного поля входили в долоню, а відігнутий на 90° великий палець був напрямлений вертикально вгору. Чотири витягнуті пальці вкажуть напрямок від нас. Отже, струм у провіднику потрібно спрямувати від нас.

2. Ураховуємо, що $F_A = F_{\text{тяж}}$.

$$F_A = BIl \sin \alpha, \text{ де } \sin \alpha = 1; F_{\text{тяж}} = mg.$$

$$\text{Отже, } BIl = mg \Rightarrow I = \frac{mg}{lB}.$$

Перевіримо одиницю, знайдемо значення шуканої величини:

$$[I] = \frac{\frac{\text{кг} \cdot \text{Н}}{\text{кг}}}{\frac{\text{м} \cdot \text{Тл}}{\frac{\text{Н}}{\text{м} \cdot \text{Н}/(\text{А} \cdot \text{м})}}} = \frac{\text{Н}}{\text{м} \cdot \text{Н}/(\text{А} \cdot \text{м})} = \frac{\text{Н} \cdot \text{А} \cdot \text{м}}{\text{м} \cdot \text{Н}} = \text{А}; I = \frac{0,04 \cdot 10}{0,1 \cdot 0,5} = \frac{40}{5} = 8 \text{ (А)}.$$

Відповідь: $I = 8 \text{ А}$; від нас.



ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Силу, з якою магнітне поле діє на провідник зі струмом, називають **силою Ампера** (F_A):

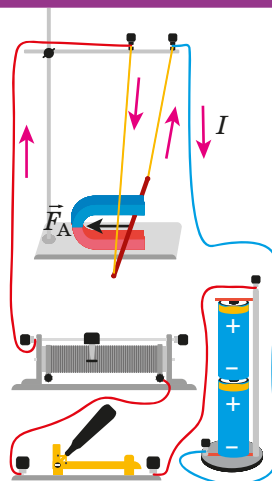
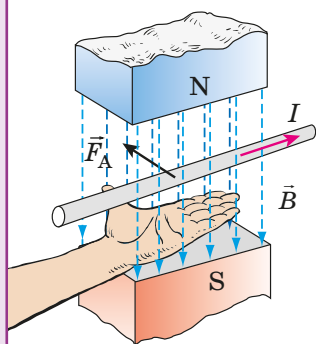
$$F_A = BIl \sin \alpha$$

магнітна індукція
магнітного поля

сила струму в провіднику

кут між напрямком
магнітної індукції
та напрямком
струму в провіднику

довжина активної
частини провідника



Визначення напрямку сили Ампера (правило лівої руки):

- ✓ якщо лінії магнітної індукції входять у долоню,
- ✓ а чотири витягнуті пальці вказують напрямком струму в провіднику,
- ✓ тоді відігнутий на 90° великий палець укаже напрямком сили Ампера.



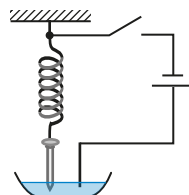
КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Опишіть дослід на підтвердження того, що магнітне поле діє на провідник зі струмом із певною силою. 2. Дайте означення сили Ампера. Від яких чинників залежить її значення? За якою формулою її визначають? 3. Як слід розташувати провідник зі струмом, щоб сила Ампера була найбільшою? Коли магнітне поле не діє на провідник зі струмом? 4. Сформулюйте правило для визначення напрямку сили Ампера. 5. Наведіть формулу для визначення модуля магнітної індукції. 6. Дайте означення одиниці магнітної індукції.



ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

Підвісьте до м'якої металевої пружини залізний цвях; вістря цвяха розмістіть у розчині кухонної солі так, щоб воно трохи торкалося рідини (див. рисунок). Складіть електричне коло, як на рисунку. Замкніть коло й виведіть цвях із положення рівноваги — він коливатиметься доти, доки ви не розімкнете коло. Поясніть спостережуване явище.





ВПРАВА № 12

1. Визначте напрямок сили Ампера для кожного випадку (рис. 1, а-г).

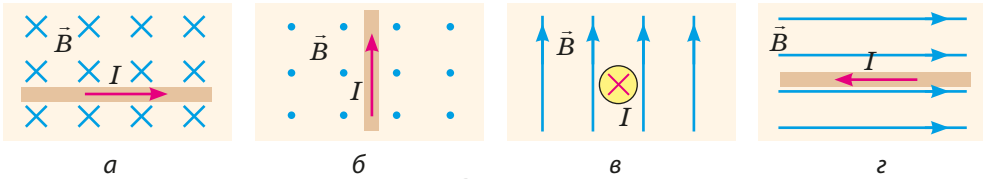


Рис. 1

2. У прямолінійному провіднику завдовжки 60 см тече струм силою 1,2 А. Провідник розташований в однорідному магнітному полі індукцією 1,5 Тл. Визначте найбільше та найменше значення сили Ампера, яка може діяти на провідник.

3. Провідник зі струмом відхилився в магнітному полі магніту. Визначте: а) полюси магніту (рис. 2); б) полюси джерела струму (рис. 3).

4. В однорідному магнітному полі індукцією 40 мТл на прямолінійний провідник зі струмом діє сила Ампера 60 мН. Сила струму в провіднику 2,5 А. Визначте: а) довжину провідника, якщо він розташований під кутом 30° до ліній магнітної індукції; б) яку роботу виконало магнітне поле, якщо під дією сили Ампера провідник перемістився на 0,5 м у напрямку цієї сили.

5. Доведіть, що два провідники, в яких ідуть струми протилежних напрямків, відштовхуються.

6. Стрижень із квадратним перерізом масою 5 г лежить горизонтально на рейках у вертикальному магнітному полі індукцією 25 мТл (рис. 4). Довжина активної частини провідника 10 см. Визначте: а) у якому напрямку рухатиметься провідник, якщо замкнути електричне коло; б) коефіцієнт тертя, якщо за сили струму в провіднику 5 А провідник рухається рівномірно.

7. Складіть задачу, обернену до задачі на с. 89.

8. На фото на заставці до § 12 зображено електричний скутер. Як, на вашу думку, пов'язані тема параграфа та зображення до нього?

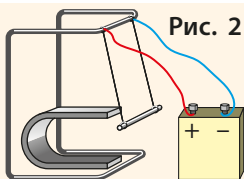


Рис. 2

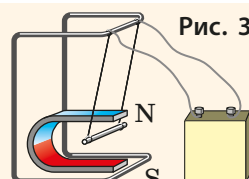


Рис. 3

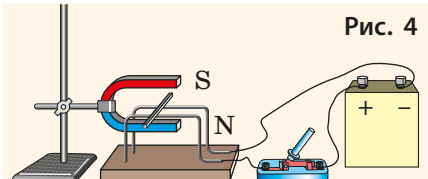


Рис. 4

Ключові терміни

Сила Ампера • Правило лівої руки • Тесла (Тл)



rnk.com.ua/
114223



§ 13. МАГНІТНІ ВЛАСТИВОСТІ РЕЧОВИН. ГІПОТЕЗА АМПЕРА

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Для дослідження магнітних властивостей речовин узяли кілька тіл: скріпку, цвях, шматок алюмінієвої фольги, монету номіналом 1 гривня, скляну намистинку, срібний ланцюжок, шматок крейди, аркуш паперу, пластикову кришку. Які з тіл, на вашу думку, притягнуться до магніту, а які не реагуватимуть на нього? Перевірте свої припущення за допомогою досліду. У скількох випадках ваші припущення не підтвердилися експериментально?

1. Що відбувається з речовиною, коли до неї підносять магніт?

Будь-яка речовина, поміщена в магнітне поле, намагнічується, тобто створює власне магнітне поле, і магнітна індукція такого поля є різною для різних речовин.

Існують речовини, які послаблюють зовнішнє магнітне поле всередині себе. Такі речовини називають *діамагнетиками*. Багато речовин, навпаки, посилюють магнітне поле — це *парамагнетики* та *ферромагнетики*.

2. На які класи поділяють речовини за магнітними властивостями?

Діамагнетики	Парамагнетики	Ферромагнетики
(від грец. <i>dia</i> — розбіжність)	(від грец. <i>para</i> — поряд)	(від латин. <i>ferrum</i> — залізо)
Намагнічуються, створюючи слабке магнітне поле, напрявлене протилежно зовнішньому магнітному полю	Намагнічуються, створюючи слабке магнітне поле, напрявлене в бік зовнішнього магнітного поля	Намагнічуються, створюючи сильне магнітне поле, напрявлене в бік зовнішнього магнітного поля; залишаються намагніченими в разі зникнення зовнішнього магнітного поля

Діамагнетики	Парамагнетики	Феромагнетики
$B_d \leq B_0$; $\frac{B_d}{B_0} \approx 0,9998$, де B_d , B_0 — індукція магнітного поля всередині діамагнетика та зовнішнього магнітного поля відповідно	$B_n \geq B_0$; $\frac{B_n}{B_0} \approx 1,001$, де B_n , B_0 — індукція магнітного поля всередині парамагнетика та зовнішнього магнітного поля відповідно	$B_\phi \gg B_0$, де B_ϕ , B_0 — індукція магнітного поля всередині феромагнетика та зовнішнього магнітного поля відповідно
Незначно послаблюють зовнішнє магнітне поле, виштовхуються з нього	Незначно посилюють зовнішнє магнітне поле, втягуються в нього	Значно посилюють зовнішнє магнітне поле, втягуються в нього
Інертні гази, золото, мідь, ртуть, срібло, азот, вода тощо	Кисень, платина, алюміній тощо	Залізо, нікель, кобальт, неодим тощо

Зверніть увагу: на рисунках у таблиці лінії червоного кольору — лінії магнітного поля, створеного речовиною; лінії синього кольору — магнітні лінії зовнішнього магнітного поля; лінії зеленого кольору — лінії результуючого магнітного поля.

Як поводитиметься полум'я свічки в магнітному полі (див. [рисунок](#)), якщо продукти згоряння є діамагнітними частинками?



ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...



Феромагнітні матеріали умовно поділяють на два типи. Матеріали, які після припинення дії зовнішнього магнітного поля залишаються намагніченими довгий час, називають *магнітожорсткими* феромагнетиками. Їх застосовують для виготовлення постійних магнітів. Феромагнітні матеріали, які легко намагнічуються та швидко розмагнічуються, називають *магнітом'якими* феромагнетиками. Їх застосовують для виготовлення осердь електромагнітів, двигунів, трансформаторів, тобто пристроїв, які під час роботи постійно перемагнічуються (про будову та принцип дії таких пристроїв ви дізнаєтеся пізніше).

У разі досягнення *точки Кюрі* (див. § 9) **феромагнітні властивості матеріалів зникають** — *феромагнетики стають парамагнетиками*.

А ЯК НАСПРАВДІ?



У блозі одного із сайтів постачальника виробів з металів стверджується, що кобальт посилює магнітне поле в 175 разів, нікель — у 1120 разів, а трансформаторна сталь (яка на 96–98 % складається із заліза) — у 8000 разів. Як ви вважаєте, чи реальні дані наведено? Чи варто перевірити цю інформацію? У який спосіб це краще зробити?



Перша скріпка намагнічується в магнітному полі так, що кінець, розташований біля південного полюса магніту, стає північним полюсом, тому скріпка притягується до магніту (див. рисунок). Який полюс матиме нижній кінець першої скріпки? верхній кінець другої скріпки?



3. Як гіпотеза Ампера пояснює магнітні властивості феромагнетиків?

Спостерігаючи дію провідника зі струмом на магнітну стрілку й з'ясувавши, що котушки зі струмом поводяться як постійні магніти, А. Ампер висунув гіпотезу щодо пояснення магнітних властивостей речовин. Він припустив, що всередині речовини існує величезна кількість незгасних малих колових струмів* і що кожний коловий струм, ніби маленька котушка, є магнітиком.

У тілі, яке не є намагніченим, колові струми орієнтовані безладно (рис. 13.1, *а*). Зовнішнє магнітне поле намагається зорієнтувати ці струми так, щоб напрямок магнітного поля кожного струму збігався з напрямком зовнішнього магнітного поля (рис. 13.1, *б*). У деяких речовин така орієнтація струмів (намагнічення) залишається й після усунення зовнішнього магнітного поля.



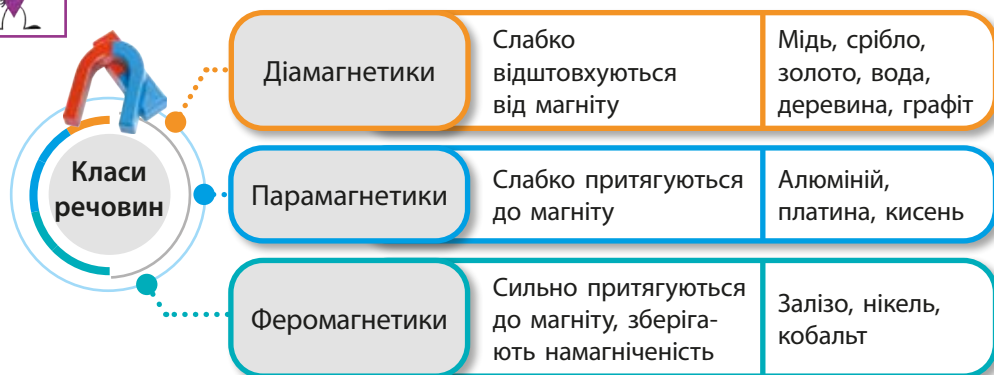
Рис. 13.1. Механізм намагнічування тіл відповідно до гіпотези Ампера: *а* — колові струми орієнтовані безладно, тіло не є намагніченим; *б* — колові струми орієнтовані в певному напрямку, тіло намагнічене

* Згодом учені встановили, що однією з причин виникнення таких струмів є рух електронів навколо ядра в атомі.

Гіпотеза Ампера стала поштовхом до створення теорії магнетизму. На підставі цієї гіпотези було пояснено відомі властивості феромагнетиків, проте неможливо було пояснити природу діа- та парамагнетизму, а також те, чому тільки невелика кількість речовин має феромагнітні властивості. Сучасна теорія магнетизму ґрунтується на законах квантової механіки.

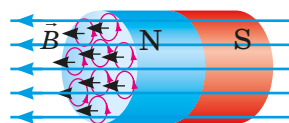


ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ



Гіпотеза Ампера

Магнітні властивості речовин пояснюються існуванням усередині речовини незгасних малих колових струмів.



КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що відбувається з речовиною, коли вона потрапляє в магнітне поле?
2. Наведіть приклади діамагнетиків; парамагнетиків; феромагнетиків.
3. Як у зовнішньому магнітному полі поводитьися тіло, виготовлене з діамагнетика? парамагнетика? феромагнетика?
4. Де застосовують магнітом'які матеріали? магнітожорсткі матеріали?
5. У чому полягає гіпотеза Ампера?



ВПРАВА № 13

1. З якої речовини може бути виготовлений шуруп, зображений на рис. 1?
2. Як поводитимуться залізний цвях, алюмінієва ложка та графітовий стрижень від олівця під час піднесення до них магніту?
3. Є два види сталі — магнітом'яка та магнітожорстка. Яка сталь є більш придатною для виготовлення постійних магнітів?



Рис. 1

4. Які магнітні властивості матиме: а) залізо за $900\text{ }^{\circ}\text{C}$? б) кобальт за $900\text{ }^{\circ}\text{C}$?

5. Виберіть ті фото, на яких проілюстровано практичне використання магнітних властивостей феромагнетиків. Поясніть свій вибір.



А



Б



В



Г



Д

6. Мідний циліндр підвісили на пружині та помістили в сильне магнітне поле (рис. 2). Як при цьому змінилося видовження пружини?

7. Чому на постійному магніті можна тримати ланцюжок залізних предметів (рис. 3)?

8. Скориставшись додатковими джерелами інформації, дізнайтеся про магнітну левітацію та перспективи її використання.

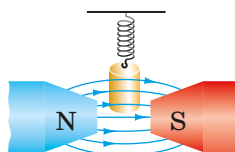


Рис. 2



Рис. 3



ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

Використавши магніт, скріпки та плоский сталевий предмет, з'ясуйте, що відбуватиметься в разі, якщо між магнітом і скріпками розмістити цей сталевий предмет.

Ключові терміни

Діамагнетики • Парамагнетики • Феромагнетики • Гіпотеза Ампера



rnk.com.ua/
114224

§ 14. ЕЛЕКТРОМАГНІТИ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Об'єднайтесь у команди й спробуйте за 5 хвилин знайти безконтактний спосіб перенесення скоб для степлера з одного краю стола на інший за допомогою довгого залізного цвяха, ізолюваного дроту й батарейки (1,5 В). Що необхідно зробити, щоб збільшити кількість скоб, які можна перенести за один раз?

1. Що називають електромагнітом?

Переконані, ви впорались із завданням, а отже, змогли сконструювати саморобний *електромагніт* — тип магніту, що створює магнітне поле за допомогою електричного струму.

Котушку з введеним усередину осердям із феромагнітного матеріалу називають **електромагнітом** (рис. 14.1).

Намалюйте електромагніт, який ви створили, і підпишіть назви його складників.



Клеми для приєднання до джерела струму

Осердя з магнітом'якої сталі

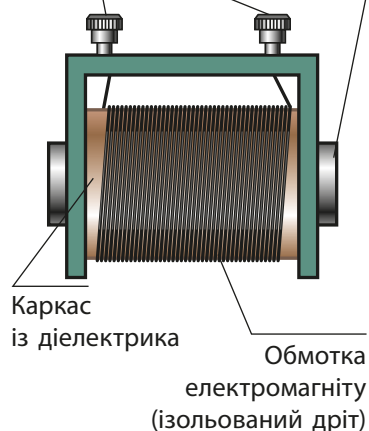


Рис. 14.1. Будова електромагніту

Зрозуміло, що електромагніт працює тільки тоді, коли в котушці тече електричний струм. І що більшою є сила струму у витках котушки, то сильніша магнітна дія електромагніту. Крім того, його магнітна дія залежить не лише від сили струму, а також від кількості витків у котушці та властивостей осердя — розміру, форми, матеріалу (рис. 14.2). Збільшення кількості витків або надання осердю підковоподібної форми приводить до збільшення магнітної дії електромагніту.

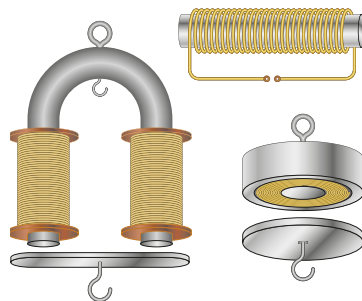
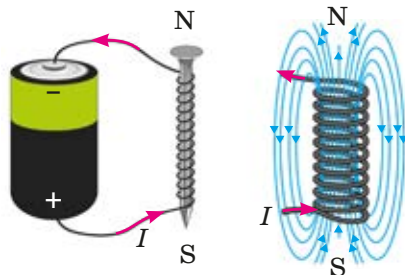


Рис. 14.2. Моделі електромагнітів

Перевірте, чи правильно визначено північний полюс саморобного електромагніту і зображено лінії магнітної індукції його магнітного поля (див. рисунок).

Чи зміниться розташування полюсів, якщо з котушки витягнути осердя?



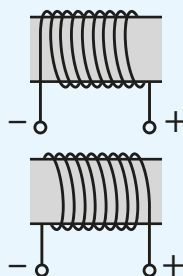
Для визначення полюсів електромагніту:

- 1) покажіть напрямок струму в обмотці;
- 2) з'ясуєте за допомогою правої руки (див. [рис. 11.5](#) у § 11), де розташований північний полюс.

А ЯК НАСПРАВДІ?



Під час уроку між Тарасом і Кірою розгорілася дискусія. Тарас вважав, що в обох електромагнітів (див. [рисунок](#)) північний полюс буде ліворуч, а південний — праворуч, адже полюси джерел струму розташовані однаково: ліворуч «-», праворуч «+». Кіра йому заперечувала, посилаючись на різний напрямок струму в обмотках електромагнітів. А як, на вашу думку, розташовані полюси кожного електромагніту?



2. Як часто ми користуємося пристроями з електромагнітами?

Електромагніти широко застосовують у техніці. Це зумовлене насамперед тим, що їхню магнітну дію легко регулювати — достатньо змінити силу струму в обмотці. Крім того, можна виготовити електромагніти будь-яких форм і розмірів.

Електромагніти містяться в багатьох побутових пристроях ([рис. 14.3](#)), входять до складу електромагнітних підіймальних кранів ([рис. 14.4](#)),

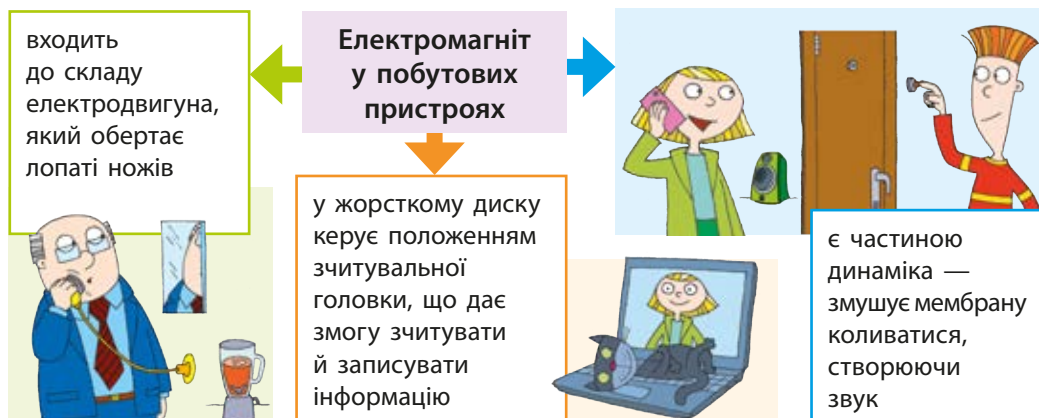


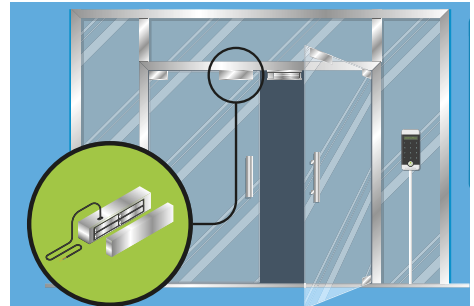
Рис. 14.3. Використання електромагнітів у деяких пристроях

електромагнітних замків (рис. 14.5, фото на заставці до § 14), електричних двигунів і генераторів, електровимірювальних приладів (див. § 16), медичних апаратів (див. фото на заставці до § 9).

Рис. 14.4. Електромагнітний підймальний кран на підприємстві з перероблення брухту. Увімкнули струм — залізні предмети притяглися до електромагніту і їх перенесли в потрібне місце, вимкнули струм — залізні предмети припинили притягуватись і залишилися там, куди їх перенесли



Рис. 14.5. Електромагнітний замок на дверях офісу. Подано струм — магніт притягнув металеву пластину, двері надійно зафіксовані. Щойно струм вимикається, зчеплення зникає, замок розмикається й двері можна легко відчинити



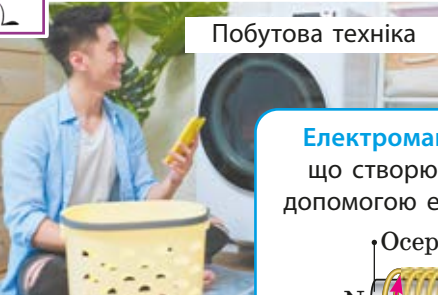
ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...



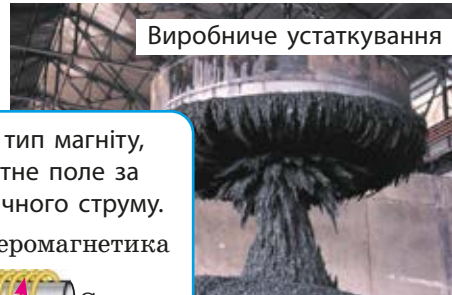
Маса електромагніту в апараті МРТ може сягати декількох тонн, електромагніту підймального крана — сотень кілограмів, а електромагніту в динаміку смартфона — лише десятих часток грама.



ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ



Побутова техніка



Виробниче устаткування

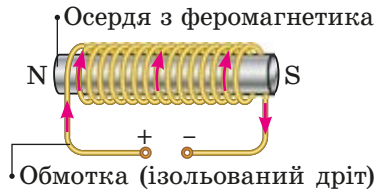


Медичне обладнання



Електровимірювальні прилади

Електромагніт — тип магніту, що створює магнітне поле за допомогою електричного струму.



Магнітна дія ↑, якщо: сила струму ↑
кількість витків ↑



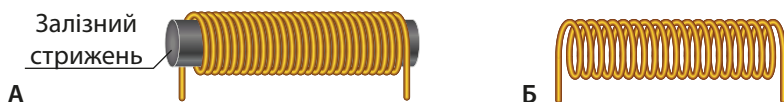
КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що таке електромагніт? Опишіть його будову. 2. Як збільшити магнітну дію електромагніту? 3. Що вам знадобиться для виготовлення електромагніту власноруч? Як перевірити його дію? 4. За якими правилами можна визначити полюси електромагніту? 5. Наведіть приклади використання електромагнітів. 6. Чому електромагніти набули широкого застосування в техніці? 7. Поясніть принцип дії електромагнітного підіймального крана.

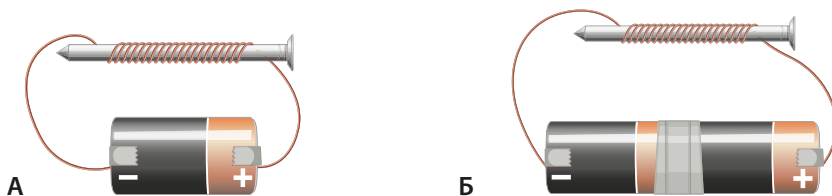


ВПРАВА № 14

1. Яка з котушок виявляє більшу магнітну дію, коли в її витках тече струм? Сила струму в обох випадках однакова.



2. На якому рисунку зображено електромагніт, сила притягання якого є найменшою? Обґрунтуйте свою відповідь.



3. Замість магнітом'якої сталі для виготовлення осердя електромагніту використали магнітожорсткий матеріал. Які недоліки матиме такий електромагніт?

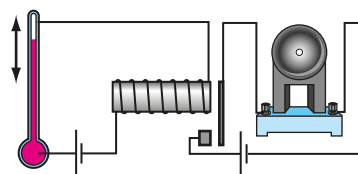
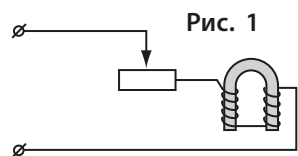
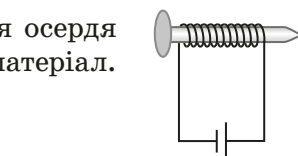
4. Визначте полюси електромагніту на рис. 1.

5. Виконайте порівняльний аналіз властивостей постійних магнітів та електромагнітів.

6. Поясніть, чому осердя з феромагнітного матеріалу посилює магнітну дію котушки зі струмом.

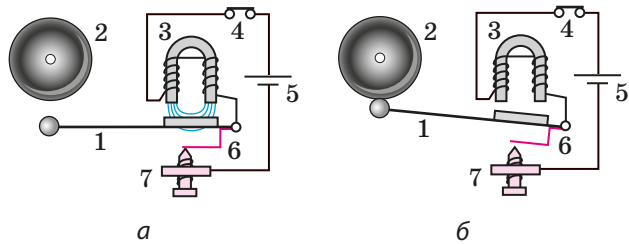
7. Як зміниться підіймальна сила електромагніту, якщо пересунути повзунок реостата праворуч (рис. 2)? Відповідь обґрунтуйте.

8. На рис. 3 подано схему будови пристрою, який автоматично спрацьовує за певної температури. Назвіть основні частини цього пристрою, поясніть принцип його дії. Де доцільно встановлювати такі автоматичні пристрої?



9. Користуючись рис. 4, спробуйте розібратися, як працює електричний дзвінок. За потреби зверніться до додаткових джерел інформації.

Рис. 4. Схема дії електричного дзвінка: 1 — молоточок; 2 — чаша дзвінка; 3 — підковоподібний електромагніт; 4 — кнопка; 5 — джерело струму; 6 — контактна пружина, яка торкається гвинта 7



TOP SKILLS: РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

Прочитайте текст.

Найпотужніші електромагніти створено завдяки дослідженням американського фізика *Френсіса Біттера*. 1933 року він розробив конструкцію, що складається з мідних дисків, розрізаних уздовж радіуса та з'єднаних у вигляді подвійної спіралі, між якими розташовано діелектричні пластини. У середині дисків і пластин зроблено отвори, що утворюють канали, якими проходить вода для охолодження, адже пристрій споживає кілька мегаватів потужності. Один із сучасних електромагнітів Біттера (2011 р., США) може створювати поле, магнітна індукція якого становить 36 Тл, що майже в мільйон разів більше за магнітну індукцію магнітного поля Землі. Система охолодження пропускає стільки води, що за годину нею можна заповнити 25-метровий басейн для плавання.

Дайте відповіді на запитання.

1. Які елементи входять до конструкції електромагніту Біттера?
2. Чому дорівнює індукція магнітного поля, яке створює сучасний електромагніт Біттера? Які можливі сфери його застосування?
3. Який висновок про значення магнітної індукції магнітного поля Землі можна зробити на основі інформації, що міститься в тексті?
4. Яку проблему розв'язують канали для води, утворені всередині електромагніту? Відповідь обґрунтуйте.
5. Оцініть: а) у скільки разів енерговитрати на роботу електромагніту Біттера більші за енерговитрати на роботу найпотужнішого пристрою, який є у вас удома; б) за який приблизно час наповнювалася б домашня ванна, якби її наповнювала система, що охолоджує електромагніт Біттера.

Ключові терміни

Електромагніт • Електромагнітний підймальний кран


 rnk.com.ua/
113035

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

Тема. Виготовлення електромагніту.

Мета: навчитися виготовляти найпростіший електромагніт; з'ясувати, від чого залежить його магнітна дія.

Обладнання: амперметр; динамометр; магнітна стрілка або компас; ізолюваний мідний дріт; джерело постійного струму; два залізні стрижні (або великі цвяхи); залізні ошурки; реостат; ключ; з'єднувальні проводи; шта- тив; залізна пластинка з гачком.



ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ

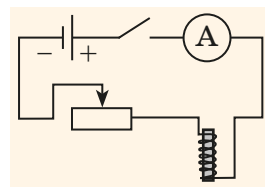
Підготовка до експерименту

1. Згадайте вимоги безпеки під час роботи з електричними колами.
2. Визначте ціни поділок шкал амперметра та динамометра.

Експеримент

Дотримуйтесь інструкції з безпеки.

1. Виготовте два електромагніти з різною кількістю витків в обмотці: на два однакові залізні стрижні намотайте різну кількість витків ізолюваного мідного дроту (наприклад, 40 і 80).
2. Узявши електромагніт із більшою кількістю витків, складіть електричне коло (див. рисунок).
3. Замкніть коло й визначте полюси електромагніту.
4. З'ясуйте, від чого залежить магнітна дія електромагніту.



Для визначення магнітної дії електромагніту скористайтесь динамометром — див. відео за QR-кодом або посиланням на початку роботи.

- 1) Порівняйте магнітну дію електромагніту з більшою кількістю витків за сили струму в обмотці 0,5 А і 1,5 А. Силу струму регулюйте реостатом.
- 2) Вийміть стрижень з обмотки, встановіть в обмотці силу струму 1,5 А та з'ясуйте, як наявність осердя впливає на магнітну дію електромагніту.
- 3) Визначте, як зменшення кількості витків впливає на магнітну дію електромагніту. Дослідження проводьте за сили струму в обмотці 1,5 А.

Аналіз результатів експерименту

Проаналізуйте експеримент і його результати. Зробіть висновок.

Творче завдання

Запропонуйте спосіб намотування обмотки електромагніту, за якого на обох його кінцях під час проходження струму утворюватимуться південні полюси. Перевірте своє припущення експериментально.



rnk.com.ua/
114225

§ 15. ДІЯ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА РАМКУ ЗІ СТРУМОМ

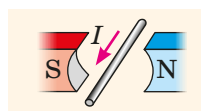
ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. На рисунку зображено саморобний пристрій, який складається з батарейки (1,5 В), неодимових магнітів, рамки з 10 витків ізолюваного мідного дроту (0,5 мм) і зігнутих певним чином канцелярських скріпок. Як, на вашу думку, поводитиметься рамка? Перевірте свою гіпотезу експериментально. Спробуйте пояснити поведінку рамки.

1. Чому рамка зі струмом обертається в магнітному полі?

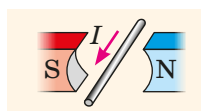
Перш ніж вивчати поведінку рамки зі струмом у магнітному полі, згадайте: 1) як напрямлені лінії магнітної індукції поза магнітом; 2) яка сила діє на провідник зі струмом, розміщений у магнітному полі, та за яким правилом визначають напрямок цієї сили.



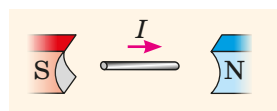
Визначте напрямок сили, що діє з боку магнітного поля на провідник зі струмом (а-г).



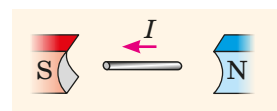
а



б



в



г

Переконані, що ви успішно впорались із завданням. Тож почнімо дослідження. Візьмемо легку прямокутну рамку, що складається з кількох витків ізолюваного дроту, і помістимо її між полюсами магніту так, щоб вона могла легко обертатися навколо горизонтальної осі. Пропустимо в рамці електричний струм (рис. 15.1, а). Рамка повернеться і, гойднувшись кілька разів, розташується так, як показано на рис. 15.1, б. Це положення є положенням рівноваги рамки. З'ясуємо, чому рамка починає рух. Для цього, скориставшись правилом лівої руки, визначимо напрямки сил Ампера, які діють на кожну сторону рамки на початку спостереження. На рис. 15.1, а бачимо, що сила Ампера $\vec{F}_1$,

яка діє на сторону AB , напрямлена вгору, а сила Ампера $\vec{F}_2$, яка діє на сторону CD , напрямлена вниз. Отже, обидві сили повертають рамку за ходом годинникової стрілки.

А тепер з'ясуємо, чому рамка припинила рух. Річ у тім, що після проходження рамкою положення рівноваги сили Ампера повертатимуть її вже проти ходу годинникової стрілки (рис. 15.1, *в*). У результаті рамка почне повертатись у зворотному напрямку, пройде положення рівноваги та знову змінить напрямок руху. Урешті-решт через дію сил тертя рамка зупиниться.

Переконайтеся, що для кожного з положень рамки напрямки сил зазначені правильно.

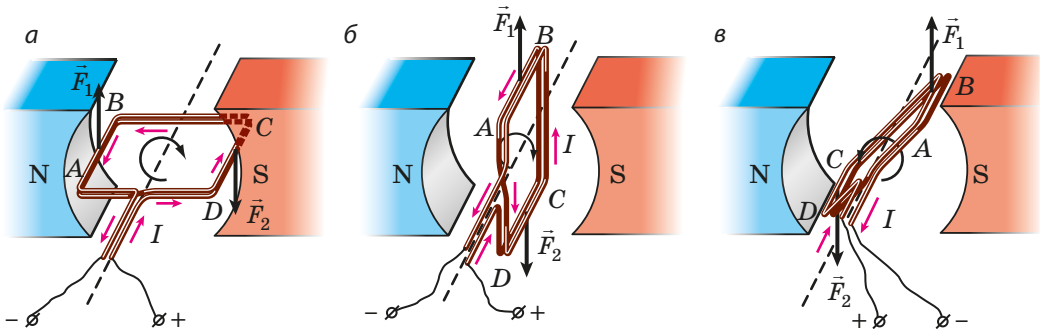


Рис. 15.1. Дослідження дії магнітного поля на рамку зі струмом: *а* — сили Ампера ($\vec{F}_1$ і $\vec{F}_2$) повертають рамку $ABCD$ за ходом годинникової стрілки; *б* — у положенні рівноваги сили Ампера не повертають рамку, а розтягують; *в* — сили Ампера повертають рамку проти ходу годинникової стрілки

2. Як змусити рамку обертатися в одному напрямку без зупинки?

Безперервне обертання рамки в одному напрямку забезпечується тим, що в момент проходження положення рівноваги напрямки струму змінюють на протилежний. Унаслідок цього сили Ампера також змінюють свій напрямок і продовжують обертати рамку в тому самому напрямку, не допускаючи її зупинки. Спеціальний пристрій, який робить це автоматично, називають **колектором**.

На рис. 15.2 зображено модель, за допомогою якої ознайомимось з принципом дії колектора. Колектор являє собою два півкільця (1), до кожного з яких притиснуто металеву щітку (2). Півкільця виготовлені з провідника й розділені проміжком. Щітки слугують для підведення напруги від джерела струму (3) до півкілець колектора, якими струм надходить до рамки (4), що обертається навколо горизонтальної осі між полюсами магніту (5). Одну щітку з'єднують із позитивним полюсом джерела струму, іншу — з негативним.

Після замикання кола рамка внаслідок дії сил Ампера починає повертатися за ходом годинникової стрілки (рис. 15.2, *а*). Півкільця колектора повертаються разом з рамкою, а щітки залишаються нерухомими,

тому після проходження положення рівноваги (рис. 15.2, б) до щіток будуть притиснуті вже інші півкільця (рис. 15.2, в). Напрямок струму в рамці зміниться на протилежний, а напрямок її обертання не зміниться — рамка продовжить рух за ходом годинникової стрілки.

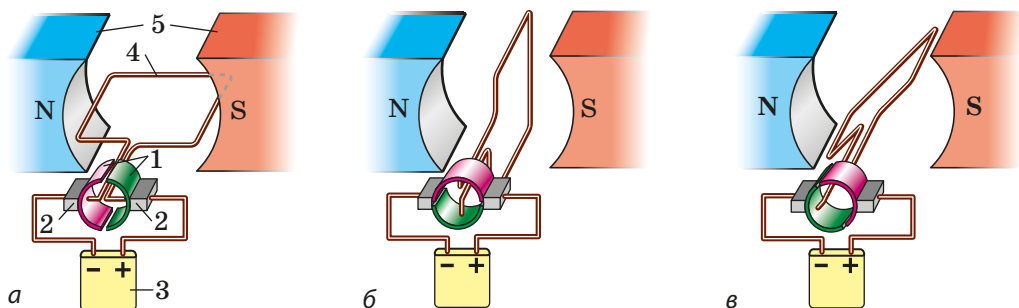


Рис. 15.2. Модель, яка демонструє принцип дії колектора (а). Після проходження положення рівноваги (б) щітки колектора притиснуті вже до інших півкільців (в), тому напрямок струму в рамці змінюється на протилежний

Доведіть, що в положеннях а і в рамки (див. рис. 15.2) сили Ампера обертають рамку за ходом годинникової стрілки.



3. Як рамка зі струмом перетворюється на електродвигун?

На обертанні рамки зі струмом у магнітному полі засновано роботу *електродвигуна*.

Електричний двигун — це пристрій, у якому електрична енергія перетворюється на механічну.

На рис. 15.3 зображено модель електричного двигуна. Сподіваємося, що ви легко впізнаєте його складники: магніт, провідну рамку, джерело струму, колектор.

Справжній електродвигун — це складніший пристрій. Його рухома частина має кілька обмоток із великою кількістю витків дроту, вкладених у спеціальні пази на бічній поверхні *осердя* з магнітом'якої сталі. *Колектор* складається з низки металевих пластин — по дві для кожної обмотки. Осердя з обмотками й колектором утворюють **ротор** (від латин. *rotare* — обертатися) двигуна (рис. 15.4).

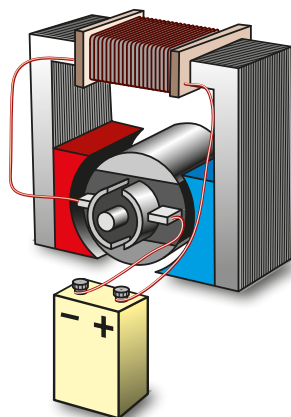


Рис. 15.3. Модель електродвигуна постійного струму

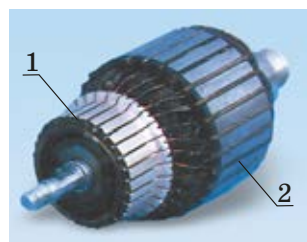
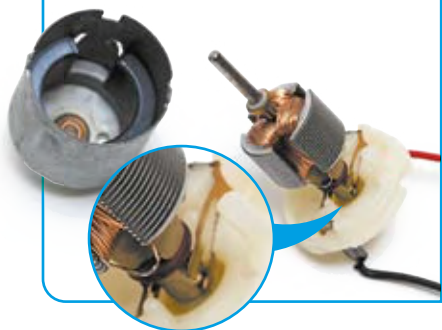


Рис. 15.4. Ротор двигуна, який містить дванадцять обмоток: 1 — пластини колектора; 2 — осердя з обмотками

Розгляньте зображення невеликого електродвигуна. Знайдіть і назвіть його основні складники.



Нерухому частину двигуна — **статор** (від латин. *stator* — той, що стоїть нерухомо) — утворює електромагніт, закріплений усередині корпусу. Його видно лише під час ремонту або розбирання пристрою.

Такі *електродвигуни постійного струму* застосовують у транспортних засобах (трамваях, тролейбусах, електровозах, електромобілях, скутерах, самокатах тощо) і промислового обладнання. Електричні двигуни мають значні переваги перед тепловими: вищий ККД, компактність, економічність, відсутність шкідливих викидів та легке керування потужністю.

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...



Найбільший у світі круїзний лайнер «Icon of the Seas» («Ікона морів») приводять у рух *три електродвигуни*, загальна потужність яких становить приблизно 90 000 кінських сил. Таку потужність розвивають близько *тисячі бензинових двигунів* автомобілів середнього класу. Якщо ці автомобілі зібрати разом, то для їх розміщення знадобиться більш ніж два стандартних футбольних поля.

А ЯК НАСПРАВДІ?



У новому випуску подкасту «Фізика без меж» ведучі обговорюють електродвигуни.

— Існують електродвигуни розміром лише кілька міліметрів, — каже Богдан. — Їх використовують у медичних приладах.

— Це ще не межа, — усміхається Ірина. — Учені створили наноелектродвигуни, які складаються всього з кількох десятків атомів. Одна частина атомів утворює ротор, друга — статор.

— Неймовірно! — дивується Богдан. — Це щось зі світу фантастики! А як насправді?

4. Як працює амперметр?

На повертанні рамки зі струмом у магнітному полі постійного магніту ґрунтується дія електровимірювальних приладів магнітоелектричної системи — гальванометрів, амперметрів і вольтметрів постійного струму. Вимірювальний механізм таких приладів зображено на рис. 15.5.

Коли прилад вмикають у коло, в рамці починає йти струм і внаслідок дії сил Ампера рамка повертається в магнітному полі постійного

магніту. Разом із рамкою повертаються півосі, а отже, і стрілка.

Під час повертання рамки закручуються пружини й виникають додаткові сили пружності. Коли момент сил пружності зрівноважує момент сил Ампера, повертання припиняється, а стрілка залишається відхиленою. Чим більша сила струму в рамці, тим на більший кут відхилиться стрілка і тим більшим буде показ приладу.

Електровимірювальні прилади, принцип дії яких ми розглянули, належать до *аналогових*. Такі прилади стали першим кроком у розвитку вимірювальної техніки. У сучасних лабораторіях і побуті їх дедалі частіше замінюють *цифрові прилади*, які не потребують шкали — результат одразу з'являється у вигляді числа на екрані.

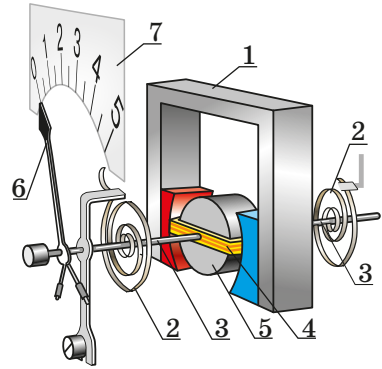


Рис. 15.5. Схема вимірювального механізму приладів магніто-електричної системи:

1 — постійний нерухомий магніт; 2 — спіральні пружини, які одночасно слугують для підведення струму до рамки; 3 — півосі; 4 — рамка, яку жорстко закріплено на півосях; 5 — нерухоме осердя; 6 — стрілка; 7 — шкала



ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ





КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Чому рамка зі струмом повертається в магнітному полі? чому зупиняється? 2. Які основні частини електродвигуна? Яка із частин «відповідає» за безперервне обертання ротора електродвигуна? 3. Що являє собою статор електродвигуна? 4. Назвіть переваги електричних двигунів порівняно з тепловими. 5. Опишіть будову та принцип дії вимірювальних приладів магнітоелектричної системи.

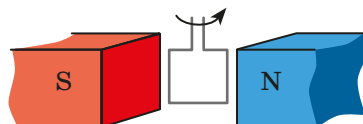


ВПРАВА № 15

1. Назвіть 5 пристроїв, до складу яких входить електродвигун.
2. Установіть відповідність між складником електричного двигуна (1–4) та його функцією (А–Д).

- | | |
|------------|---|
| 1 Статор | А Обертається, перетворюючи електричну |
| 2 Колектор | енергію на механічну |
| 3 Ротор | Б Підводять напругу до рухомої частини двигуна |
| 4 Щітки | В Створює магнітне поле, у якому обертається рухома частина двигуна |
| | Г Показує напрямок струму в обмотці |
| | Д Забезпечує періодичну зміну напрямку струму в обмотці |

3. На рисунку зображено рамку зі струмом, яка повертається в магнітному полі постійного магніту. Визначте напрямок струму в рамці.



4. Чи зміниться напрямок руху рамки (див. рис. 15.1) у разі зміни полюсів магніту? Якщо зміниться, то як? Відповідь обґрунтуйте.

5. На затискачах вимірювальних приладів магнітоелектричної системи зазначено полярність («+» і «-»). Що буде, якщо, вмикаючи прилад, не дотриматися полярності?

6. Електричний самокат живиться від акумуляторної батареї 36 В. Визначте силу струму, який тече в обмотці його двигуна, якщо час розгону до швидкості 18 км/год становить 5 с. Маса людини разом із самокатом дорівнює 60 кг. Втратами енергії знехтуйте.

7. У саморобному пристрої, який пропонувалося виготовити на початку параграфа, колектор відсутній. Чому рамка не зупиняється кожну чверть оберту, а продовжує обертання в одному напрямку?

8. Електричні двигуни мають низку переваг перед тепловими. Чому тоді людство масово не відмовляється від застосування теплових двигунів?



ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

Розгляньте будову електричного двигуна, вийнятого з іграшки. Приєднайте двигун до батареї гальванічних елементів і зверніть увагу на напрямок обертання ротора. Як можна змінити напрямок обертання ротора на протилежний? Перевірте своє припущення.



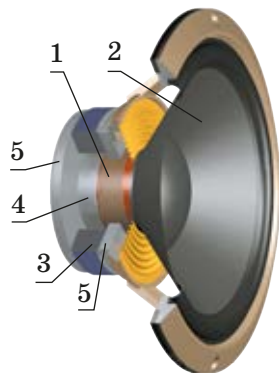
TOP SKILLS: РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

Прочитайте текст.

У колонках, навушниках, телефонах є пристрій, який перетворює електричний сигнал на чутний звук. Це **електродинамічний гучномовець**, або **динамік** (див. рисунок). Його «серце» — звукова котушка (1), до якої прикріплений легкий дифузор (2).

Магнітна система динаміка складається з постійного кільцевого магніту (3), сталевго осердя (керна) (4) і двох сталевих дисків — фланців (5). Вона створює сильне магнітне поле, лінії індукції якого напрямлені перпендикулярно до витків котушки.

Коли котушкою проходить електричний струм, на її витки діють сили Ампера, і котушка починає рухатись уздовж керна. Коли сила струму в котушці змінюється, так само змінюються й сили Ампера, і котушка то сильніше, то слабше втягується в проміжок між керном і верхнім фланцем (коливається в такт зміни сили струму). Разом із котушкою коливається дифузор, який «штовхає» повітря, створюючи звукову хвилю, — гучномовець випромінює звук.



Дайте відповіді на запитання.

- За рисунком і текстом визначте, яка частина гучномовця коливається, створюючи звук.

А Магнітна система

В Дифузор

Б Котушка зі струмом

Г Сталевий керна

- Поясніть, як зміна сили струму в котушці впливає на рух дифузора. У відповіді використайте поняття «сили Ампера», «коливання».
- Обґрунтуйте, чому коливання дифузора відбуваються саме в напрямку вперед-назад, а не вбік.
- Які зміни в роботі гучномовця спостерігатимуться, якщо: а) прибрати постійний магніт; б) шматочок заліза випадково потрапить між котушкою та магнітом?

Ключові терміни

Електричний двигун • Ротор • Статор • Колектор • Гучномовець



rnk.com.ua/
114226

§ 16. ЯВИЩЕ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ІНДУКЦІЇ. ПРОМИСЛОВІ ДЖЕРЕЛА ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ



ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Коли в мережі зникає електрика, на допомогу приходять генератори — і світло з'являється знову. Але як генератор «створює» електрику? Звідки береться струм, якщо відомо, що всередині генератора є магніт та обертова рамка з великою кількістю витків? Обговоріть у парах, які явища, на вашу думку, можуть зумовлювати виникнення струму, а потім перевірте свої припущення, опрацювавши цей параграф.

1. Як отримати електричний струм за допомогою магніту?

Візьмемо котушку, замкнемо її на гальванометр і будемо вводити в котушку постійний магніт. Під час руху магніту стрілка гальванометра відхилиться — це свідчить про наявність електричного струму (рис. 16.1, *а*). Що швидше рухати магніт, то більшою буде сила струму; якщо рух магніту припинити, припиниться й струм — стрілка повернеться на нульову позначку (рис. 16.1, *б*). Виймаючи магніт із котушки, бачимо, що стрілка гальванометра відхиляється в інший бік (рис. 16.1, *в*), а після припинення руху магніту знову повертається на нульову позначку.

Якщо залишити магніт нерухомим, а рухати котушку (або наближаючи її до магніту, або віддаляючи від нього, або повертаючи поблизу полюса магніту), то також спостерігатимемо відхилення стрілки гальванометра.

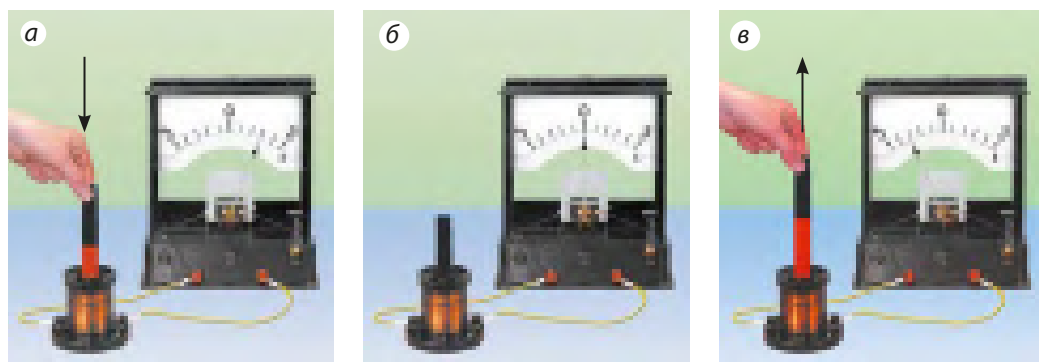


Рис. 16.1. Виникнення струму в котушці фіксується гальванометром: *а* — якщо магніт вводили в котушку, стрілка гальванометра відхиляється праворуч; *б* — якщо магніт нерухомий, струм не виникає і стрілка не відхиляється; *в* — якщо виводили магніт із котушки, стрілка гальванометра відхиляється ліворуч

Розглянуті досліди — це сучасний варіант тих, які протягом 10 років здійснював Майкл Фарадей і завдяки яким він дійшов висновку: *у замкненому провідному контурі виникає електричний струм, якщо кількість ліній магнітної індукції, що пронизують поверхню, обмежену контуром, змінюється.*

Це явище було названо **електромагнітною індукцією**, а електричний струм, який при цьому виникає, — **індукційним** (наведеним) **струмом** (рис. 16.2).

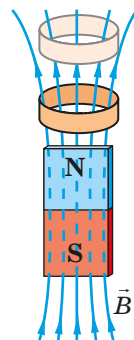


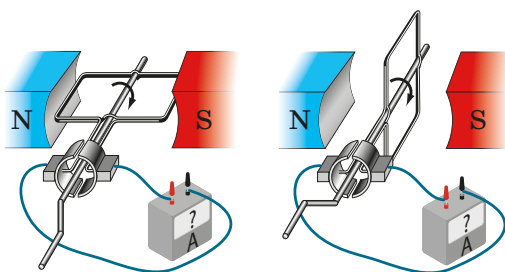
Рис. 16.2. Виникнення індукційного струму внаслідок зміни кількості ліній магнітної індукції, що пронизують контур (замкнений провідник будь-якої форми): контур наближають до магніту

Що, на вашу думку, є причиною виникнення індукційного струму? Перевірте свою гіпотезу, скориставшись QR-кодом або посиланням.



rnk.com.ua/
115300

Провідну рамку обертають у магнітному полі постійного магніту. Чи буде кількість ліній магнітної індукції, що пронизують рамку, однаковою в різних її положеннях? У якому положенні ця кількість є найбільшою? Чи можна очікувати появу індукційного струму під час обертання рамки? Поясніть відповідь.



Положення 1

Положення 2

2. Як генератор «створює» електрику?

На явищі електромагнітної індукції заснована робота **генераторів індукційного струму (ГІС)** — пристроїв, без яких неможлива сучасна електроенергетика. Щоб зрозуміти принцип їхньої дії, пригадаймо дослід із рамкою: якщо провідну рамку обертати в магнітному полі постійного магніту, кількість магнітних ліній, що її пронизують, постійно змінюється. Саме ця зміна й спричиняє появу індукційного струму, про що свідчить світіння лампи, під'єднаної до рамки (рис. 16.3).

Генератори бувають різних типів і розмірів, але основні складники їхньої конструкції є однаковими. Один складник — це

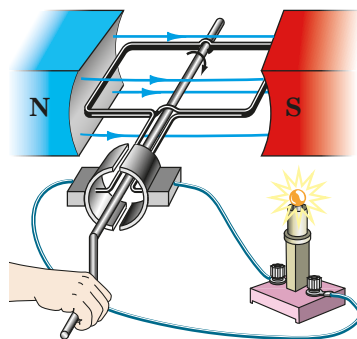


Рис. 16.3. Під час обертання рамки в магнітному полі в рамці виникає індукційний струм

Іноді можна почути, що за принципом дії генератор — це електричний двигун «навпаки». Як ви розумієте цей вислів?



Рис. 16.4. Побутовий генератор

постійний магніт або електромагніт, який створює магнітне поле, другий — обмотка, у якій індукується електричний струм. Проте лише цих складників недостатньо: кількість ліній магнітної індукції, що пронизують обмотку, має постійно змінюватись. Конструктивно цю умову легко виконати, якщо обертати один складник усередині другого.

Зрозуміло, що обертати рамку вручну протягом тривалого часу неможливо. Тому в реальних установках генератор індукційного струму поєднують з іншим пристроєм, здатним довго забезпечувати обертальний рух. Наприклад, так працюють побутові бензинові генератори (рис. 16.4): двигун внутрішнього згоряння обертає вал, а вал приводить у рух рухому частину генератора.

А ЯК НАСПРАВДІ?



У чаті до відео про гібридні автомобілі точилася жвава дискусія.

Tarasyk: Прочитав, що в гібридних авто електродвигун працює як гальма. Не розумію, чи це можливо?

Olena_k: Та ні, електродвигун допомагає машині розганятися!

Ivan_smart: Може, він вмикається для безпечного руху, коли дорога слизька? Хто, на вашу думку, має рацію?

3. Як працюють промислові джерела електричної енергії?

Основними частинами і побутового, і промислового генератора індукційного струму (рис. 16.5) є **статор** і **ротор**. На рис. 16.6 наведено схематичну будову генератора. *Статор* (нерухома частина) — порожнистий

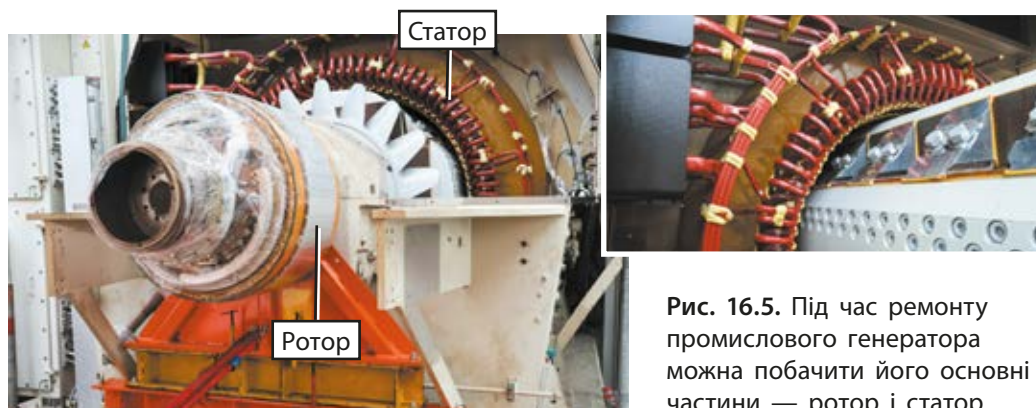


Рис. 16.5. Під час ремонту промислового генератора можна побачити його основні частини — ротор і статор

циліндр, на внутрішній поверхні якого розміщено товстий мідний ізольований дріт — *обмотка статора*. Усередині статора обертається *ротор* (рухома частина), який має власну обмотку.

До обмотки ротора подається напруга від джерела струму. Струм тече обмоткою ротора, створюючи навколо нього магнітне поле, яке пронизує обмотку статора.

У промислових джерелах електричної енергії обертання ротора може відбуватися завдяки енергії водяної пари, що швидко рухається (на теплових та атомних електростанціях), енергії водного потоку, що падає з висоти (на гідроелектростанціях), або енергії вітру (вітроелектростанції). У всіх цих випадках унаслідок швидкого обертання ротора кількість ліній магнітної індукції, що пронизують витки обмотки статора, змінюється — і в ній виникає індукційний електричний струм. Після низки перетворень цей струм подають до споживачів електричної енергії.

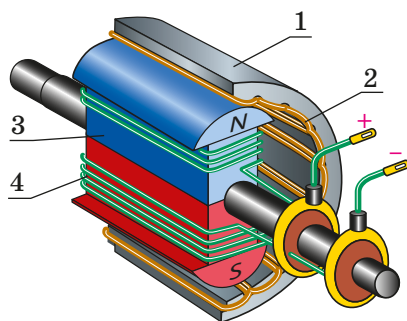


Рис. 16.6. Схематична будова генератора: 1 — статор; 2 — обмотка статора; 3 — ротор; 4 — обмотка ротора

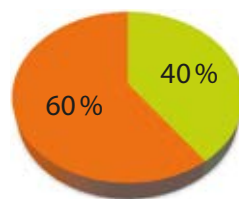
4. Чим відрізняються традиційні та альтернативні джерела енергії?

Електрична енергія потрібна нам щодня. Більшу її частину виробляють електростанції. Їхня робота неможлива без генератора, але власне генератор не створює струму — потрібен тривалий обертальний рух, який забезпечують додаткові механізми та джерела енергії.

Історично першими такими джерелами були викопні види палива: вугілля, нафта, природний газ. Ці джерела енергії називають *традиційними*. Пристрої, які перетворюють енергію палива на механічну енергію для обертання ротора генератора, — двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ) та парові турбіни — ви вивчали у 8 класі. Сьогодні традиційні джерела забезпечують приблизно 60 % світового виробництва електроенергії (рис. 16.7). А що забезпечує решту 40 %? Джерела енергії, які називають *альтернативними*, оскільки вони не потребують використання викопного палива. До них належать Сонце, вітер, вода річок і океанів, біомаса тощо.

На альтернативних електростанціях обертання роторів генераторів можуть

Джерела енергії



- | | |
|-----------------|-----------------|
| ■ Традиційні | ■ Альтернативні |
| – вугілля | – Сонце |
| – нафта | – вітер |
| – природний газ | – річки |
| – інші | – інші |

Рис. 16.7. Частки традиційних і альтернативних джерел у світовому виробництві електроенергії

Назвіть 5 альтернативних джерел електричної енергії.



забезпечувати вітрові та гідротурбіни. Існують також способи безпосереднього перетворення сонячної енергії на електричну, наприклад за допомогою сонячних панелей на сонячних електростанціях.

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...



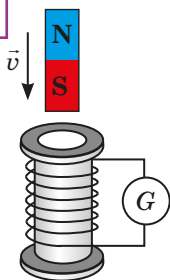
Традиційні джерела електричної енергії мають суттєві недоліки: невисокий ККД, який майже неможливо істотно підвищити; значні викиди парникових газів, що спричиняють зміну клімату; повна залежність від викопного палива, запаси якого невпинно скорочуються. Саме тому світ дедалі активніше переходить до **відновлюваних** джерел енергії.

Сонячна енергія надходитиме ще мільярди років, тому сонячні панелі належать і до альтернативних, і до відновлюваних джерел. Біопаливо можна отримувати щороку, наприклад, із рослинних решток, тож електростанції на біопаливі також є відновлюваними.

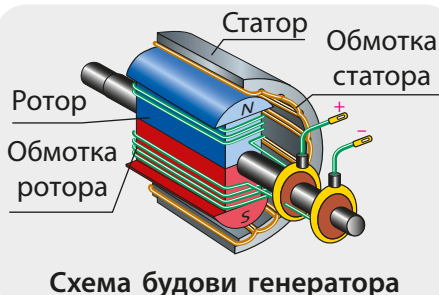
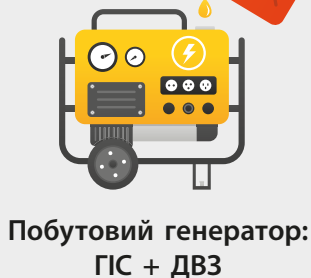
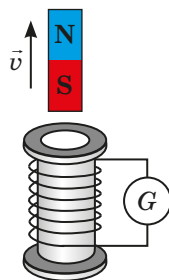
Розвиток відновлюваної енергетики — одна із 17 цілей сталого розвитку, запропонованих ООН: до 2030 р. суттєво збільшити частку відновлюваної енергії у світовому балансі та забезпечити людям надійну й доступну електроенергію.

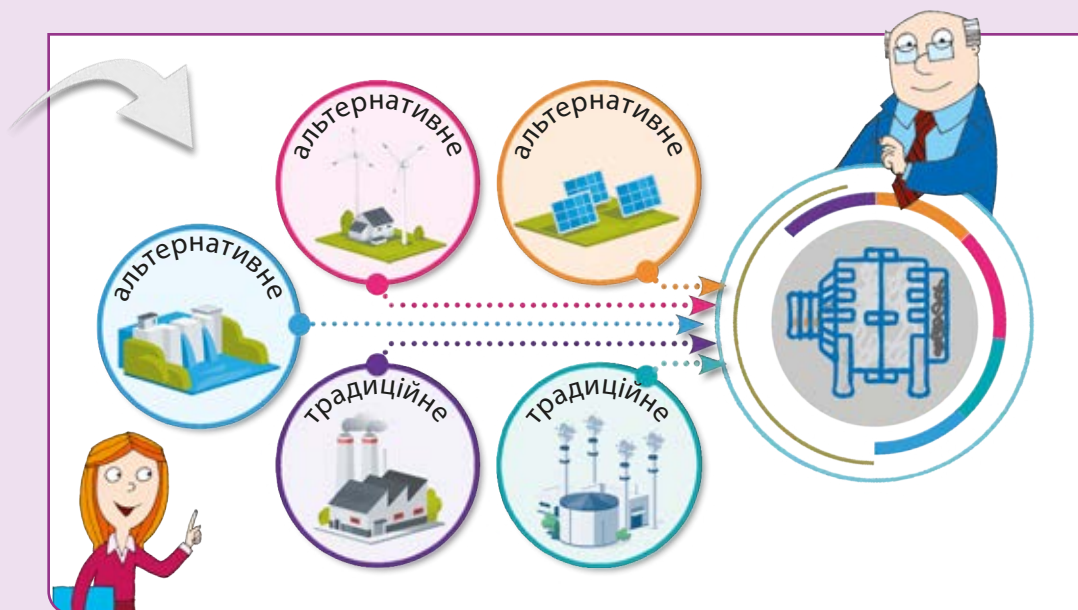


ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ



Електромагнітна індукція
У замкнутому провідному контурі в разі зміни кількості ліній магнітної індукції, що пронизують контур, виникає електричний індукційний струм.





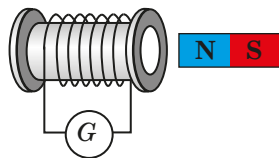
КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Опишіть досліди М. Фарадея.
2. У чому полягає явище електромагнітної індукції?
3. Який струм називають індукційним?
4. Робота яких пристроїв ґрунтується на явищі електромагнітної індукції? Які перетворення енергії в них відбуваються?
5. Поясніть, чому під час обертання рамки (див. рис. 16.3) лампа світиться.
6. Опишіть будову та принцип дії генераторів індукційного струму.
7. Як працюють промислові джерела електричної енергії?
8. Чим відрізняються традиційні, альтернативні та відновлювані джерела енергії?



ВПРАВА № 16

1. Нерухомі котушка й магніт розташовані так, як показано на рисунку. У якому випадку гальванометр зареєструє появу струму? Виберіть усі правильні відповіді.



- А Котушка рухається назустріч магніту
- Б Магніт віддаляється від котушки
- В Магніт наближається до котушки
- Г Котушка й магніт нерухомі відносно одне одного

2. Провідна рамка обертається в магнітному полі постійного магніту. Який кут має утворювати площина рамки з лініями магнітної індукції, щоб кількість ліній, які пронизують рамку, дорівнювала нулю? Виберіть усі правильні відповіді.

- А 0°
- Б 180°
- В 45°
- Г 90°

3. Назвіть основні складники генератора індукційного струму. Яке призначення має кожний складник?
4. Чи згодні ви з висловом «генератор створює електрику»? Обґрунтуйте свою відповідь.
5. Порівняйте бензинові генератори та промислові джерела електричної енергії. Що спільного вони мають і чим відрізняються? Які перетворення енергії в них відбуваються?
6. Поясніть, чому промислові генератори неможливо обертати вручну, навіть якщо люди робитимуть це по черзі.
7. В одній з областей України виробництво електроенергії відбувається на теплових і вітрових електростанціях. Складіть у вигляді таблиці перелік переваг і недоліків для кожного типу електростанцій.
8. Уявіть, що вас призначили відповідальними від Програми сталого розвитку ООН із питання збільшення виробництва електроенергії в регіоні, де ви живете. Скориставшись додатковими джерелами інформації, запропонуйте план розвитку електроенергетики у вашому регіоні. Обґрунтуйте кожний пункт плану.



TOP SKILLS: РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

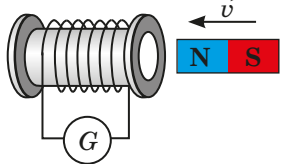
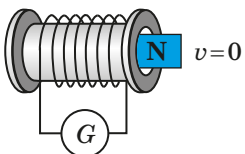
Прочитайте текст.

У таблиці подано опис результатів дослідів для визначення напрямку індукційного струму в котушці, до якої наближають або від якої віддаляють магніт.

Результат дослідів	Обґрунтування	Пояснювальний рисунок
Якщо магніт наближають до котушки, то котушка відштовхується від магніту.	Кількість ліній магнітної індукції, що пронизують котушку, збільшується; у котушці виникає індукційний струм такого напрямку, що котушка буде обернена до магніту однойменним полюсом.	
Якщо магніт віддаляють від котушки, то котушка притягується до магніту.	Кількість ліній магнітної індукції, що пронизують котушку, зменшується; у котушці виникає індукційний струм такого напрямку, що котушка буде обернена до магніту різнойменним полюсом.	

Дайте відповіді на запитання.

1. Як має рухатися магніт відносно котушки, щоб кількість ліній магнітної індукції, що пронизують котушку, збільшувалась?
2. Як котушка взаємодіє з магнітом, коли він віддаляється від неї?
3. Доповніть таблицю.

Результат дослідів	Обґрунтування	Пояснювальний рисунок
	Кількість ліній магнітної індукції, що пронизують котушку, _____; у котушці виникає _____	
Якщо магніт нерухомий, то котушка не взаємодіє з магнітом.		

4. На рис. 1 зображено пристрій, який складається з двох алюмінієвих кілець (суцільного та розрізаного), закріплених на алюмінієвому коромислі, що має змогу легко обертатися навколо вертикальної осі.

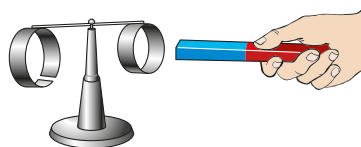


Рис. 1

- 1) Як поводитиметься суцільне кільце пристрою, якщо:
 - а) підносити до нього магніт? б) відсувати від нього магніт?
- 2) Як буде напрямлений індукційний струм у суцільному кільці в кожному випадку (див. п. 1)?
- 3) Що відбуватиметься, якщо магніт підносити до розрізаного алюмінієвого кільця?
5. Котушка й алюмінієве кільце розміщені на спільному осердді (рис. 2). Визначте напрямок індукційного струму в кільці, якщо ключ замкнути. Як поводитиметься кільце в момент замикання ключа?

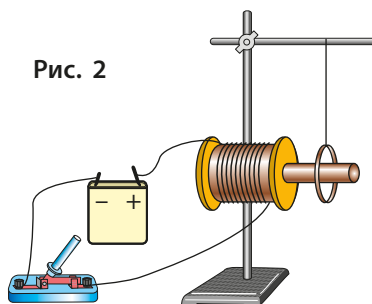


Рис. 2

Ключові терміни

Електромагнітна індукція • Індукційний струм • Генератор індукційного струму • Альтернативні та відновлювані джерела енергії



rnk.com.ua/
113036

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

Тема. Спостереження явища електромагнітної індукції.

Мета: дослідити умови виникнення індукційного струму в котушці; з'ясувати чинники, від яких залежать сила та напрямок індукційного струму.

Обладнання: гальванометр; два штабові або два підковоподібні магніти; дрітjana котушка-моток на каркасі; з'єднувальні проводи; маркер.

ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ

Підготовка до експерименту

1. Перед виконанням роботи згадайте вимоги безпеки під час роботи з електричними колами.
2. На одному торці котушки поставте маркером мітку.

Дотримуйтесь інструкції з безпеки.

Експеримент 1

З'ясування умов виникнення індукційного струму в замкненому провіднику та чинників, від яких залежить напрямок індукційного струму

Приєднайте котушку до гальванометра. Утримуючи котушку та магніт у руках (див. рисунок), послідовно виконайте дослід, зазначені в табл. 1. Заповніть табл. 1.

Зверніть увагу! Магніт необхідно вводити в котушку та виводити з неї тільки з боку того торця котушки, на якому поставлено мітку.



Таблиця 1

Номер досліду	Дії з магнітом і котушкою	Як поводить ся стрілка гальванометра (відхиляється ліворуч, праворуч, не відхиляється)
1	2	3
1	Вводимо магніт у котушку північним полюсом	
2	Залишаємо магніт нерухомим	
3	Виводимо магніт із котушки	
4	Вводимо магніт у котушку південним полюсом	
5	Залишаємо магніт нерухомим	
6	Виводимо магніт із котушки	

1	2	3
7	Наближаємо котушку до південного полюса магніту	
8	Наближаємо котушку до північного полюса магніту	

Аналіз результатів експерименту 1

Проаналізуйте табл. 1 і сформулюйте висновок, у якому зазначте: 1) за яких умов у замкненій котушці виникає індукційний струм; 2) як змінюється напрямок індукційного струму в разі зміни напрямку руху магніту; 3) як змінюється напрямок індукційного струму в разі зміни полюса магніту, який наближається до котушки.

Експеримент 2

З'ясування чинників, від яких залежить значення індукційного струму

Послідовно виконайте дослід, зазначені в табл. 2. Щоразу знімайте покази гальванометра та заносьте їх до табл. 2.

Таблиця 2

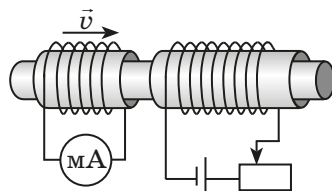
Номер дослід	Дії з магнітом і котушкою	Сила струму I , мА
1	Швидко вводимо магніт у котушку	
2	Повільно вводимо магніт у котушку	
3	Швидко вводимо в котушку два магніти, складені однойменними полюсами	
4	Повільно вводимо в котушку два магніти, складені однойменними полюсами	

Аналіз результатів експерименту 2

Проаналізуйте табл. 2 і сформулюйте висновок, у якому зазначте: 1) як залежить сила індукційного струму від швидкості відносного руху магніту й котушки; 2) як залежить сила індукційного струму від значення магнітної індукції зовнішнього магнітного поля, зміна якого спричиняє появу струму в котушці.

Творче завдання

Продумайте й запишіть план проведення експериментів із дослідження умов виникнення індукційного струму в замкненій котушці для випадків, коли дві котушки надіто на спільне осердя (див. рисунок). За можливості проведіть експерименти. Сформулюйте висновок.



ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ РОЗДІЛУ 2



rnk.com.ua/
115312

1. Ви дізналися, що спочатку людина дізналася про *постійні магніти* та почала їх використовувати; значно пізніше було створено *електромагніти*, які набули широкого застосування.



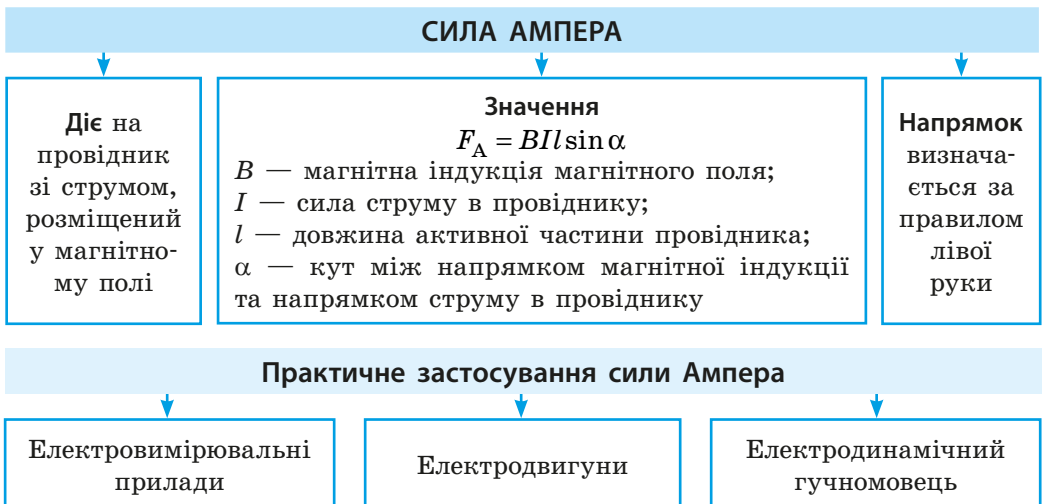
2. Ви з'ясували, що *навколо намагніченого тіла, рухомої зарядженої частинки та провідника зі струмом існує магнітне поле*.



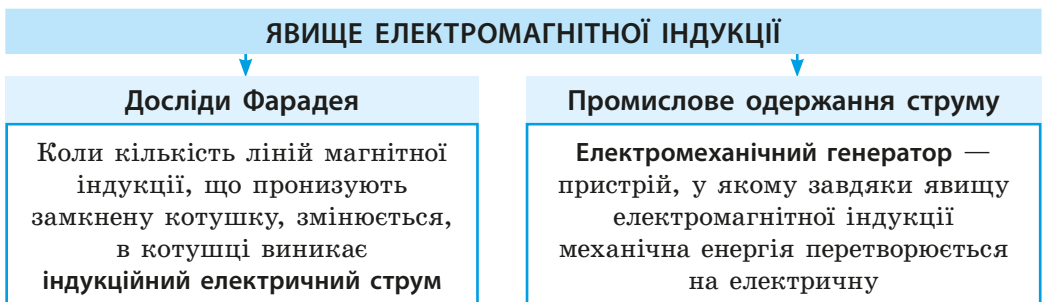
3. Ви дізналися, що в магнітному полі всі речовини намагнічуються, але по-різному.



4. Ви з'ясували, що на провідник зі струмом, розміщений у магнітному полі, діє певна сила, — *сила Ампера*.



5. Ви ознайомилися з дослідом М. Фарадея та явищем електромагнітної індукції.



ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМООЦІНЮВАННЯ ДО РОЗДІЛУ 2



rnk.com.ua/
114227

Група результатів 1. Проводимо дослідження природи

- (2 бали) Виберіть усі правильні відповіді. Яке обладнання із запропонованого переліку ви доберете для виготовлення електромагніту?
А Мідний дріт В Батарейка Е Алюмінієва фольга
Б Ізольований Г Міцні нитки Є Пластикова пляшка
мідний провід Д Залізний цвях Ж Ножиці
- (2 бали) Чи відхилиться магнітна стрілка від напрямку «північ — південь», якщо до неї піднести залізний брусок? мідний брусок?
- (2 бали) Уявіть, що вас попросили створити магнітний лак для нігтів. Складіть орієнтовний план, за яким ви діятимете.
- (3 бали) На рис. 1 зображено дослід, метою якого є вивчення певного фізичного явища.
 - 1) Яке це явище? У чому полягає його зміст?
 - 2) Що необхідно зробити, щоб стрілка приладу відхилилася в інший від нуля бік? показала більше значення? зупинилася на нульовій позначці?
 - 3) Дія яких пристроїв ґрунтується на цьому явищі?
 - 4) Як часто ви зустрічаєтеся з практичним застосуванням цього явища?
- (3 бали) На рис. 2 зображено рамку зі струмом, що повертається в магнітному полі постійного магніту. Дія яких приладів ґрунтується на цьому явищі? Визначте полюси джерела струму, до якого під'єднано рамку.

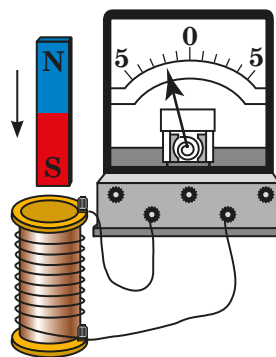


Рис. 1

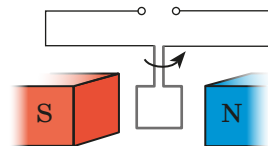


Рис. 2

Група результатів 2. Здійснюємо пошук та опрацьовуємо інформацію

- (2 бали) Розподіліть пристрої на дві групи: **група А** — пристрої, функціонування яких ґрунтується на дії сили Ампера; **група Б** — пристрої, які працюють завдяки явищу електромагнітної індукції.
 - 1) Електродвигун;
 - 2) генератор індукційного струму;
 - 3) динамік;
 - 4) амперметр.
- (5 балів) Прочитайте текст і дайте відповіді на запитання.

Мікрофон — це пристрій, призначений для перетворення звукових коливань в електричні. Розгляньмо, як працює *електродинамічний мікрофон*. Звукова хвиля чинить на мембрану змінний тиск, змушуючи її здійснювати коливання (рис. 3). Ці коливання передаються котушці, що перебуває в магнітному полі постійного магніту. Завдяки явищу електромагнітної індукції в котушці виникає електричний струм, що змінюється зі звуковою частотою.

- 1) На якому явищі ґрунтується дія електродинамічного мікрофона?
- 2) Які складники цього пристрою під час роботи створюють магнітне поле?
- 3) Які перетворення енергії відбуваються в пристрої?
- 4) Чому електродинамічний мікрофон називають динаміком «навпаки»?

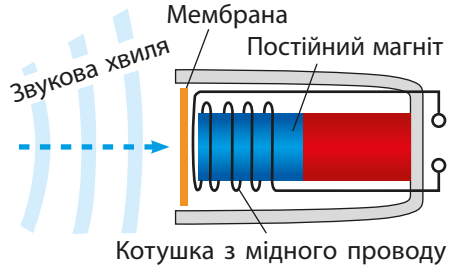
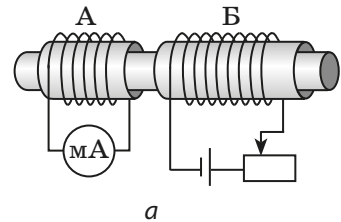
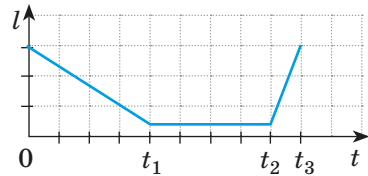


Рис. 3

8. (5 балів) Дві котушки наділи на спільне осердя (рис. 4, а). Протягом експерименту котушку А переміщують уздовж осердя. На рис. 4, б подано графік залежності $I(t)$ відстані між котушками від часу руху.



а



б

Рис. 4

- 1) Що відбувалося з котушкою А в інтервалі часу від 0 до t_3 ?
- 2) Виберіть усі інтервали часу, протягом яких у котушці А існував електричний струм.
 А Від 0 до t_1 В Від t_2 до t_3
 Б Від t_1 до t_2
- 3) У який інтервал часу покази міліамперметра були найбільшими? Відповідь обґрунтуйте.

Група результатів 3. Усвідомлюємо закономірності природи

9. (2 бали) Постійний штабовий магніт занурили в коробку зі скріпками для степлера. Як розташуються скріпки після того, як магніт обережно витягнуть із коробки?
 - А Усі скріпки рівномірно розподіляться по всій поверхні магніту, щільно вкриваючи його з усіх боків
 - Б Скріпки залишаться в коробці, бо магніт притягує лише окремі металеві предмети, а не групу одночасно
 - В Скріпки утворюють ланцюжки, підвішені до магніту в певних місцях
 - Г Скріпки підстрибнуть і розлетяться навколо — магніт відштовхує їх під час руху
10. (2 бали) Прямолінійний провідник завдовжки 0,6 м розташований в однорідному магнітному полі індукцією 1,2 мТл під кутом 30° до ліній індукції магнітного поля. Визначте силу Ампера, що діє на провідник, якщо сила струму в ньому 5 А.
 А 1,8 мН Б 2,5 мН В 3,6 мН Г 10 мН

11. (2 бали) Магнітна стрілка встановилася в магнітному полі котушки зі струмом (рис. 5). Визначте полюси котушки, напрямок струму в ній і полюси джерела струму.

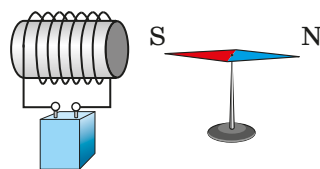


Рис. 5

12. (3 бали) Провідник зі струмом відхиляється в магнітному полі підковоподібного магніту (рис. 6). Визначте полюси магніту.

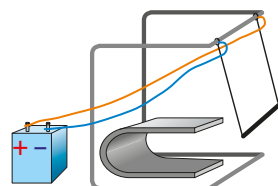


Рис. 6

13. (3 бали) Сталевий стрижень завдовжки 40 см і масою 50 г лежить перпендикулярно до горизонтальних рейок (рис. 7). Уздовж рейок напрямлене однорідне магнітне поле індукцією 0,25 Тл. У стрижні пропускають електричний струм силою 2 А. З якою силою стрижень тисне на рейки?

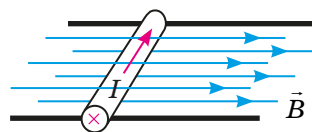


Рис. 7

Зверте ваші відповіді з наведеними в кінці підручника й оцініть свої результати навчання за кожною групою. Поміркуйте, що вдалося найкраще, над чим треба ще попрацювати. Продовжуйте відкривати для себе світ фізики!

ТЕМИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Вивчення властивостей постійних магнітів.
2. Вимірювання магнітної індукції магнітного поля котушки зі струмом; магнітного поля підковоподібного магніту.
3. Дослідження явища електромагнітної індукції.
4. Дослідження властивостей магнітної рідини.

ТЕМИ НАВЧАЛЬНИХ ПРОЄКТІВ

1. Конструювання моделі електромагнітного підіймача.
2. Виготовлення електричного дзвінка.
3. Розробка STEM-набору «Магнітні та електромагнітні явища» для 5–6 класів.
4. Створення навчального відео за темою «Як працює...» (електромагніт, електродвигун, динамік, генератор тощо).
5. Геомагнітне поле Землі.
6. Магнітні бурі та їхній вплив на здоров'я людини.
7. Розробка моделі електродвигуна.
8. Виготовлення генератора електричного струму.
9. Генератор і двигун: як подібні пристрої працюють навпаки.

Під час роботи над навчальними проєктами радимо ознайомитися з деякими порадами щодо їх створення і презентації в інтерактивному електронному додатку.



mnk.com.ua/
114218

РОЗДІЛ 3

**ФІЗИЧНА
БАЗА:
ЩО ВЖЕ
ЗНАЄМО**



rnk.com.ua/
114620

Підготуйтеся
до опанування
нової теми



МЕХАНІЧНІ ТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ХВИЛІ

Ви знаєте, що людина
сприймає навколишній
світ здебільшого
завдяки світловим
і звуковим явищам.
А тепер дізнаєтеся,
що спільного у світла
та звуку



Усі ви вмієте користуватися
мобільним телефоном,
а тепер дізнаєтеся, як працює
стільниковий зв'язок

Ви неодноразово
чули відлуння, а тепер
дізнаєтеся, як воно
допомагає виміряти
глибину океану



rnk.com.ua/
114228

§ 17. ВИНИКНЕННЯ ТА ПОШИРЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ХВИЛЬ

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. У курсі фізики 7 класу ви вивчали механічні коливання. Часто буває так, що, виникнувши в одному місці, коливання поширюються в сусідні ділянки простору. У таких випадках говорять про хвильовий рух — *хвилі*. Напевно, ви кидали у воду камінці. Згадайте, як від місця падіння камінця в усі боки поширюються хвилі. Що, на вашу думку, при цьому відбувається? Чи відрізняється хвильовий рух від звичайного механічного руху? А чи можете ви навести ще приклади механічних хвиль?

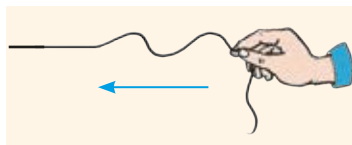


Рис. 17.1. Поширення хвилі мотузкою. Стрілкою показано напрямок поширення хвилі

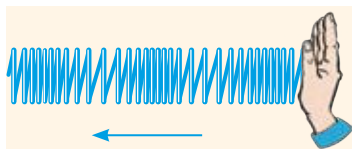


Рис. 17.2. Поширення хвилі пружиною. Стрілкою показано напрямок поширення хвилі

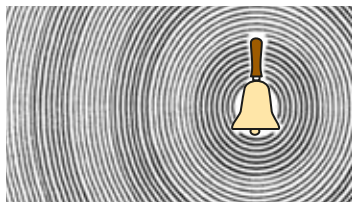


Рис. 17.3. Коливання тіла, яке звучить, є причиною почергових згущень і розріджень середовища, — середовищем поширюється звукова хвиля

1. Як створити механічну хвилю?

Візьмемо довгу мотузку, один кінець якої прикріпимо до вертикальної поверхні, а другий будемо рухати вниз-вгору (коливати). Коливання від руки поширюватимуться мотузкою, поступово залучаючи до коливального руху дедалі віддаленіші точки, — мотузкою побіжить *механічна хвиля* (рис. 17.1).

Механічною хвилею називають поширення коливань у пружному середовищі*.

Розглянемо ще один приклад. Закріпимо горизонтально довгу м'яку пружину та здійснимо по її вільному кінцю серію послідовних ударів — пружиною побіжить хвиля, яка складатиметься зі згущень і розріджень витків пружини (рис. 17.2).

Описані вище хвилі можна побачити, проте більшість механічних хвиль є невидимими, наприклад звукові хвилі (рис. 17.3).

На перший погляд, усі механічні хвилі зовсім різні, але причини їх виникнення та поширення однакові. Почнімо розбиратися.

* Середовище називають *пружним*, якщо під час його деформації виникають сили, які протидіють цій деформації, — *сили пружності*.

2. Як і чому в середовищі поширюється механічна хвиля?

Будь-яка механічна хвиля створюється тілом, що коливається, — *джерелом хвилі*.

Здійснюючи коливальний рух, джерело хвилі *деформує* прилеглі до нього шари середовища (стискає та розтягує їх або зсуває). У результаті виникають *сили пружності*, які діють на сусідні шари середовища та спонукають їх здійснювати *коливання*. Ці шари, зі свого боку, деформують наступні шари та змушують їх коливатися. Поступово, один за одним, усі шари середовища долучаються до коливального руху — середовищем поширюється механічна хвиля.

3. Чим відрізняються поперечні та поздовжні механічні хвилі?

Якщо порівняти поширення хвилі мотузкою (див. [рис. 17.1](#)) і пружиною (див. [рис. 17.2](#)), можна побачити певну різницю.

Окремі частини мотузки *рухаються* (коливаються) *перпендикулярно до напрямку поширення хвилі* (на [рис. 17.1](#) хвиля поширюється справа наліво, а частини мотузки рухаються вниз-вгору). Такі хвилі називають **поперечними** ([рис. 17.4](#)).

У ході поширення поперечних хвиль відбувається *зсув* одних шарів середовища відносно інших. *Деформація зсуву супроводжується виникненням сил пружності лише у твердих тілах*, тому поперечні хвилі не можуть поширюватися в рідинах і газах. Отже, *поперечні хвилі поширюються тільки у твердих тілах*.

Під час поширення хвилі пружиною окремі витки пружини *коливаються вздовж напрямку поширення хвилі*. Такі хвилі називають **поздовжніми** ([рис. 17.5](#)).

У ході поширення поздовжніх хвиль у середовищі відбуваються *деформації стиснення та розтягнення* (уздовж напрямку поширення хвилі густина середовища по черговому то збільшується, то зменшується). Такі деформації *в будь-якому середовищі супроводжуються виникненням сил пружності*. Тому *поздовжні хвилі поширюються і у твердих тілах, і в рідинах, і в газах*.

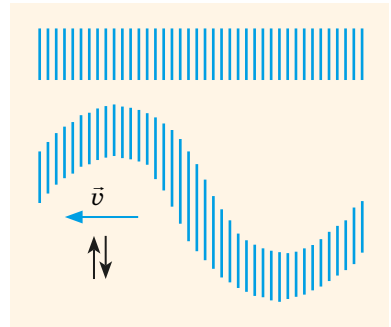


Рис. 17.4. У поперечній хвилі шари середовища коливаються перпендикулярно до напрямку поширення хвилі

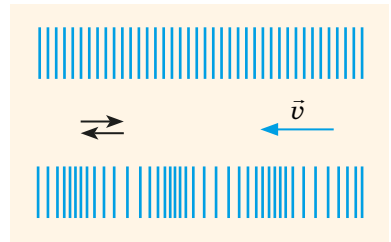


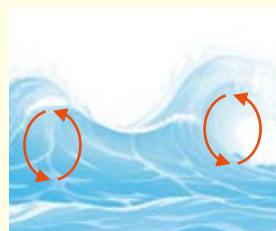
Рис. 17.5. У поздовжній хвилі шари середовища коливаються вздовж напрямку поширення хвилі

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...



Хвилі на поверхні рідини не є ані поздовжніми, ані поперечними. Вони мають складний *поздовжньо-поперечний характер*.

Частини рідини в таких хвилях рухаються по траєкторіях, що нагадують еліпси. У цьому легко переконатися, якщо постежити за рухом легкої тріски на поверхні води, де поширюється хвиля.



4. Які основні властивості хвиль?

1. Коливальний рух від однієї точки середовища до іншої передається не миттєво, а з певним запізненням, тому *хвилі поширюються в середовищі зі скінченною швидкістю*.

2. Джерелом механічних хвиль завжди є тіло, що коливається, при цьому *частота коливань кожної частини середовища дорівнює частоті коливань джерела хвилі*.

3. *Механічні хвилі не можуть поширюватись у вакуумі*.

4. *Хвильовий рух не супроводжується перенесенням речовини* — частини середовища лише коливаються відносно положень рівноваги.

5. Із приходом хвилі частини середовища починають рухатися (набувають кінетичної енергії). Це означає, що *під час поширення хвилі відбувається перенесення енергії*.

Перенесення енергії без перенесення речовини є найважливішою властивістю будь-якої хвилі.



Згадайте поширення хвиль на поверхні води. Які спостереження підтверджують основні властивості хвильового руху?



ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...



Енергію хвиль можна використовувати для роботи електростанцій. Існують різні за конструкцією *хвильові електростанції*. Наприклад, такі: 1) хвилі, набігаючи на берег, заповнюють бетонну споруду («штучний атол»), а потім, повертаючись в океан, обертають турбіну генератора; 2) поплавков (коливне тіло) змушує обертатися турбіну, піднімаючись і опускаючись на хвилях; 3) турбіни обертаються завдяки повітрю, яке виштовхується з порожньої камери, коли крізь неї проходить хвиля.

На цей час хвильові електростанції виробляють незначний відсоток світової електроенергії, разом із тим розрахунки свідчать, що Світовий океан може задовольнити значну частину потреб людства в енергії.

5. Згадуємо фізичні величини, які характеризують коливання

Хвиля — це поширення *коливань*. Тому фізичні величини, які характеризують коливання (*частота, період, амплітуда*), також характеризують і хвилю. Отже, згадаємо матеріал 7 класу.

	Фізичні величини, які характеризують коливання		
	Частота коливань ν	Період коливань T	Амплітуда коливань A
Означення	кількість коливань за одиницю часу	час одного коливання	максимальна відстань, на яку відхиляється точка від положення рівноваги
Формула для визначення	$\nu = \frac{N}{t}$ N — кількість коливань за час t	$T = \frac{t}{N}$	—
Одиниця в СІ	герц (1 Гц = 1 с ⁻¹)	секунда (с)	метр (м)

Зверніть увагу! Під час поширення механічної хвилі всі частини середовища, у якому поширюється хвиля, коливаються з однаковою частотою (ν), що дорівнює частоті коливань джерела хвилі, тому період коливань (T) для всіх точок середовища теж є однаковим. А от амплітуда коливань поступово зменшується з віддаленням від джерела хвилі.

6. Як визначити довжину та швидкість поширення хвилі?

Згадайте поширення хвилі мотузкою. Нехай кінець мотузки здійснив одне коливання, тобто час поширення хвилі дорівнює одному періоду ($t = T$). За цей час хвиля, рухаючись із певною швидкістю v , пошириться на відстань λ (рис. 17.6, а). Цю відстань називають *довжиною хвилі*.

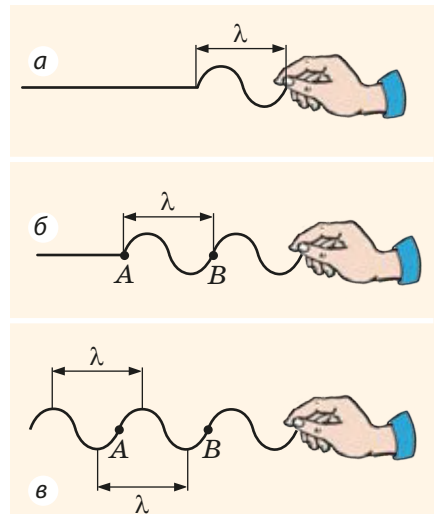


Рис. 17.6. Довжина хвилі дорівнює відстані, на яку поширюється хвиля за час одного коливання (тобто відстані між двома найближчими гребнями або між двома найближчими западинами)

Довжина хвилі λ — відстань, на яку поширюється хвиля за час, що дорівнює періоду T .

Одиниця довжини хвилі в СІ — метр:

$$[\lambda] = \text{м}.$$

Неважко помітити, що точки мотузки, які розташовані одна від одної на відстані однієї довжини хвилі, коливаються синхронно — мають однакову *фазу коливань* (рис. 17.6, б, в). Наприклад, точки А і В мотузки одночасно рухаються вгору, одночасно досягають гребеня хвилі, потім одночасно починають рухатися вниз і т. д.

Скориставшись формулою $\lambda = vT$ і врахувавши, що $\frac{1}{T} = \nu$, отримаємо формулу взаємозв'язку довжини, частоти й швидкості поширення хвилі — **формулу хвилі**:

$$v = \lambda \nu$$

Якщо хвиля переходить з одного середовища в інше, швидкість її поширення змінюється; частота хвилі визначається джерелом хвилі, тому залишається незмінною. Отже, відповідно до формули $v = \lambda \nu$ у разі переходу хвилі з одного середовища в інше довжина хвилі змінюється.

Формула хвилі

$$v = \lambda \nu$$

v — швидкість поширення хвилі;
 λ — довжина хвилі;
 ν — частота хвилі

ДОСЛІДЖЕННЯ

Що знадобиться: довга різдвяна гірлянда з намистин (3–4 м); шматок мішури; лінійка (або мірна стрічка); секундомір.

Прив'яжіть до середини гірлянди мішуру. Покладіть гірлянду на підлогу так, щоб вона утворювала пряму лінію. Один кінець гірлянди закріпіть. Вільний її кінець ледь притисніть до підлоги й почніть коливати вздовж підлоги перпендикулярно до лінії гірлянди. Спостерігайте поширення хвилі гірляндою. Звернувши увагу на те, як рухається мішура, зробіть висновок щодо того, яка це хвиля — поздовжня чи поперечна.

Виміряйте час 10 коливань і визначте частоту хвилі. Виміряйте відстань між найближчими гребенями хвилі — довжину хвилі. Визначте швидкість поширення хвилі. Поясніть, чому зі збільшенням відстані від точки коливань амплітуда хвилі зменшується.



7. Учимся розв'язувати задачі

■ **Задача.** Шнуром поширюється поперечна хвиля зі швидкістю 3 м/с. На рис. 1 показано положення шнура в певний момент часу та напрямок поширення хвилі. Скориставшись рисунком, визначте:

- 1) амплітуду, період, частоту й довжину хвилі;
- 2) напрямок, у якому в даний момент часу рухаються точки K , B і C шнура. ■

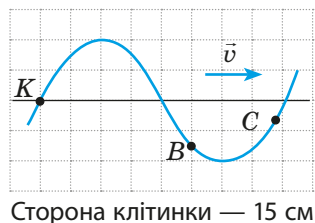


Рис. 1

Розв'язання

Хвиля є поперечною, тому точки шнура коливаються перпендикулярно до напрямку поширення хвилі (рухаються вниз-вгору біля певних положень рівноваги).

1) З рис. 1 бачимо, що максимальне відхилення від положення рівноваги (амплітуда A хвилі) дорівнює 2 клітинкам:

$$A = 2 \cdot 15 \text{ см} = 30 \text{ см}.$$

Відстань між гребенем і западиною — 60 см (4 клітинки), відповідно довжина хвилі (відстань між двома найближчими гребенями) удвічі більша: $\lambda = 2 \cdot 60 \text{ см} = 120 \text{ см} = 1,2 \text{ м}$.

Частоту ν і період T коливань знайдемо, скориставшись формулою хвилі:

$$v = \lambda \nu \Rightarrow \nu = \frac{v}{\lambda} = \frac{3 \text{ м/с}}{1,2 \text{ м}} = 2,5 \frac{1}{\text{с}} = 2,5 \text{ Гц};$$

$$T = \frac{1}{\nu} = \frac{1}{2,5} = 0,4 \text{ (с)}.$$

2) Для визначення напрямку руху точок шнура виконаємо додаткову побудову. Нехай за невеликий інтервал часу Δt хвиля змістилася на деяку невелику відстань. Оскільки хвиля зміщується вправо, а її форма із часом не змінюється, точки шнура займуть положення, які показано на рис. 2 пунктиром.

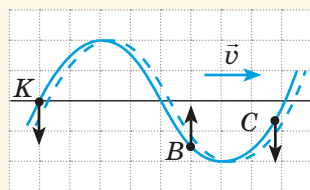


Рис. 2

Хвиля є поперечною, тобто точки шнура рухаються перпендикулярно до напрямку поширення хвилі. З рис. 2 бачимо, що точка K через інтервал часу Δt опиниться нижче від свого початкового положення, отже, швидкість її руху напрямлена вниз; точка B переміститься вище, отже, швидкість її руху напрямлена вгору; точка C переміститься нижче, отже, швидкість її руху напрямлена вниз.

Відповідь: $A = 30 \text{ см}$; $T = 0,4 \text{ с}$; $\nu = 2,5 \text{ Гц}$; $\lambda = 1,2 \text{ м}$; точки K і C рухаються вниз, точка B — вгору.



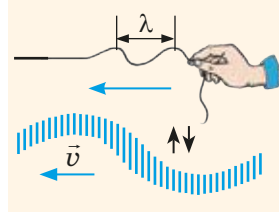
ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ



Механічна хвиля —
поширення коливань у пружному середовищі

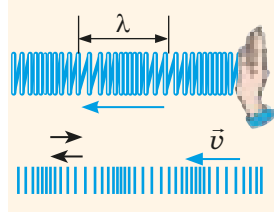
Основні види механічних хвиль

Поперечні



Частини середовища
коливаються
перпендикулярно
до напрямку
поширення хвилі

Поздовжні

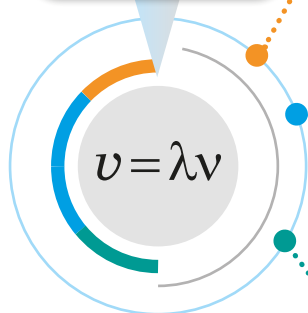


Частини середовища
коливаються
вздовж напрямку
поширення
хвилі

Основні властивості механічних хвиль

- ✓ Переносять енергію без перенесення речовини.
- ✓ Не можуть поширюватися у вакуумі.
- ✓ Під час переходу з одного середовища в інше змінюються довжина та швидкість поширення хвилі, частота хвилі залишається незмінною.

Формула хвилі



v

Швидкість поширення хвилі

λ

Довжина хвилі — відстань, на яку поширюється хвиля за час, що дорівнює періоду коливань (відстань між двома найближчими точками, які коливаються синхронно).

ν

Частота хвилі — кількість коливань джерела хвилі за одиницю часу.



КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Дайте означення механічної хвилі. 2. Опишіть механізм утворення та поширення механічної хвилі. 3. Назвіть основні властивості хвильового руху. 4. Які хвилі називають поздовжніми? поперечними? У яких середовищах вони поширюються? 5. Що таке довжина хвилі? Як її визначити? 6. Як пов'язані довжина, частота й швидкість поширення хвилі?



ВПРАВА № 17

- На рис. 1 показано поширення хвилі мотузкою (а) і пружиною (б). Визначте довжину кожної хвилі. Сторона клітинки дорівнює 1 см.
- В океані довжина хвилі сягає 270 м, а її період дорівнює 13,5 с. Визначте швидкість поширення такої хвилі.
- Чому механічна хвиля не поширюється у вакуумі?
- Чи збігаються швидкість поширення хвилі та швидкість руху точок середовища, яким поширюється хвиля?
- Унаслідок вибуху, здійсненого геологами, у земній корі поширилася хвиля зі швидкістю 4,5 км/с. Відбита від глибоких шарів Землі, ця хвиля була зафіксована на поверхні Землі через 20 с після вибуху. На якій глибині залягає порода, густина якої різко відрізняється від густини земної кори?
- Двома мотузками поширюється поперечна хвиля (рис. 2.) На кожній мотузці показано напрямок коливань однієї з її точок. Для кожного випадку а і б визначте напрямок поширення хвилі.
- На рис. 3 зображено положення двох шнурів, якими поширюється хвиля, показано напрямок поширення кожної хвилі. Сторона клітинки дорівнює 20 см. Для кожного випадку а і б визначте: 1) амплітуду, період, довжину хвилі; 2) напрямком, у якому в цей момент часу рухаються точки А, В і С шнура; 3) кількість коливань, які здійснює будь-яка точка шнура за 30 с.
- Людина, стоячи на березі моря, визначила, що відстань між сусідніми гребенями хвиль, які йдуть одна за одною, дорівнює 15 м. Крім того, вона підрахувала, що за 75 с до берега доходить 16 хвильових гребенів. Визначте швидкість поширення хвиль.

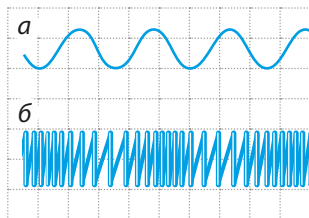


Рис. 1

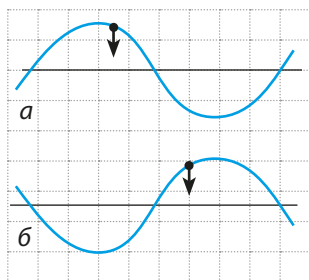


Рис. 2

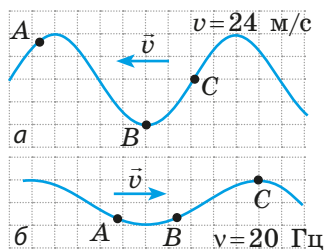


Рис. 3

Ключові терміни

Механічна хвиля • Поздовжня хвиля • Поперечна хвиля • Довжина хвилі • Частота хвилі • Амплітуда хвилі • Швидкість поширення хвилі • Формула хвилі



rnk.com.ua/
114229

§ 18. ЗВУКОВІ ХВИЛІ. ІНФРАЗВУК І УЛЬТРАЗВУК

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Ми живемо в океані звуків. Висловіть свою думку щодо таких питань. Що являють собою звуки? Як вони утворюються? Чому неможливо почути гуркіт ракетних двигунів у космосі? Чому ми чуємо грім пізніше, ніж бачимо спалах блискавки? Чи є звуки, яких ми не чуємо? Для чого використовують звук?

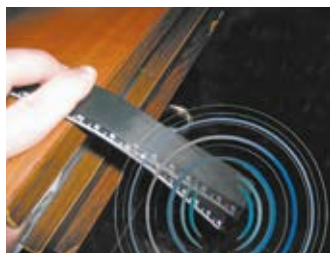


Рис. 18.1. Після того як кінець лінійки буде відпущено, лінійка почне коливатися та випромінювати звук

Наведіть кілька прикладів джерел звуку.



1. Звук. Джерела та приймачі звуку

Притисніть до краю стола один кінець лінійки й смикніть її за вільний кінець — він почне коливатися, а ви почуєте *звук* (рис. 18.1).

Річ у тім, що коливання лінійки викликає *періодичні збільшення та зменшення тиску повітря в зоні коливань*. Стиснуте повітря, намагаючись розширитися, тисне на сусідні шари, теж стискаючи їх. Так від лінійки в усі боки починає поширюватися поздовжня механічна хвиля, яка врешті-решт досягає вашого вуха.

Тиск повітря біля вушної мембрани періодично змінюється, і мембрана починає коливатися. Кінець лінійки коливається із частотою понад 16 Гц; саме з такою частотою коливається вушна мембрана, і ми чуємо звук.

Звук — це механічна хвиля (зазвичай поздовжня) певної частоти.

Людина сприймає звукові коливання із частотою від 16 до 20 000 Гц. Коливання із частотою понад 20 кГц називають *ультразвуком*, із частотою, меншою за 16 Гц, — *інфразвуком*.

Джерела звуку — це різноманітні тіла, що коливаються. Наприклад, джерелами чутного людині звуку є мембрани навушників і струни музичних інструментів, дифузори гучномовців і крила комах, частини машин тощо.

У трубі, флейті, свистку звук утворюється коливанням стовпа повітря всередині інструментів. Голосові апарати людини й тварин також є джерелами звуку.

Для вивчення звуку зручно використувати *камертон* (рис. 18.2). Якщо гумовим молоточком ударити по ніжках камертона, то камертон випромінюватиме чіткий довгий звук, який поступово слабшає.

У *приймачах звуку* відбувається перетворення звукових сигналів на інші сигнали, завдяки чому звук можна сприймати й аналізувати. До приймачів звуку, зокрема, належать органи слуху людини та тварин, — у цих органах звукові (механічні) коливання перетворюються на нервові імпульси. У техніці для приймання звуку здебільшого застосовують перетворювачі, в яких звукові коливання перетворюються на електричні (рис. 18.3).

2. Від чого залежить швидкість поширення звуку?

Якщо ми здалека бачимо момент зародження звуку (удар дзвона, сплеск долонь тощо), то помічаємо, що власне звук ми чуємо через певний інтервал часу. Знаючи відстань до джерела звуку та час запізнення, можна виміряти швидкість поширення звуку в повітрі.

За температури 20°C швидкість звуку в повітрі становить приблизно 340 м/с . Це майже в мільйон разів менше від швидкості поширення світла. Саме тому грім чути пізніше, ніж видно спалах блискавки (рис. 18.4).

Швидкість поширення звуку залежить від температури, густини, складу та інших характеристик середовища. Наприклад, у рідинах звук поширюється швидше, ніж у газах, і повільніше, ніж у твердих тілах. Швидкість поширення звуку зазвичай збільшується зі збільшенням температури середовища. До того ж що меншою є маса молекул середовища, то швидше поширюється звук. Розв'язуючи задачі, використовуватимемо приблизні значення швидкості поширення звуку (див. таблицю на с. 136).

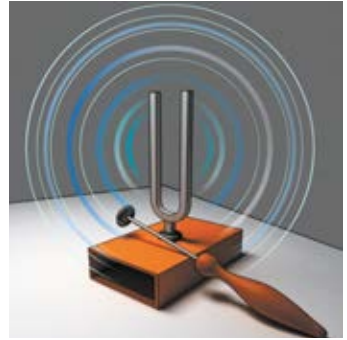


Рис. 18.2. Ніжки камертона коливаються із частотою 440 Гц , випромінюючи звук «ля» першої октави



Рис. 18.3. У мікрофоні звукові коливання перетворюються на електричні



Рис. 18.4. Якщо гроза від нас далеко, то гуркіт грому можна почути навіть через $10\text{--}20\text{ с}$ після спалаху блискавки

Приблизні значення швидкості поширення звуку в деяких середовищах

Середовище	v , м/с
Вода	1500
Водень	1250
Залізо, сталь, чавун	5000
Повітря	340
Скло	4500

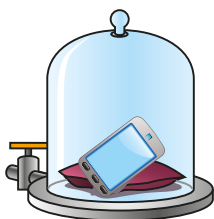


Рис. 18.5. Якщо покласти мобільний телефон під купол повітряного насоса й відкачати повітря, то сигналу виклику ми не почуємо

Проаналізуйте таблицю. Чому, на вашу думку, швидкість поширення звуку у водні більша, ніж у повітрі, а в сталі більша, ніж у воді?



Зверніть увагу! Оскільки звук — це механічна хвиля, а для поширення механічної хвилі необхідне середовище, звукова хвиля не поширюється у вакуумі (рис. 18.5).

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...



Перші точні вимірювання *швидкості поширення звуку у воді* здійснили вчені зі Швейцарії *Жан Колладон* і *Шарль Штурм* 1826 р. Один із дослідників сидів у човні на Женевському озері та вдаряв по зануреному у воду дзвону. Одночасно з ударом відбувався спалах порошу. Другий дослідник, перебуваючи на відстані 16 км, вимірював час між спалахом і звуком від удару, який він чув через занурену у воду трубу.

3. Характеристики звуку

Звуки різної частоти ми сприймаємо як звуки різного тону: *що більшою є частота звуку, то вищий тон звуку*, і навпаки. Ми легко відрізняємо високий тон дзижчання комара від низького тону гудіння джмеля, звучання скрипки — від звучання контрабаса.

Гучність звуку визначається насамперед *амплітудою* звукової хвилі (найбільшою зміною тиску в зоні спостереження): що більша амплітуда, то гучніший звук. Проте гучність звуку також залежить від його тону (частоти звукової хвилі). Людське вухо досить погано сприймає звуки низьких (близько 20 Гц) і високих (близько 20 000 Гц) частот, найкраще — середніх частот (1000–3000 Гц).

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...



Крім гучності та висоти тону ми розрізняємо звуки за *тембром*: ту саму ноту, взяту на роялі, саксофоні або різними людьми, ми сприймаємо по-різному. Такі різноманітні «відтінки» звуків і називають тембрами.

Річ у тім, що звуки є складними: крім основної частоти (за якою ми й оцінюємо висоту звуку) звук містить кілька більш слабких і більш високих додаткових частот — *обертонів*. Що більше обертонів містить основний звук, то він багатший.

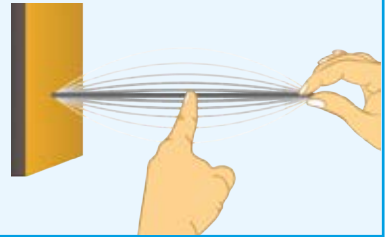
У ході поширення звуку відбувається поступове *розсіювання та згасання звуку*, тобто зменшення його гучності. На дальність поширення звуку в повітрі впливають температура й атмосферний тиск, сила та швидкість вітру тощо. Інколи в глибинах океану утворюються умови для наддалекого (понад 5000 км) поширення звуку — у такому разі кажуть про підводний звуковий канал.

ДОСЛІДЖЕННЯ

Що знадобиться: гнучка пружна лінійка; міцна нитка.

1. Повторіть дослід, зображений на рис. 18.1. Зменшуючи довжину частини лінійки, що коливається, дослідіть, як довжина цієї частини пов'язана з висотою тону випромінюваного звуку.

2. Дослідження звуків, які, коливаючись, видає струна, здійснював ще давньогрецький учений Піфагор. Скориставшись натягнутою ниткою, створіть звукові хвилі. Поміркуйте, від чого й чому може залежати висота тону цього звуку. Перевірте свої припущення експериментально.



4. Чому ми чуємо відлуння?

Якщо порівняти поширення звуку з поширенням світла, то можна помітити деякі спільні риси. І це не випадково: світло також є хвилею, але не механічною (про це ви дізнаєтеся пізніше). На межі поділу різних середовищ звукова хвиля, як і світло, зазнає заломлення, поглинання та відбивання (рис. 18.6).

Звук, відбитий від віддаленої перешкоди, називають **відлунням**.



Рис. 18.6. Якщо стати недалеко від скелі та гучно крикнути, через невеликий інтервал часу почуємо повторення звуку — відлуння

Якщо відстань до перешкоди є досить великою, а звук коротким (удар, оплеск, скрик), ми чуємо чітко повторення звуку. Якщо звук є довгим, то відлуння змішується з первинним звуком і відбитий звук буде нерозбірливим.

На явищі відбивання та поглинання звуку ґрунтується дія шумозахисних екранів біля автомобільних трас і аеропортів.

Дослідження відбивання, розсіювання та згасання звуку в газах, рідинах і твердих тілах дає змогу отримати інформацію про внутрішню будову середовища, яким поширюється звук.

А ЯК НАСПРАВДІ?



У соціальній мережі хлопці обговорювали таке питання: «Блискавка триває частки секунди, а чому тоді грім гримить набагато довше?».

Один з дописувачів пояснював це так: «Тривалість грому залежить від довжини блискавки. Якщо припустити, що блискавка має довжину 3–5 км, то прості розрахунки переконують, що звуку потрібно набагато більше часу, щоб досягти поверхні землі від верхньої частини блискавки, ніж від нижньої».

Інший дописувач наполягав на такому варіанті: «Я впевнений, що здебільшого тривалість грому — це час, протягом якого ми чуємо відлуння звуку від землі, дерев, будинків тощо навколо нас».

А з ким згодні ви? Чи причина довгої тривалості грому взагалі інша?

5. Інфразвук і ультразвук

Звукові хвилі, частота яких менша за 16 Гц, називають **інфразвуковими** (від латин. *infra* — нижче, під).

Інфразвукові хвилі виникають під час роботи деяких механізмів, у разі вибухів, обвалів, під час шторму, землетрусу тощо.

Інфразвук є дуже небезпечним для тварин і людини: він може викликати симптоми морської хвороби, запаморочення, засліплення, спричинити підвищену агресивність. У разі тривалої дії інтенсивне інфразвукове випромінювання може призвести до зупинки серця. При цьому людина навіть не розуміє, що відбувається, адже вона не чує інфразвук.

Звукові хвилі, частота яких перевищує 20 кГц, називають **ультразвуковими** (від латин. *ultra* — понад, за межами).



Рис. 18.7.
Ультразвуковий випромінювач для відлякування комах

Ультразвук наявний у шумі вітру та водоспаду, у звуках, які видають деякі живі істоти. Ультразвук до 100 кГц сприймають багато комах і гризунів (рис. 18.7); уловлюють такі коливання й собаки. Цікаво, що діти, на відміну від дорослих, також чують ультразвукові сигнали (до 24 000 Гц).

Деякі істоти застосовують ультразвук для орієнтації або полювання. Наприклад, кажани й дельфіни випромінюють ультразвук і сприймають його відлуння, завдяки чому вони навіть у повній темряві можуть знайти дорогу або спіймати здобич. Кажуть, що в таких випадках тварини користуються *ехолокацією* (рис. 18.8).

Ехолокація — спосіб виявлення й отримання інформації про об'єкт за допомогою відлуння.

Люди застосовують ехолокацію в різних галузях, причому найчастіше для ехолокації використовують саме ультразвук.

У медицині ехолокація (ультразвукове дослідження) дає змогу «побачити» ще не народжену дитину, дослідити стан внутрішніх органів, виявити сторонні тіла в тканинах. Ультразвуком знезаражують хірургічні інструменти, ліки тощо. Лікування за допомогою ультразвуку іноді дозволяє уникнути хірургічних операцій.

У техніці ехолокацію застосовують для виявлення дефектів у виробках, вимірювання глибин морів і океанів, оброблення міцних матеріалів, очищення поверхонь від забруднень тощо.

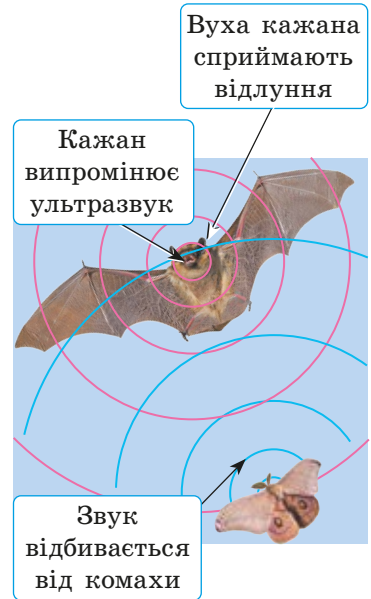
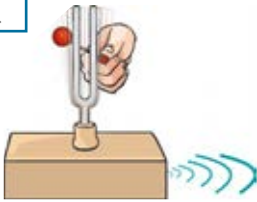


Рис. 18.8. Під час полювання кажани «застосовують» ехолокацію



ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ



Звук — фізичне явище, яке являє собою механічну хвилю (зазвичай поздовжню) певної частоти.

- ✓ **Джерело звуку** — тіло, що коливається.
- ✓ **Тон звуку** визначається частотою звукової хвилі.
- ✓ **Гучність звуку** визначається насамперед амплітудою звукової хвилі.



Швидкість поширення звуку залежить від властивостей середовища (температури, густини, складу, вологості, агрегатного стану).

Основні види звукових хвиль

Інфразвук	Чутний звук	Ультразвук
звук частотою до 16 Гц	звук частотою від 16 до 20 000 Гц	звук частотою понад 20 000 Гц



Ехолокація — спосіб виявлення й отримання інформації про об'єкт за допомогою відлуння.



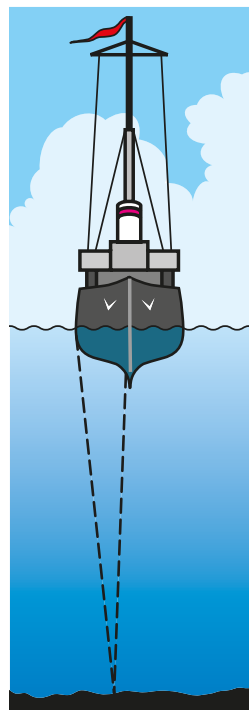
КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що таке звук? 2. Наведіть приклади джерел і приймачів звуку. 3. Чому джерело звуку випромінює звук? 4. Від чого залежить швидкість поширення звуку? 5. Якою фізичною величиною визначається висота тону? 6. Чим визначається гучність звуку? 7. Наслідком якого явища є відлуння? 8. Що таке інфразвук? Як він впливає на людину? 9. Що таке ультразвук? Наведіть приклади застосування ультразвуку. 10. Що таке ехолокація?



ВПРАВА № 18

1. Чому метелика, що летить, не чути, а дзижчання комара чути?
2. Яка довжина звукової хвилі частотою 4 кГц в повітрі; воді; сталі?
3. Чому музика, голоси співаків і співачок по-різному звучать у порожній залі й у залі, заповненій публікою?
4. За допомогою ультразвуку вимірювали глибину моря (див. рисунок). Сигнал, відбитий від морського дна, зафіксовано через 4 с після відправлення. Яка глибина моря в місці вимірювання?
5. Скільки коливань здійснює джерело звуку за 5 с, якщо довжина хвилі в повітрі дорівнює 1 м?
6. Швидкість поширення звуку в металі першим визначив французький фізик *Жан-Батист Біо* (1774–1862). Він використав чавунну трубу паризького водогону (завдовжки 951 м). Коли по одному кінцю труби вдарили молотком, то з другого кінця чули подвійний удар. На скільки секунд звук, який ішов чавуном, обганяв звук, що йшов повітрям?
7. Запропонуйте метод вимірювання швидкості поширення звуку в повітрі. Дізнайтеся, який метод використовували вчені для вимірювання цієї швидкості. Чи збіглися ці методи?
8. Дізнайтеся, де використовують ультразвук.
9. Дізнайтеся про вплив шуму на здоров'я людини. Як максимально зменшити шкідливу дію шуму?



Ключові терміни

Звукові хвилі • Чутний звук • Інфразвук • Ультразвук • Відлуння • Ехолокація



rnk.com.ua/
114230

§ 19. ЕЛЕКТРОМАГНІТНЕ ПОЛЕ ТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ХВИЛІ

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Згадайте, як давні люди отримували та передавали інформацію. Чи могли вони, перебуваючи на далеких відстанях одне від одного, миттєво дізнатися певні відомості? Як мрії про швидке передавання інформації відбивались у легендах і казках? Чи справдилися мрії наших предків? Завдяки яким відкриттям?

1. Як було створено теорію електромагнітного поля?

Перш за все згадаймо: існують два види матерії — *речовина* і *поле*. Обидва *існують реально*.

Минулого навчального року ви дізналися про *електричне поле*, цього року — про *магнітне поле*. Ви також з'ясували, що *магнітне поле*, яке *змінюється*, не тільки діє на рухомі заряджені частинки та намагнічені тіла, а й *створює електричне поле*. Адже саме тому в замкненій котушці виникав електричний струм у дослідях *Майкла Фарадея* (рис. 19.1).

Джеймс Максвелл (рис. 19.2) висунув гіпотезу про те, що не тільки змінне магнітне поле створює електричне поле, а й *змінне електричне поле створює магнітне поле*. Згодом цю гіпотезу було підтверджено експериментально. Отже, *електричні та магнітні поля завжди існують разом*. Тобто існує єдине **електромагнітне поле**, а електричне та магнітне поля — це два складники (дві форми прояву) *електромагнітного поля*.



Рис. 19.1. Майкл Фарадей (1791–1867) — англійський фізик, засновник учення про поле



Рис. 19.2. Джеймс Клерк Максвелл (1831–1879) — англійський фізик і математик, творець класичної електродинаміки

Електромагнітне поле — вид матерії, за допомогою якого здійснюється взаємодія між зарядженими тілами, зарядженими частинками й намагніченими тілами.



Рис. 19.3. У системі відліку, пов'язаній із хлопчиком, виявляється лише електричний складник електромагнітного поля. У системі відліку, пов'язаній із дівчинкою, виявляються обидва складники — і електричний, і магнітний

Якщо ваша подруга візьме магніт і понесе його від вас, хто з вас «виявить» тільки магнітне поле, а хто — і магнітне, і електричне?

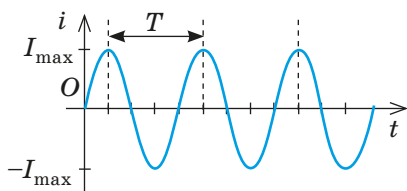


Рис. 19.4. Змінний струм — це струм, сила якого періодично змінюється: із часом значення сили струму то збільшується, то зменшується; змінюється й напрямок струму

Дехто з вас може не погодитися з висновком Максвелла, адже добре знає, що, наприклад, біля нерухомого зарядженого тіла існує тільки електричне поле, а біля нерухомого постійного магніту — тільки магнітне поле. Проте згадайте: рух і спокій залежать від вибору системи відліку.

Уявіть, що ви, тримаючи в руках заряджену кульку, йдете до своєї подруги (рис. 19.3). Якби людина мала здатність завжди виявляти електромагнітне поле, то в цьому випадку ви «бачили» б тільки один його складник — електричне поле, оскільки відносно вас заряд є нерухомим. Водночас ваша подруга «бачила» б і електричне поле, і магнітне, тому що відносно неї заряд рухається й електричне поле змінюється.

2. Як утворюються електромагнітні хвилі?

Дж. Максвелл, проаналізувавши відкриті ним закони електродинаміки, суто математично отримав фантастичний на той час висновок: у природі мають існувати *електромагнітні хвилі*.

Електромагнітна хвиля — це поширення в просторі коливань електромагнітного поля.

Спробуємо уявити, як утворюється та поширюється електромагнітна хвиля. Візьмемо провідник, у якому тече змінний струм (рис. 19.4). Як відомо, біля будь-якого провідника зі струмом існує магнітне поле. Магнітне поле, створене змінним струмом, теж є змінним. Згідно з теорією Максвелла змінне магнітне поле має створити електричне поле, яке теж буде змінним. Змінне електричне поле створить змінне магнітне й т. д. Отже, одержимо *поширення коливань електромагнітного*

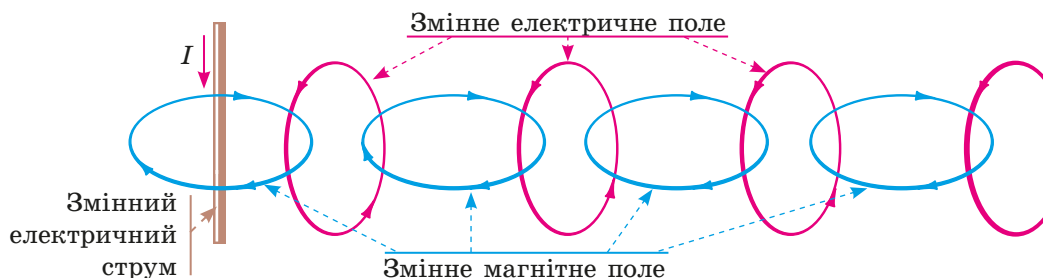


Рис. 19.5. Схематичне зображення механізму розповсюдження електромагнітної хвилі

поля — електромагнітну хвилю (рис. 19.5). Частота ν цієї хвилі дорівнює частоті, з якою змінюється сила струму в провіднику, а провідник зі змінним струмом є джерелом електромагнітної хвилі.

Аналогічно до того, як механічна хвиля може відірватися від свого джерела (згадайте поширення хвилі від кинутого у воду камінця), електромагнітна хвиля теж може відірватися від свого джерела й почати самостійно розповсюджуватись у просторі.

Відповідно до теорії Максвелла джерелом електромагнітної хвилі може бути будь-яка заряджена частинка, що рухається з прискоренням (тобто частинка, яка весь час змінює швидкість свого руху або за значенням, або за напрямком, або одночасно і за значенням, і за напрямком). Якщо ж частинка нерухома або рухається з незмінною швидкістю, біля неї існує електромагнітне поле, але електромагнітну хвилю частинка не випромінює.

Випромінюванням електромагнітних хвиль супроводжуються й деякі процеси, що відбуваються всередині молекул, атомів, ядер атомів (теорія таких процесів — квантова теорія — була створена у XX ст.).

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...



Цікаво, що деякі електромагнітні хвилі «подорожують» у Всесвіті майже з початку його виникнення! Ідеться про космічне фонове випромінювання, або *реліктове випромінювання* (від латин. *relictum* — залишок), існування якого було теоретично

передбачено 1948 р. українським та американським фізиком-теоретиком *Георгієм Гамовим* (1904–1968), а експериментально підтверджено 1965 р. Вважається, що реліктове випромінювання зародилося невдовзі після Великого вибуху (за 380–400 тис. років), збереглося у Всесвіті й рівномірно його заповнює. Реліктове випромінювання розглядають як один з основних доказів теорії Великого вибуху.



3. Властивості електромагнітних хвиль

Електромагнітна хвиля, як і механічна, характеризується *частотою* (ν), *довжиною* (λ) і *швидкістю поширення* (v). Так само, як у випадку з механічними хвилями, ці величини пов'язані *формулою хвилі*:

$$v = \lambda \nu$$

Але, на відміну від механічних хвиль, *для поширення електромагнітних хвиль не потрібне середовище*. Навпаки, найкраще й найшвидше електромагнітні хвилі поширюються у вакуумі. Дж. Максвелл теоретично обчислив *швидкість поширення електромагнітної хвилі у вакуумі* й з подивом виявив, що отримане значення збігається зі значенням швидкості світла у вакуумі (на той час воно вже було виміряне експериментально):

$$v = c = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Дж. Максвелл висунув слушне й сміливе на той час припущення: *світло є різновидом електромагнітних хвиль* (рис. 19.6).

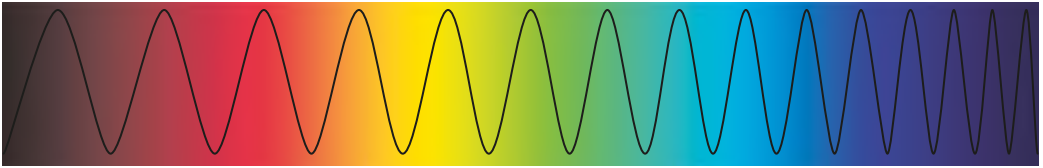


Рис. 19.6. Світло — електромагнітні хвилі. Частота цих хвиль змінюється приблизно від $4 \cdot 10^{14}$ Гц (червоний колір) до $7,5 \cdot 10^{14}$ Гц (фіолетовий колір)



Рис. 19.7. Генріх Рудольф Герц (1857–1894) — німецький фізик, один із засновників електродинаміки

У вакуумі — і тільки в ньому — всі електромагнітні хвилі поширюються з однаковою швидкістю (її позначають символом c), тому для вакууму довжина і частота електромагнітної хвилі пов'язані формулою:

$$c = \lambda \nu$$

У разі переходу з одного середовища в інше швидкість поширення електромагнітної хвилі змінюється, змінюється й довжина хвилі, а от частота залишається незмінною. *У повітрі швидкість поширення електромагнітних хвиль майже та сама, що й у вакуумі.*

Теорію електромагнітного поля Максвелла було підтверджено експериментально 1887 р., через 15 років після створення: *Генріх Герц* (рис. 19.7)

продемонстрував випромінювання та приймання електромагнітних хвиль. Герц не лише отримав електромагнітні хвилі, а й вивчив їхні властивості. Він установив, що *електромагнітні хвилі*:

- *відбиваються від провідних предметів* (кут відбивання дорівнює куту падіння);
- *змінюють напрямок (заломлюються) на межі з діелектриком*;
- *частково поглинаються речовиною і частково розсіюються нею та ін.*

Усі ці явища зумовлені дією електромагнітного поля на заряджені частинки в речовині. Наприклад, якщо електромагнітна хвиля падає на поверхню металу, то на вільні електрони діє змінне електричне поле (електричний складник електромагнітної хвилі). Унаслідок цієї дії в поверхневому шарі металу виникають змінні електричні струми, які й випромінюють відбиту електромагнітну хвилю.

ДОСЛІДЖЕННЯ

Що знадобиться: мобільний телефон; бездротові навушники; харчова фольга; аркуші паперу.

Увімкніть у телефоні музику та слухайте її в навушниках. Не вимикаючи музику, обережно загорніть телефон у 3–4 шари фольги. Музика зникне. Розгорніть фольгу й знову почуйте музику. Повторіть дослід, замінивши фольгу на папір. Яку властивість електромагнітних хвиль підтверджує цей дослід?



А ЯК НАСПРАВДІ?



— Не розумію, чому ви кажете, що земля є провідником? — запитала Тетяна вчителя. — Адже провідник не пропускає електромагнітні хвилі, ми щойно в цьому переконалися. Але коли ми їхали довгим тунелем, мій смартфон добре працював.

— Так, у тунелі телефон працює, — додав Антон. — А от коли ми з татом спускалися в печеру, зв'язку не було зовсім. Може, деякі породи добре проводять струм, а інші — погано?

Що, на вашу думку, відповів учитель?





ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Електромагнітне поле — вид матерії, за допомогою якого здійснюється взаємодія між зарядженими тілами, зарядженими частинками й намагніченими тілами.

Форми прояву електромагнітного поля

Електричне поле

Магнітне поле

- ✓ Магнітне поле, що змінюється, створює електричне поле, а електричне поле, що змінюється, створює магнітне поле.
- ✓ Під час збурення електромагнітного поля утворюється електромагнітна хвиля.



Електромагнітна хвиля — це поширення в просторі коливань електромагнітного поля.

Властивості електромагнітних хвиль:

- ✓ відбиваються від провідних предметів;
- ✓ заломлюються на межі з діелектриком;
- ✓ поширюються у вакуумі з однаковою швидкістю:
 $c = 3 \cdot 10^8$ м/с.

Для вакууму

$$c = \lambda \nu$$

швидкість поширення хвилі довжина хвилі частота хвилі

Для середовища

$$v = \lambda \nu$$

швидкість поширення хвилі довжина хвилі частота хвилі



КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. У чому полягає гіпотеза Дж. Максвелла? 2. Дайте означення електромагнітного поля. 3. Наведіть приклади, що підтверджують відносність електричного та магнітного полів. 4. Як утворюється електромагнітна хвиля? Які об'єкти можуть її випромінювати? 5. Які фізичні величини характеризують електромагнітну хвилю? Як вони пов'язані? 6. Які властивості електромагнітних хвиль встановлено в ході дослідів Г. Герца?



ВПРАВА № 19

1. Виберіть правильні відповіді із запропонованих.

Електромагніт підйимального крана живиться постійним струмом. Визначте: 1) коли електромагніт створює для оператора крана і електричне, і магнітне поля; 2) коли електромагніт випромінює електромагнітні хвилі.

а) у момент замикання кола; б) у момент розмикання кола; в) коли електромагніт, рухаючись рівномірно, переносить вантаж; г) коли нерухомий електромагніт тримає вантаж.

2. Доповніть таблицю, вважаючи, що хвилі поширюються в повітрі.

Джерело хвилі	Довжина	Частота	Швидкість
Провід лінії електропередачі		50 Гц	
Радіопередавач	10 см		
Інфрачервоний випромінювач	1,5 мкм		

3. За рис. 19.6 визначте довжини електромагнітних хвиль для світла фіолетового та червоного кольорів. Розгляньте випадки, коли світло поширюється: а) у вакуумі; б) у склі (швидкість поширення світла у склі зменшується в 1,64 раза для світла червоного кольору, в 1,67 раза — для світла фіолетового кольору).

4. Дізнайтеся про винайдення радіо. Зробіть коротке повідомлення.

Ключові терміни

Електромагнітне поле • Електромагнітні хвилі • Швидкість поширення електромагнітних хвиль

ФІЗИКА І ТЕХНІКА В УКРАЇНІ



Борис Павлович Грабовський (1901–1966) — український фізик і винахідник, творець електронної системи передавання рухомого зображення на відстані (на її принципах працює сучасне телебачення); син видатного українського поета Павла Грабовського. Перший винахід ученого — катодний комутатор, що став основою для побудови передавальної телевізійної трубки, а наступний — проєкт телеустановки, яку автор назвав «радіо-телефот». 26 липня 1928 р. в Ташкенті відбувся експеримент, під час якого вперше у світі за допомогою електронного методу транслювалося рухоме зображення (обличчя лаборанта). Серед

винаходів Б. П. Грабовського — малолітражний гелікоптер, трикрилий планер, прилад для орієнтації сліпих і апарат для глухонімих. Запатентовану вченим ідею отримання катодного променя було успішно використано в Інституті електрозварювання ім. Є. О. Патона. У Ташкенті 1977 р. засновано Музей електронного телебачення ім. Б. Грабовського. Музей Бориса Грабовського є також на Сумщині.



rnk.com.ua/
114231



§ 20. ШКАЛА ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ХВИЛЬ

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Які приклади застосування різних видів електромагнітних хвиль зображено на заставці до параграфа? Спробуйте навести ще приклади прояву, застосування, шкідливої дії електромагнітних хвиль. Що спільного мають різні види електромагнітних хвиль? Висуньте гіпотезу, чому їхні властивості дещо різняться. Як, на вашу думку, утворюються різні види електромагнітних хвиль? Поверніться до обговорення цих питань після опрацювання § 20.

1. Шкала електромагнітних хвиль

Різні види електромагнітних хвиль передусім відрізняються частотою, а отже, і довжиною хвилі. Саме різницею частот пояснюється той факт, що деякі властивості електромагнітних хвиль різняться. Якщо розташувати всі відомі електромагнітні хвилі за збільшенням їхньої частоти (рис. 20.1), побачимо, що частоти можуть різнитися більш ніж у 10^{16} разів!

Шкала електромагнітних хвиль на рис. 20.1 поділена на ділянки, які відповідають різним діапазонам довжин і частот електромагнітних хвиль, тобто різним видам електромагнітних хвиль. Хвилі одного діапазону мають однаковий спосіб випромінювання та схожі властивості.

Радіохвилі — від наддовгих із довжиною понад 10 км до ультракоротких і мікрохвиль із довжиною, меншою за 0,1 мм, — породжуються змінним електричним струмом.

Електромагнітні хвилі оптичного діапазону випромінюються збудженими атомами. У цьому діапазоні розрізняють:

- *інфрачервоне (теплове) випромінювання* (довжина хвилі становить від 780 нм до 1–2 мм);
- *видиме світло* (довжина хвилі — 400–780 нм);
- *ультрафіолетове випромінювання* (довжина хвилі — 10–400 нм).

Рентгенівське випромінювання (довжина хвилі — 0,01–10 нм) виникає внаслідок швидкого (ударного) гальмування електронів, а також у результаті процесів усередині електронних оболонок атомів.

Гамма (γ)-випромінювання (довжина хвилі менша за 0,05 нм) випускається збудженими атомними ядрами під час ядерних реакцій, радіоактивних перетворень атомних ядер і перетворень елементарних частинок.

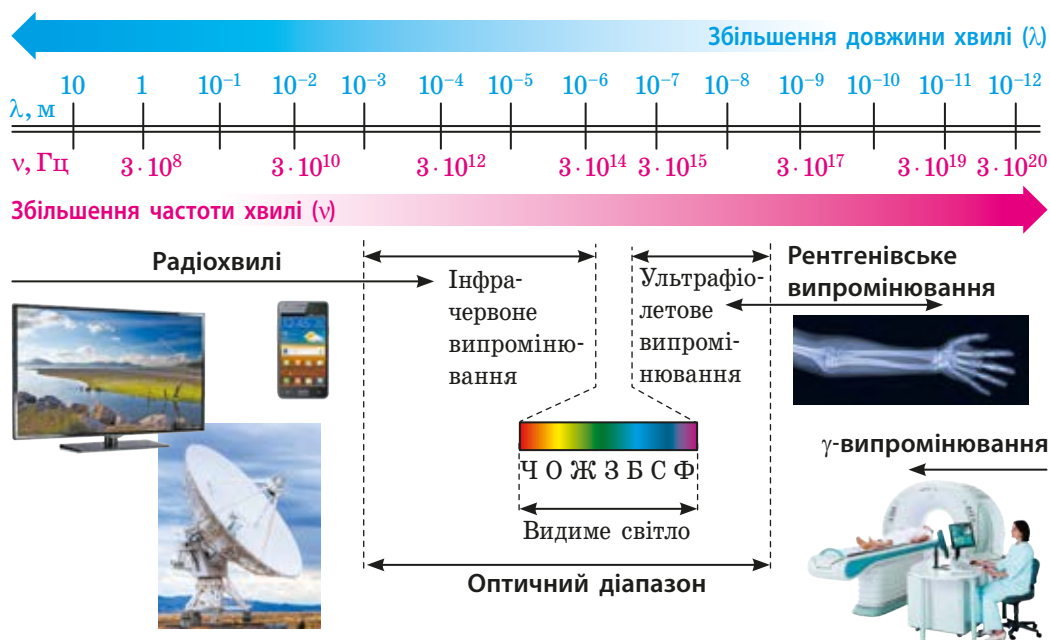


Рис. 20.1. Шкала (спектр) електромагнітних хвиль — безперервна послідовність частот і довжин електромагнітних хвиль, що існують у природі

Розгляньте шкалу електромагнітних хвиль (див. рис. 20.1). Чому, на вашу думку, деякі її ділянки віднесено одночасно до двох різних видів електромагнітних хвиль?



ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...



З усього спектра електромагнітних хвиль найбільш спорідненим з організмом людини є *інфрачервоне випромінювання*. Хвилі довжинами приблизно від 7 до 14 мкм збігаються із частотою випромінювання людського тіла й чинять на організм людини надзвичайно корисну дію. Найвідоміше природне джерело таких хвиль на Землі — це Сонце.



2. Де застосовують радіохвилі?

У техніці найчастіше застосовують електромагнітні хвилі *радіодіапазону*. Їх використовують у сучасному мобільному зв'язку, радіомовленні, телебаченні, для виявлення та розпізнання різноманітних об'єктів (радіолокація), визначення розташування об'єктів (GPS-навігація, GPS-моніторинг та ін.), для зв'язку з космічними апаратами тощо.

Потужні або довготривалі радіохвилі можуть негативно впливати на людину. Наприклад, стільниковий телефон часто перебуває близько від мозку та очей людини. Поглинаючись тканинами головного мозку, зоровими та слуховими аналізаторами, хвилі передають їм енергію. Згодом це може призвести до порушень у роботі нервової, ендокринної та серцево-судинної систем.

3. Інфрачервоне випромінювання

Між радіохвилями й видимим світлом розташована ділянка *інфрачервоного (теплого) випромінювання*. У промисловості це випромінювання використовують для сушіння лакофарбових поверхонь, деревини, зерна та ін. Інфрачервоні промені застосовують у пультах дистанційного керування, системах автоматики, охоронних системах тощо. Ці промені не відвертають увагу людини, бо є невидимими. Але існують прилади, які можуть «відчувати» невидиме інфрачервоне зображення та перетворювати його на видиме. Так працюють тепловізори — прилади нічного бачення, які «відчують» інфрачервоні хвилі довжиною 3–15 мкм. Такі хвилі випромінюються тілами, що мають температуру від -50 до 500 °C.

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...



Багато представників фауни мають своєрідні живі «прилади нічного бачення», які здатні сприймати інфрачервоні промені.

Наприклад, глибоководні кальмари, крім звичайних очей, мають ще термоскопічні — вони розташовані на хвості та вловлюють інфрачервоні промені. Американська гримуча змія має надчутливий термолокатор, розташований у лицевій ямці між очима. Нічні метелики, деякі мухи, а також клопи й комахи, які відшукують теплокровних тварин, уловлюють тепло на відстані за допомогою терморецепторів, розташованих на вусиках-антенах.



4. Чи є корисним ультрафіолетове випромінювання?

Ультрафіолетове випромінювання, на відміну від видимого світла та інфрачервоного випромінювання, має високу хімічну активність, тому його застосовують для дезінфекції повітря в лікарнях і місцях великого скупчення людей.

Для Землі основне джерело природного ультрафіолетового випромінювання — Сонце. Атмосфера Землі частково затримує ультрафіолетові хвилі: коротші від 290 нм (жорсткий ультрафіолет) затримуються у верхніх шарах атмосфери озоном, а довжиною 290–400 нм (м'який ультрафіолет) поглинаються вуглекислим газом, водяною паром й озоном.

У великих дозах ультрафіолетове випромінювання є шкідливим для здоров'я людини (рис. 20.2). Щоб знизити ймовірність сонячного опіку та захворювань шкіри, лікарі рекомендують не перебувати влітку на сонці між 10 і 13 годинами, коли сонячне випромінювання є найінтенсивнішим. Проте в невеликих кількостях ультрафіолет добре впливає на людину.



Рис. 20.2. Ультрафіолетове випромінювання є особливо небезпечним для сітківки ока, тому високо в горах, де ультрафіолетові промені найменше поглинаються атмосферою, треба обов'язково захищати очі

5. Рентгенівське і γ -випромінювання

Найширше *рентгенівське випромінювання* застосовують у медицині, адже воно має властивість *проходити крізь непрозорі предмети* (наприклад, тіло людини). Кісткові тканини менш прозорі для рентгенівського випромінювання, ніж інші тканини організму, тому кістки чітко видно на рентгенограмі. Рентгенівську зйомку використовують також у промисловості (для виявлення дефектів), хімії (для аналізу сполук), фізиці (для дослідження структури кристалів).

Рентгенівське випромінювання чинить руйнівну дію на клітини організму, тому застосовувати його потрібно надзвичайно обережно.

γ -випромінювання, яке має ще більшу проникну здатність, використовують у дефектоскопії (для виявлення дефектів усередині деталей); сільському господарстві та харчовій промисловості (для стерилізації харчів). На організм людини γ -випромінювання чинить дуже шкідливий вплив, водночас чітко спрямоване та дозоване γ -випромінювання застосовують у лікуванні онкологічних захворювань — для знищення ракових клітин (променева терапія).

А ЯК НАСПРАВДІ?



«Суд над γ -випромінюванням». Уявіть, що «судять» γ -випромінювання. Обвинувач наполягає на тому, що це випромінювання потрібно знищити, адже воно вкрай шкідливо впливає на організм людини.

На захист адвокат наводить такий аргумент: спрямоване й дозоване γ -випромінювання допомогло вилікувати багато онкологічних захворювань, адже воно знищує ракові клітини.

На чий бік стали б ви? Наведіть кілька аргументів на підтримку своєї думки.





ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Шкала (спектр) електромагнітних хвиль — безперервна послідовність частот і довжин електромагнітних хвиль, що існують у природі.



КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Назвіть види електромагнітних хвиль.
2. Що спільного між усіма видами електромагнітних хвиль? У чому їх відмінність?
3. Як змінюються властивості електромагнітних хвиль зі збільшенням їхньої частоти?
4. Наведіть приклади застосування електромагнітних хвиль.
5. Як уникнути негативного впливу електромагнітного випромінювання?



ВПРАВА № 20

1. Розташуйте електромагнітні хвилі за збільшенням їхньої довжини: 1) видиме світло; 2) ультрафіолетове випромінювання; 3) радіохвилі; 4) рентгенівське випромінювання.
2. Установіть відповідність між випромінювачем (1–4) та електромагнітними хвилями, які він здебільшого випромінює (А–Г).

1 Мобільний телефон	А γ -випромінювання
2 Батарея опалення	Б Інфрачервоне випромінювання
3 Світлячок	В Видиме світло
4 Радіоактивний препарат	Г Радіохвилі
3. Довжина хвилі світла жовтого кольору у вакуумі — 570 нм. Визначте частоту цієї хвилі.

4. Якою є довжина електромагнітної хвилі у вакуумі, якщо її частота дорівнює $3 \cdot 10^{12}$ Гц? До якого діапазону належить ця хвиля?

5. Об'єднайтесь у групи, виберіть для кожної групи один із видів електромагнітного випромінювання, знайдіть та презентуйте інформацію про його застосування.



TOP SKILLS: РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

Прочитайте текст.

Мікрохвильову піч (НВЧ-піч) винайшов американський інженер *Персі Спенсер* у 1945 р. За однією з версій, Спенсер, працюючи з *магнетроном* (пристроєм, який створює потужні електромагнітні мікрохвилі), випадково помітив, що шоколадний батончик у його кишені розтанув.

Саме магнетрон є «серцем» НВЧ-печі. Він створює мікрохвилі частотою 2450 МГц. Через *хвилевід* мікрохвилі потрапляють у камеру, відбиваються від її *металевих стінок* і нагрівають їжу. Для рівномірного прогрівання застосовують *обертний столик*. Оскільки мікрохвилі можуть бути небезпечними, дверцята печі мають *металеву сітку*, а піч не вмикається, якщо дверцята відчинені.

З'ясуємо, чому їжа нагрівається. Будь-яка електромагнітна хвиля являє собою коливання електричного та магнітного полів. Більшість продуктів містять воду, а молекули води є полярними: на одному боці молекули переважає позитивний заряд, на другому — негативний. Коли на молекулу води діє змінне електричне поле, вона починає швидко коливатися, долучаючи до коливань молекули інших речовин. Кінетична енергія руху молекул збільшується, отже, збільшується температура їжі.

Дайте відповіді на запитання.

1. Які елементи входять до конструкції НВЧ-печі?
2. Яка частина пристрою призначена для створення електромагнітних хвиль?
3. Яку проблему розв'язує обертання столика?
4. Чому в НВЧ-печі речовини, що складаються з неполярних молекул, не нагріваються?
5. Який максимальний розмір комірки металевої сітки на дверцятах камери, якщо для захисту він не має перевищувати довжину хвилі?
6. Які властивості електромагнітних хвиль використовують у НВЧ-печі?
7. Чому їжа прогрівається повністю, якщо максимальна глибина проникнення електромагнітних хвиль 1–3 см?
8. Чому сире яйце в НВЧ-печі може «вибухнути»?



Ключові терміни

Шкала електромагнітних хвиль • Радіохвилі • Інфрачервоне випромінювання • Ультрафіолетове випромінювання • Рентгенівське випромінювання • Гамма(γ)-випромінювання



rnk.com.ua/
114232

§ 21. ПРИНЦИПИ СТІЛЬНИКОВОГО ЗВ'ЯЗКУ ТА РАДІОЛОКАЦІЇ

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Зверніться до шкали електромагнітних хвиль (див. рис. 20.1). Як ви вважаєте, про які електромагнітні хвилі писав англійський фізик *Вільям Крукс* (1832–1919): «Тут розкривається дивовижна можливість телеграфувати без проводів, телеграфних стовпів, кабелів і всіляких інших дорогих сучасних пристроїв»? Наведіть щонайменше п'ять прикладів застосування цих хвиль у різних галузях техніки.

1. Які властивості ультракоротких радіохвиль?

На шкалі електромагнітних хвиль найбільшою є ділянка *радіохвиль* (з довжиною хвилі від 0,1 мм до 100 км). Цю ділянку умовно поділяють на кілька менших: *довгі, середні, короткі, ультракороткі радіохвилі*. Оскільки частоти радіохвиль суттєво відрізняються, то різняться і їхні властивості, а отже, й галузі їх застосування. Зупинімося на застосуванні *ультракоротких радіохвиль* (з довжиною хвилі від 0,1 мм до 10 м).

За своїми властивостями ультракороткі радіохвилі дуже близькі до світлових променів. Ультракороткі радіохвилі:

- поширюються в межах прямої видимості;
- можуть посилатися вузькими пучками;
- майже не відбиваються від іоносфери (верхньої частини атмосфери Землі з високою концентрацією вільних йонів та електронів).

Саме ці властивості забезпечили застосування ультракоротких радіохвиль у радіолокації, бездротовому зв'язку, супутниковому телебаченні, GPS-навігації тощо.



Як ви вважаєте, яка властивість ультракоротких радіохвиль забезпечила їх застосування в супутниковому телебаченні та GPS-навігації?



2. Чому мобільний радіозв'язок називають стільниковим?

Для стільникового зв'язку використовують радіохвилі частотою від 450 до 3000 МГц. Головна особливість такого зв'язку полягає в тому, що загальна зона покриття ділиться на невеликі ділянки — *стільники*. Кожний стільник має площу близько 25 км² і обслуговується окремою

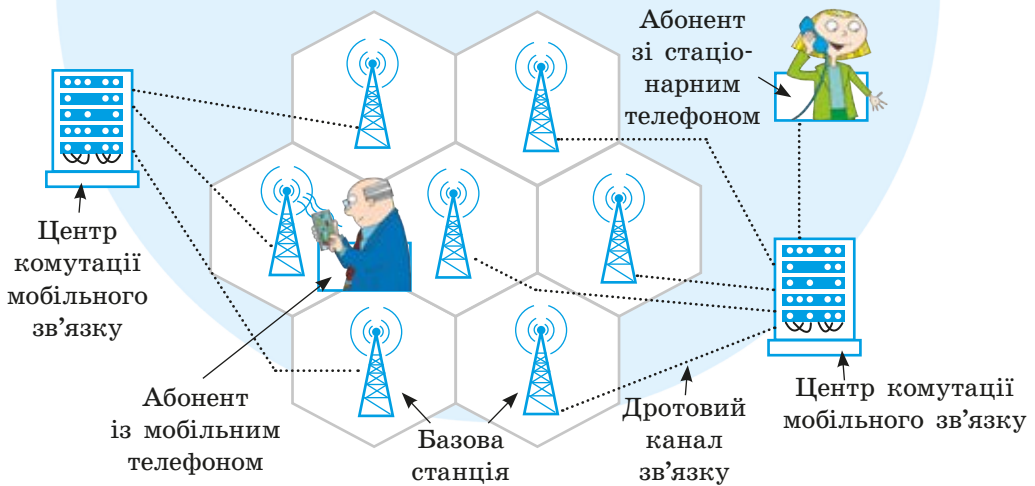


Рис. 21.1. Основні складники стільникової мережі: стільникові телефони, базові станції, центри комутації

базовою станцією. Стільники, частково перекриваючись, утворюють мережу (рис. 21.1).

Коли ви вмикаєте *мобільний телефон*, він починає «прослуховувати» ефір і вловлює сигнал *базової станції* того *стільника*, де ви зараз перебуваєте. Після цього телефон випромінює радіосигнал — посилає станції свій *ідентифікаційний код*. Відтоді телефон і станція підтримуватимуть радіоконтакт, періодично обмінюючись сигналами. Якщо згодом ви опинитеся в іншому стільнику, ваш телефон налагодить зв'язок із базовою станцією цього стільника. Стільники частково перекриваються, тому ви навіть не помітите, що вас почала обслуговувати інша станція.

Описаними процесами «керують» *центри комутації*, які пов'язані з базовими станціями дротовими каналами зв'язку. Власне центр комутації безперервно «відстежує» місце перебування вашого телефона. Він «передає» вас, як естафетну паличку, від однієї базової станції до іншої (рис. 21.2). Саме через

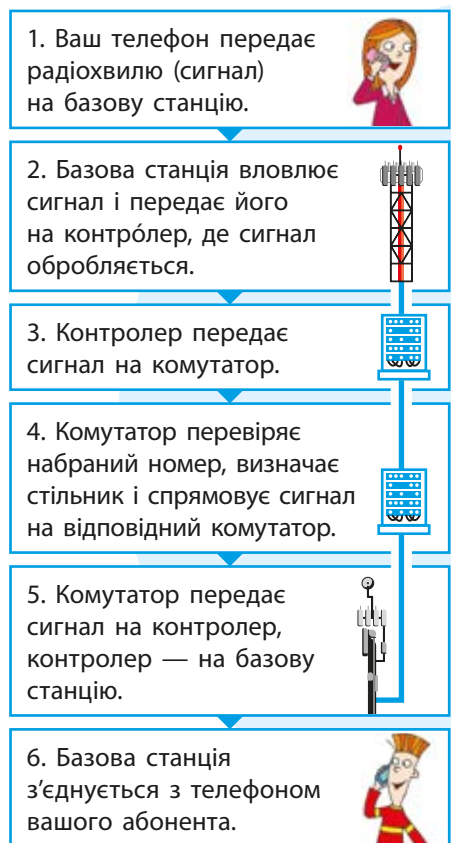


Рис. 21.2. Принципи стільникового зв'язку

А що висвітлиться на екрані вашого телефона, якщо він не зможе «знайти» найближчу базову станцію та передати їй свій код?



центри комутації здійснюється вихід на інші мережі: ви можете зателефонувати абонентові, телефон якого обслуговується іншим оператором, скористатись інтернетом тощо.

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...



Мартін Купер, провідний співробітник компанії «Motorola», 3 квітня 1973 р. здійснив перший в історії дзвінок з мобільного телефона. Що змінилося за понад пів століття?

80-ті роки XX ст.: покоління мобільного зв'язку 1G — аналогова технологія, що підтримувала лише голосові дзвінки. 90-ті роки XX ст.: покоління 2G — цифровий зв'язок (технологія GSM), де завдяки цифровому кодуванню значно покращилась якість звуку, виникла змога передавати SMS і MMS. Саме в 90-ті з'явився перший смартфон, який мав чорно-білий екран і дуже обмежений інтернет.

Майже кожні 10 років виникають нові технології і, як наслідок, нове покоління мобільного зв'язку. Сьогодні ми здебільшого користуємося зв'язком 4G і 5G, де є і хмарні сервіси, й онлайн-ігри, й інтернет, і багато іншого.



3. Як працює радіолокатор?

Властивість радіохвиль відбиватися від металів установив Г. Герц. Згодом було з'ясовано, що радіохвилі відбиваються від будь-яких тіл, при цьому що краще тіло проводить електричний струм, то більшою буде енергія відбитої хвилі. На відбиванні радіохвиль ґрунтується радіолокація.

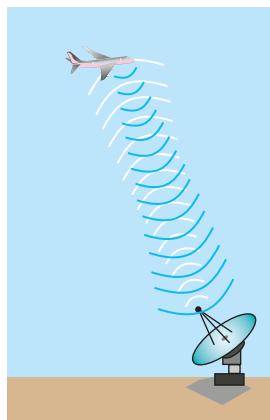


Рис. 21.3. Принцип роботи радіолокатора

Радіолокація — спосіб виявлення, розпізнавання та визначення місця розташування об'єктів за допомогою радіохвиль.

Радіолокаційна установка — *радіолокатор* (*радар*) — забезпечує випромінювання радіохвиль, а також приймання радіохвиль, які відбиваються від об'єкта (рис. 21.3). Радіолокатор посилає радіохвилі напрямлено та вузьким пучком, а виявлення відбитого сигналу свідчить, що об'єкт розташований у напрямку поширення хвиль (рис. 21.4).

Радіосигнал, який посилає радіолокатор, являє собою короткочасний (тривалістю мільйонні частки секунди), але дуже потужний імпульс.

Щойно імпульс послано, антена радіолокатора автоматично перемикається на прийом: радіолокатор «слухає» ефір — чекає на відбитий сигнал. Приймач має високу чутливість (відбитий радіосигнал досить слабкий), тому на час випромінювання імпульсу приймач вимикають, інакше апаратура зіпсується.

Через певний інтервал часу (значно більший за тривалість імпульсу) антена знову перемикається на радіопередавач і радіолокатор посилає наступний імпульс.

Відстань s до об'єкта визначають за часом t проходження радіоімпульсу до цілі й назад. Швидкість поширення електромагнітних хвиль у повітрі майже дорівнює швидкості світла у вакуумі ($c = 3 \cdot 10^8$ м/с), тому:

$$s = \frac{ct}{2}$$

Інтервал часу t є дуже малим. Наприклад, якщо відстань до об'єкта 120 км, то відбитий радіосигнал повернеться через 0,8 мс:

$$t = \frac{2s}{c} = \frac{2 \cdot 120 \cdot 10^3 \text{ м}}{3 \cdot 10^8 \text{ м/с}} = 0,8 \cdot 10^{-3} \text{ с}.$$

Як ви вважаєте, чи почує радар відбитий сигнал, якщо цей сигнал повернувся раніше, ніж радар закінчив працювати в режимі випромінювання?



4. Де застосовують радіолокацію?

Радіолокатори було створено для озброєння армій — для виявлення літаків супротивника (рис. 21.5). Згодом радіолокація набула широкого застосування в інших галузях.

Сучасні повітряні, морські й океанські судна обов'язково оснащені радіолокаторами (рис. 21.6). За їхньою допомогою штурман судна може знайти вільні проходи між хмарами або айсбергами, уникнути зіткнення з іншими суднами в негоду, уточнити курс. Радіолокаційні станції в аеропортах

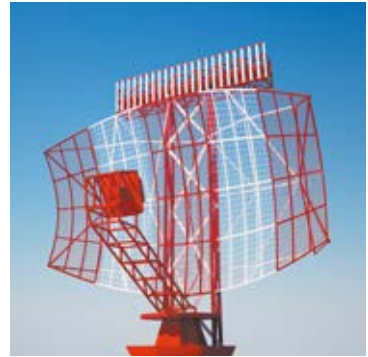


Рис. 21.4. Випромінювання вузького напрямленого пучка ультракоротких радіохвиль і приймання відбитого сигналу забезпечує параболічна антена радіолокатора



Рис. 21.5. Сучасний «летючий радар» може виявити літак супротивника на відстані 540 км

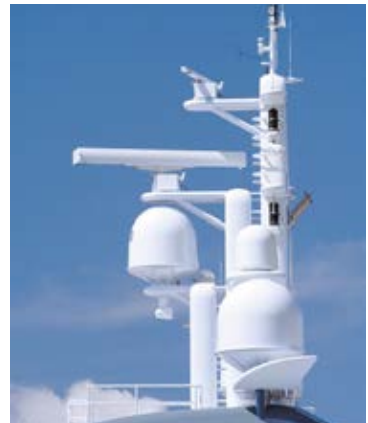


Рис. 21.6. Радар сучасного морського судна

допомагають здійснити посадку повітряних суден, а станції, установлені вздовж узбережжя, забезпечують безпечний вхід кораблів у порт.

Радіолокацію застосовують у наукових дослідженнях, метеорології, сільському та лісовому господарствах. Вона допомагає скласти карти рельєфу земної поверхні, дослідити щільність рослинного покриву, виявити лісову пожежу, визначити склад ґрунту тощо.

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...



Астрономи у своїх спостереженнях дедалі ширше використовують **радіотелескопи** (див. заставку до § 21). Якщо оптичні телескопи вловлюють видиме світло, ультрафіолетове та інфрачервоне випромінювання, то радіотелескопи приймають і записують невидимі для ока радіохвилі, що їх випромінюють планети, зорі, туманності тощо.

Саме за допомогою радіотелескопа були виявлені **пульсари**. Із часом учені дійшли висновку, що пульсари — це нейтронні зорі, але спочатку дехто навіть вважав їх потужними «маяками» позаземних цивілізацій. Цікаво, що перший виявлений пульсар (1967 р.) отримав назву LGM-1 (від англ. *Little Green Men* — «маленькі зелені чоловічки»).



ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Радіохвилі — електромагнітні хвилі довжиною від 0,1 мм (3 ТГц) до 100 км (3 кГц)

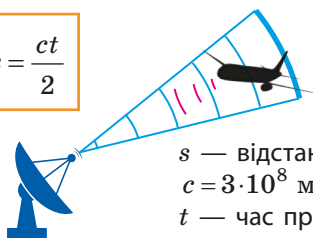
Довгі	Середні	Короткі	Ультракороткі
від 1 до 100 км	від 100 м до 1 км	від 10 до 100 м	від 0,1 мм до 10 м

Властивості ультракоротких радіохвиль:

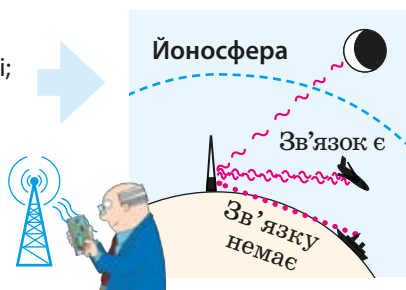
- ✓ поширюються в межах прямої видимості;
- ✓ можуть посилатися вузькими пучками;
- ✓ майже не відбиваються від іоносфери.

Радіолокація — виявлення, розпізнавання та визначення місця розташування об'єктів за допомогою радіохвиль.

$$s = \frac{ct}{2}$$



s — відстань до об'єкта;
 $c = 3 \cdot 10^8$ м/с — швидкість поширення електромагнітних хвиль;
 t — час проходження радіоімпульсу до об'єкта й назад.



Стільниковий зв'язок — один із видів мобільного радіозв'язку, в основі якого лежить стільникова мережа.



КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. У чому полягає основна перевага ультракоротких радіохвиль?
2. Що таке стільниковий зв'язок? Як він організований?
3. Що таке радіолокація? На чому вона ґрунтується?
4. Опишіть принцип роботи радіолокатора.
5. Як за допомогою радіолокації визначають місце розташування об'єкта (відстань до об'єкта, напрямок, у якому він розташований)?
6. Де застосовують радіолокацію?



ВПРАВА № 21

1. На якій відстані виявлено об'єкт, якщо відбитий сигнал повернувся через 20 мкс після посилання?
2. Радіолокатор працює на частоті $6 \cdot 10^8$ Гц. Радіохвилю якої довжини він випромінює?
3. Першу успішну радіолокацію Місяця було здійснено в лютому 1946 р., коли військовий радар у Нью-Джерсі (США) послав радіоімпульси, що відбилися від Місяця й були зафіксовані. Через який час повернувся відбитий сигнал?
4. Радіолокатор щосекунди випромінює 1200 імпульсів тривалістю 10 мкс кожний. Яка найменша дальність виявлення цілі цим радіолокатором?
5. Особливості ультракоротких радіохвиль (практично не відбиваються від йоносфери, їхня енергія помітно втрачається тільки поблизу поверхні Землі, їх можна спрямувати вузьким пучком) забезпечили їх широке застосування. Скористайтеся додатковими джерелами інформації та дізнайтесь, як організовані супутникове телебачення та супутниковий зв'язок.
6. Застосування радіолокаційних станцій для виявлення військової техніки (літаків, кораблів тощо) спричинило активний пошук способів «сховати» її. Так з'явилася *стелс-технологія*. Скористайтеся додатковими джерелами інформації та дізнайтесь, чи вдалося хоча б частково «сховати» військові машини. Якщо вдалося, то як?



Ключові терміни

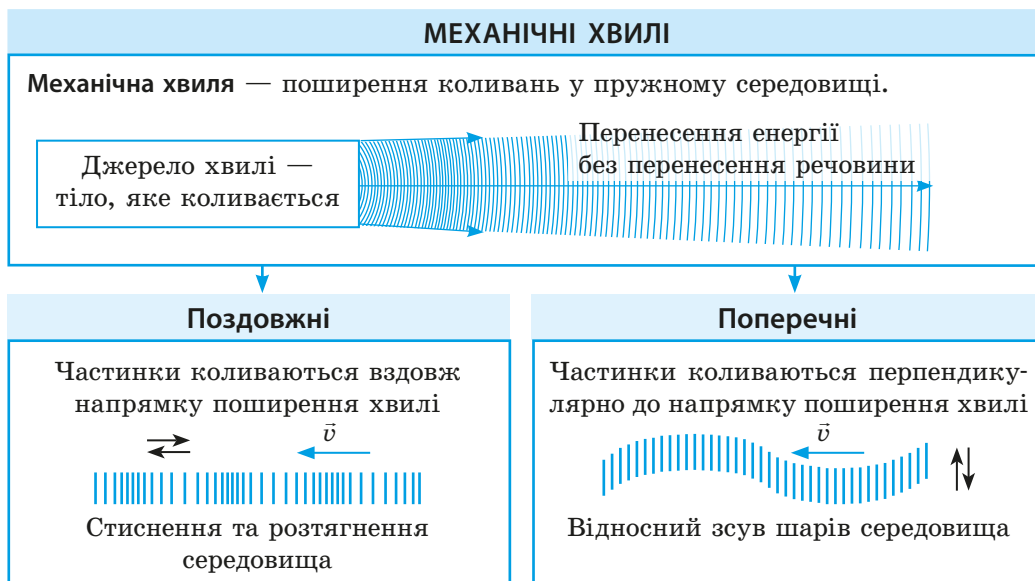
Радіохвилі • Ультракороткі радіохвилі • Стільникова мережа • Радіолокація • Радіолокатор



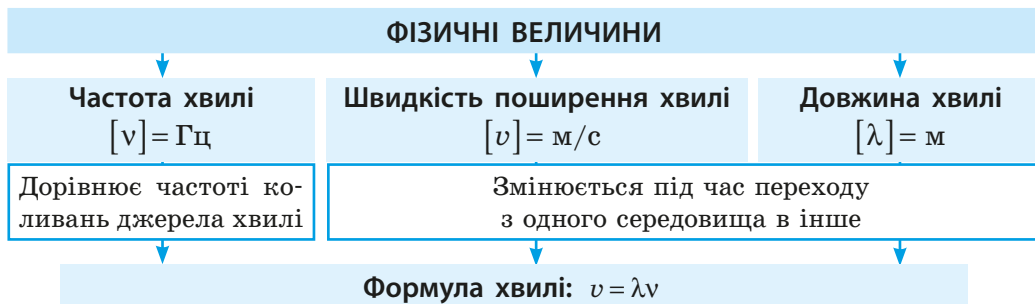
rnk.com.ua/
115313

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ РОЗДІЛУ 3

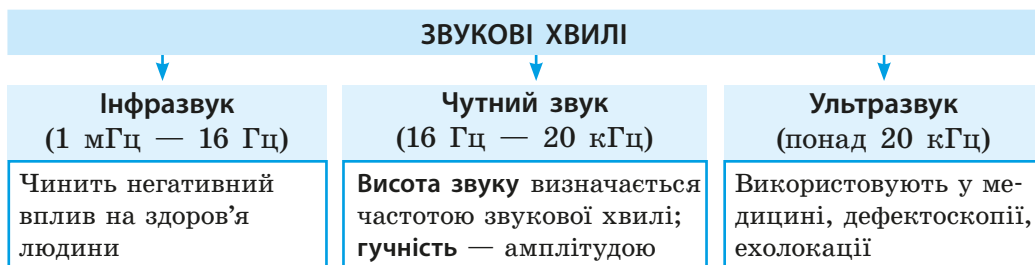
1. Ви дізналися про існування *механічних хвиль* та їх *види*.



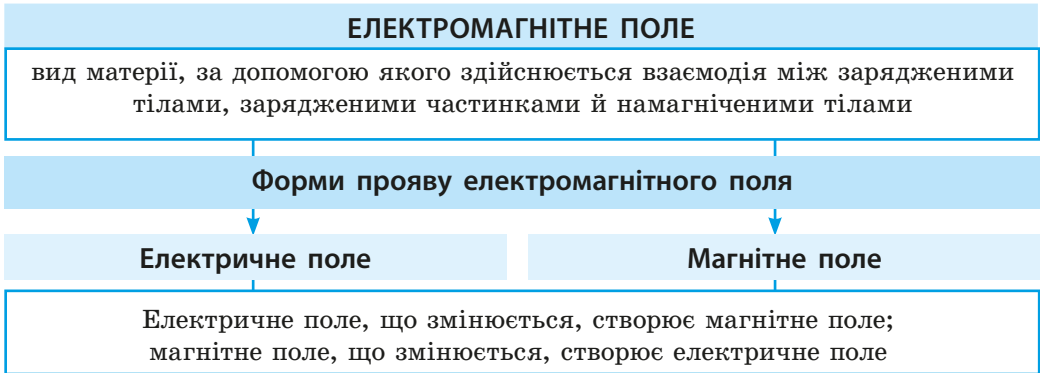
2. Ви дізналися про *фізичні величини*, які характеризують *механічні хвилі*, та встановили співвідношення між ними.



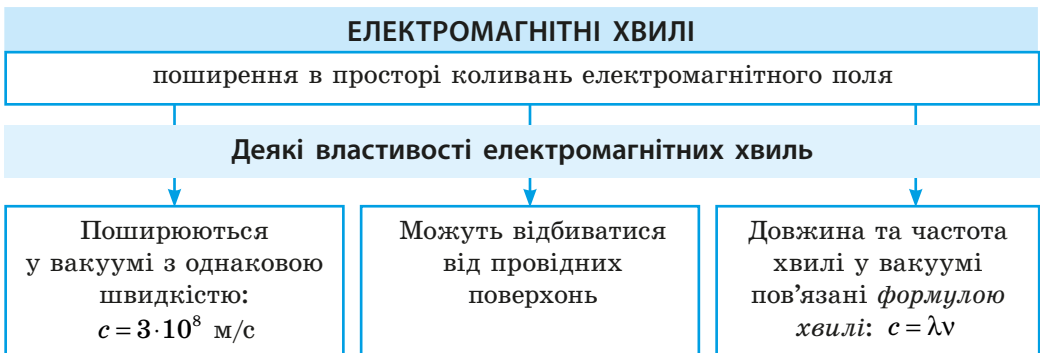
3. Ви ознайомилися зі звуковими хвилями та з'ясували, що *звукові хвилі* — це *механічні хвилі певної частоти*.



4. Ви довідалися, що теоретичні дослідження *Дж. Максвелла* та численні експерименти довели нерозривний зв'язок між електричним і магнітним полями. Ці поля утворюють єдине електромагнітне поле.



5. Ви дізналися, що в природі існують *електромагнітні хвилі*, ознайомились із властивостями електромагнітних хвиль *різних діапазонів* і деякими прикладами їх застосування.



Збільшується частота — зменшується довжина електромагнітної хвилі

Радіо-хвилі	Оптичний діапазон			Рентгєнівське випромінювання	γ-випромінювання
	інфрачервоне випромінювання	видиме світло	ультрафіолетове випромінювання		

Збільшується проникна здатність; посилюється хімічна активність

6. Ви з'ясували, що на властивостях *ультракоротких радіохвиль* поширюватися вузьким пучком і відбиватися від перешкод ґрунтується **радіолокація** — виявлення, розпізнавання та визначення місця розташування об'єктів за допомогою радіохвиль. Відстань s до об'єкта визначають за часом t проходження радіоімпульсу до об'єкта й назад:

$$s = \frac{ct}{2}$$

ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМООЦІНЮВАННЯ ДО РОЗДІЛУ 3



rnk.com.ua/
114233

Група результатів 1. Проводимо дослідження природи

1. (2 бали) Виберіть усі правильні твердження, що стосуються хвилі, джерелом якої є голосові зв'язки людини (рис. 1).

А У повітрі ця хвиля є поздовжньою.

Б Найшвидше ця хвиля поширюється у вакуумі.

В Частота цієї хвилі визначає її тон.

Г Ця хвиля відбивається лише від провідних тіл.



Рис. 1

2. (2 бали) На рис. 2 зображено механічну хвилю, що поширюється гірляндою. Яка швидкість поширення цієї хвилі, якщо відомо, що рука, яка коливає гірлянду, робить 6 коливань за 5 с?

А 0,9 м/с Б 1,2 м/с В 1,25 м/с Г 1,8 м/с

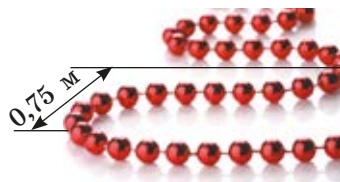


Рис. 2

3. (2 бали) Які з наведених властивостей характерні для поздовжніх механічних хвиль?

А Не поширюються у вакуумі.

Б Частини середовища коливаються перпендикулярно до напрямку поширення хвилі.

В Під час їх поширення виникає деформація стиснення.

Г Можуть поширюватися в рідинах, газах, твердих тілах.

4. (3 бали) Натягнутим шнуром поширюється хвиля (рис. 3). У якому напрямку рухається точка А в зафіксований на рисунку момент часу?

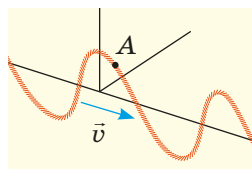


Рис. 3

5. (3 бали) Хлопчик побачив спалах блискавки, а за пів хвилини почув гуркіт грому. Після чергового спалаху гуркіт було чути вже за 10 с. На якій відстані від хлопчика відбувались іскрові газові розряди? Чи потрібно хлопчикові якнайшвидше сховатися від грози?

Група результатів 2. Здійснюємо пошук та опрацьовуємо інформацію

6. (1 бал) Уперше швидкість поширення звуку в металах виміряв...

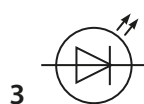
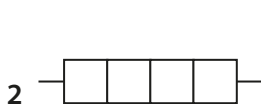
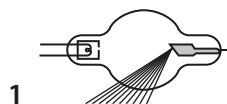
А Жан-Батист Біо

В Шарль Штурм

Б Жан Колладон

Г Марен Мерсенн

7. (2 бали) Установіть відповідність між позначенням пристрою (1–4) і назвою відповідного електромагнітного випромінювання (А–Д).



А Радіохвилі

Б Інфрачервоне випромінювання

В Видиме світло

Г Рентгенівське випромінювання

Д Гамма-випромінювання

8. (2 бали) Згадайте шкалу електромагнітних хвиль і розташуйте хвилі оптичного діапазону зазначених кольорів за збільшенням довжини хвилі.
 А Зелений Б Блакитний В Червоний Г Фіолетовий
9. (3 бали) Установіть відповідність між приймачем (1–3) і видом електромагнітних хвиль (А–Г), для приймання яких він призначений.
- | | |
|--------------------------|-------------------------------|
| 1 Прилад нічного бачення | А γ -випромінювання |
| 2 Супутникова антенна | Б Радіохвилі |
| 3 Око людини | В Інфрачервоне випромінювання |
| | Г Видиме світло |
10. (4 бали) За графіком коливань джерела механічної хвилі (рис. 4) визначте частоту й довжину хвилі, якщо вона поширюється зі швидкістю 20 м/с.

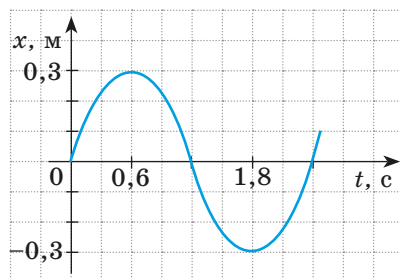


Рис. 4

Група результатів 3.

Усвідомлюємо закономірності природи

11. (1 бал) На якій властивості механічних хвиль ґрунтується ехолокація?
 А Відбивання хвилі
 Б Перенесення енергії без перенесення речовини
 В Залежність довжини хвилі від середовища, у якому поширюється хвиля
 Г Зменшення амплітуди хвилі зі збільшенням відстані від джерела хвилі
12. (2 бали) Людина, яка стоїть на відстані 170 м від хмарочоса, сплескує в долоні. Через який час після сплеску людина може почути відлуння?
 А 0,5 с Б 1 с В 2 с Г 4 с
13. (3 бали) Якою є довжина звукової хвилі в повітрі, якщо джерело звуку здійснює 5100 коливань за хвилину? Якою є довжина цієї хвилі у воді?
14. (2 бали) Робоча бджола, що летить по взятку, робить у середньому 180 помахів крилами за секунду. Коли ж ця бджола повертається до вулика, кількість помахів крилами за секунду зростає до 280. Як це відбивається на звуці, який ми чуємо?
15. (4 бали) Радіохвилі, довжина яких 6 м, переходять із вакууму в середовище, де швидкість їхнього поширення в 1,5 раза менша, ніж у вакуумі. Визначте частоту й довжину радіохвилі в цьому середовищі.

Звірте ваші відповіді з наведеними в кінці підручника й оцініть свої результати навчання за кожною групою. Поміркуйте, що вдалося найкраще, над чим треба ще попрацювати. Продовжуйте відкривати для себе світ фізики!

ТЕМИ ПОВІДОМЛЕНЬ

1. Механізм утворення хвиль на поверхні води.
2. Дивовижне відлуння.
3. Що таке акустичні резонатори й де їх застосовують.
4. Ефект Доплера та його використання для контролю швидкості руху транспортних засобів.
5. Чоловічі, жіночі, дитячі голоси: як і чому вони відрізняються.
6. Ультразвукова кавітація. Застосування ультразвуку в техніці.
7. Утворення інфразвуку в океані.
8. Візуалізація звукових коливань.
9. Еволюція мобільного зв'язку.
10. Історія винайдення радіо.
11. Електромагнітний смог.
12. Використання радіолокації в астрономії.
13. Ефект Доплера в астрономії, або Як доведено, що галактики розлітаються.
14. Дія ультрафіолетового випромінювання на організм людини.
15. В. Рентген чи І. Пулюй: хто першим відкрив X-промені?

ТЕМИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Виготовлення різноманітних джерел звуку та вивчення їхніх акустичних характеристик.
2. З'ясування залежності висоти звуку від частоти коливань джерела звукових хвиль.
3. Вивчення процесів відбивання, заломлення та накладання механічних хвиль на поверхні води.

ТЕМИ НАВЧАЛЬНИХ ПРОЄКТІВ

1. Звуки в житті людини.
2. Застосування інфра- й ультразвуків у техніці.
3. Вібрації та шуми і їхній вплив на організми.
4. Електромагнітні хвилі в природі й техніці.
5. Вплив електромагнітного випромінювання на організм людини.
6. Види шумового забруднення. Вимірювання рівня шумового забруднення. Вивчення впливу шумового забруднення на організми.
7. Музичні інструменти як джерела звукових хвиль.

Під час роботи над навчальними проєктами радимо ознайомитися з деякими порадами щодо їх створення і презентації («Етапи роботи над навчальним проєктом») в інтерактивному електронному додатку.



mnk.com.ua/
114218



РОЗДІЛ 4

СВІТЛОВІ ЯВИЩА

**ФІЗИЧНА
БАЗА:
ЩО ВЖЕ
ЗНАЄМО**



[rnk.com.ua/
114621](http://rnk.com.ua/114621)

Підготуйтеся
до опанування
нової теми



Ви багато разів бачи-
ли веселку, а тепер
дізнаєтеся, як її
зробити в себе вдома

Ви добре знаєте приказку
«Уночі всі коти сірі», а тепер
зможете її пояснити з погляду
фізики

Ви розумієте,
що дехто не може
обійтися без окулярів,
а тепер дізнаєтеся,
чому окуляри допома-
гають бачити краще



rnk.com.ua/
114234

§ 22. ДЖЕРЕЛА ТА ПРИЙМАЧІ СВІТЛА. ШВИДКІСТЬ ПОШИРЕННЯ СВІТЛА

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. «Усмішка!» — зненацька лунає голос фотографа, а його пальці натискають на спуск. Ви інстинктивно затуляєте обличчя долонями, щоб уникнути яскравого спалаху. Та чи встигнете ви випередити фотоспалах і сховати обличчя? Чи можливо «обігнати» світло?

1. Якою є швидкість поширення світла?

Швидкість c поширення світла є величезною, й у вакуумі вона становить приблизно триста тисяч кілометрів за секунду:

$$c = 299\,792\,458 \frac{\text{м}}{\text{с}} *$$

Світло долає багатокілометрові відстані за тисячні частки секунди. Саме тому в разі, коли відстань від приймача до джерела світла є невеликою, здається, що світло поширюється миттєво. А от від далеких зір світло йде до нас тисячі й мільйони років.

2. Що таке джерела світла?

Джерела світла — це фізичні тіла, частинки яких випромінюють світло.

Погляньте навколо, зверніться до свого досвіду — і ви, без сумніву, назвете багато джерел світла: Сонце та інші зорі, блискавка, полум'я свічки, лампа, монітор ноутбука тощо (див., наприклад, [рис. 22.1](#)). Світло можуть випромінювати й деякі істоти (світлячки — яскраві цятки світла, які можна побачити теплої літньої ночі в лісовій траві, деякі морські тварини, радіолярії та ін.).

* Під час розв'язування задач будемо використовувати *приблизне значення швидкості поширення світла у вакуумі*: $c \approx 300\,000 \frac{\text{км}}{\text{с}} = 3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

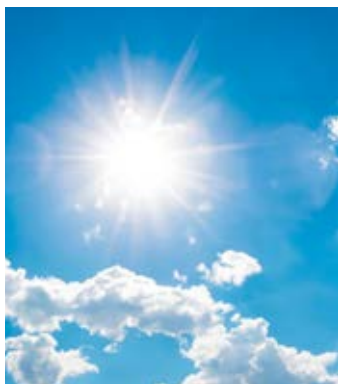


Рис. 22.1. Деякі джерела світла

Ясної місячної ночі ми можемо досить добре бачити предмети, освітлені місячним сяйвом. Однак Місяць не можна вважати джерелом світла, адже він не випромінює, а тільки відбиває світло, що йде від Сонця.

Чи можна назвати джерелом світла дзеркало, за допомогою якого ви посилаете сонячного зайчика? Обґрунтуйте свою відповідь.



Рис. 22.2. Прожектори на стадіоні випромінюють потужний потік світла, тому на полі ясно навіть уночі

3. Якими бувають джерела світла?

Залежно від походження розрізняють **природні й штучні** (створені людиною) джерела світла.

До *природних джерел світла* належать, наприклад, Сонце та інші зорі, розпечена лава та полярні сяйва, деякі світні об'єкти з-поміж тварин і рослин (глибоководна каракатиця, світні бактерії, світлячки).

Природні джерела не можуть задовольнити потребу людини у світлі, тому ще в давнину почали створювати *штучні джерела світла*. Спочатку це були вогнище й каганець, пізніше — свічки, оливні та газові лампи; наприкінці XIX ст. було винайдено електричну лампу. Зараз різні види електричних ламп використовують усюди (рис. 22.2, 22.3).

Джерела світла можна поділити на **телові** та **люмінесцентні**.



Рис. 22.3. Сигнали сучасних світлофорів добре помітні навіть тоді, коли яскраво світить сонце. У таких світлофорах працюють світлодіодні лампи

Теплові джерела випромінюють світло завдяки тому, що мають високу температуру (рис. 22.4).

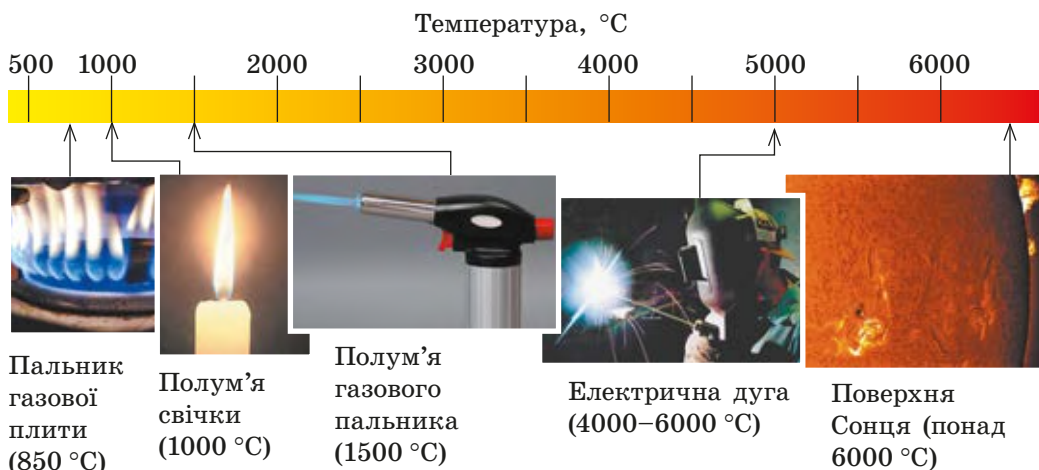


Рис. 22.4. Деякі теплові джерела світла

Для світіння *люмінесцентних джерел світла* не потрібна висока температура: світлове випромінювання може бути доволі інтенсивним, а джерело при цьому залишається відносно холодним. Прикладами люмінесцентних джерел світла є полярне сяйво та морський планктон, екран телефона, світловий індикатор, світлодіодна лампа й дорожній знак, вкритий люмінесцентною фарбою, тощо.

ДОСЛІДЖЕННЯ

Що знадобиться: джерела світла, наявні навколо вас; ручка; папір.

Подивіться навкруги й знайдіть п'ять джерел світла. З'ясуйте, до яких видів джерел вони належать. Складіть відповідну таблицю.



4. Яка різниця між точковими та протяжними джерелами світла?

Джерело світла, яке випромінює світло однаково в усіх напрямках і розміра-ми якого, зважаючи на відстань до місця спостереження, можна знехтувати, називають **точковим джерелом світла**.

Найкращим прикладом точкових джерел світла є зорі (за винятком Сонця), адже ми спостерігаємо їх із Землі, тобто з відстані,

що в мільйони разів перевищує розміри самих зір.

Джерела світла, що не є точковими, називають *протяжними джерелами світла*.

У більшості випадків ми маємо справу саме з протяжними джерелами світла. Це і лампа денного світла, і екран мобільного телефона, і полум'я свічки, і вогонь багаття, і, зрозуміло, Сонце.

Залежно від умов те саме джерело світла може вважатися як протяжним, так і точковим.

5. Що таке приймачі світла?

Приймачі світла — це пристрої, за допомогою яких можна виявити світлове випромінювання.

Приймачі світла бувають *штучними* й *природними*. У будь-якому приймачі світла енергія світлового випромінювання перетворюється на інші види енергії — теплову, яка виявляється в нагріванні тіл, що поглинають світло, електричну, хімічну та навіть механічну. Унаслідок таких перетворень приймачі певним чином реагують на світло.

Наприклад, деякі системи охорони працюють на *фотоелектричних приймачах світла* — **фотоелементах**. Тонкі пучки світла буквально пронизують простір навколо об'єкта, що перебуває під охороною, і спрямовані на фотоелементи (рис. 22.5). Якщо перекрити один із таких променів, фотоелемент не одержить світлову енергію та негайно «повідомить» про це.

Природними приймачами світла є очі живих істот (рис. 22.6). Під дією світла в сітківці ока відбуваються певні хімічні реакції, виникають нервові імпульси, унаслідок чого мозок формує уявлення про довкілля.

На рисунку зображено світильники для ландшафтного освітлення парку.



У якому, на вашу думку, випадку такий світильник можна вважати точковим джерелом світла?

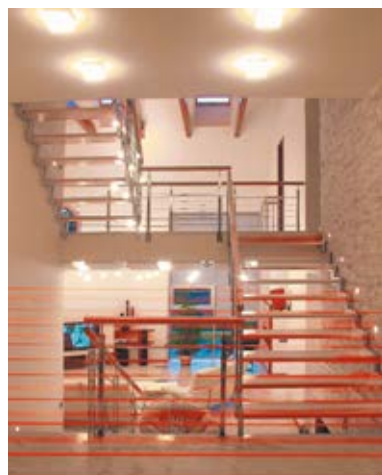


Рис. 22.5. У сучасних охоронних системах використовують чутливі фотоелементи



Рис. 22.6. Очі живих істот — це природні приймачі світла

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...



Від найближчої до Сонячної системи зорі Проксима Центавра світло йде до Землі понад чотири роки. Дивлячись на цю зорю, ми насправді бачимо не її зараз, а ту, якою вона була чотири роки тому. Але ж існують галактики, віддалені від нас не на чотири, а на мільйони світлових років (тобто світло від Землі йде до них мільйони років). Уявіть собі, що в такій галактиці існує цивілізація, представники якої змогли побачити нашу Землю. Але вони побачать не сучасну Землю, а ту, що була багато мільйонів років тому, ще за часів динозаврів.



ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ





КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Якою є швидкість поширення світла у вакуумі? 2. Дайте означення джерела світла. Наведіть приклади. 3. Наведіть приклади природних і штучних джерел світла. 4. Що спільного мають теплові й люмінесцентні джерела світла? Чим вони відрізняються? 5. За яких умов джерело світла вважають точковим? 6. Які пристрої називають приймачами світла? Наведіть приклади.



ВПРАВА № 22

- До яких видів джерел світла належать джерела, зображені на рисунку?
- Для кожного рядка визначте «зайве» слово або словосполучення.
 - полум'я свічки, Сонце, зоря, Місяць, світлодіодна лампа;
 - світлодіодна лампа, блискавка, зоря, факел;
 - електролампа, полум'я газового пальника, багаття, радіолярія.
- За який приблизно час світло проходить відстань від Сонця до Землі — 150 млн км?
- У яких випадках Сонце можна вважати точковим джерелом світла? Наведіть приклади.
- Однією з одиниць довжини, яку застосовують в астрономії, є *світловий рік*. Скільки кілометрів становить світловий рік, якщо він дорівнює відстані, яку долає за один рік світло у вакуумі?
- Дізнайтеся, хто першим виміряв швидкість поширення світла. Що саме стало поштовхом для вченого?



1 Телефон



2 Факел



3 Світлячок

Ключові терміни

Джерела світла • Приймачі світла • Точкове джерело світла • Протяжне джерело світла • Швидкість поширення світла

ФІЗИКА І ТЕХНІКА В УКРАЇНІ



Олександр Теодорович Смакула (1900–1983) — видатний український фізик і винахідник, винайшов спосіб поліпшення оптичних пристроїв («просвітлення оптики»). Суть відкриття в тому, що поверхню лінзи вкривають шаром спеціального матеріалу завтовшки в десятки частки мікрметра, що значно зменшує відбивання світла від поверхні лінзи й водночас збільшує контрастність зображення. Патент на це відкриття й сьогодні використовує більшість виробників оптичних пристроїв.



rnk.com.ua/
114235

§ 23. ПОШИРЕННЯ СВІТЛА В ОДНОРІДНОМУ СЕРЕДОВИЩІ

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Погляньте на сонячне світло, що пробивається крізь хмари (див. фото на заставці). Що ви спостерігаєте: реальне фізичне явище чи оптичну ілюзію? Як насправді поширюється світло в однорідному середовищі?

1. Чим відрізняються пучок світла та світловий промінь?

Для спостереження світлових пучків нам не потрібне жодне спеціальне обладнання. Достатньо, наприклад, відчинити двері з освітленою кімнати в темний коридор або ввімкнути в темряві ліхтарик чи прожектор (рис. 23.1).

Опишіть декілька випадків, у яких ви спостерігали світлові пучки. На яку особливість світлових пучків ви звернули увагу?



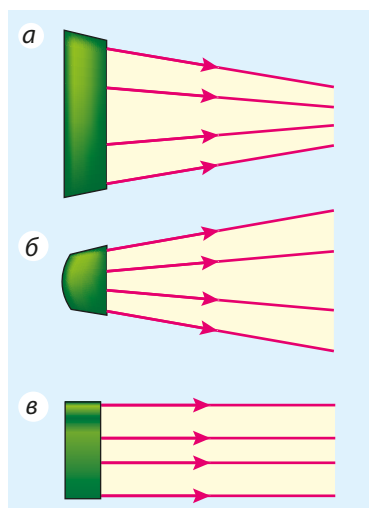
Рис. 23.1 Пучок світла від прожектора

Для схематичного зображення світлових пучків використовують світлові промені.

Світловий промінь — це лінія, що вказує напрямок поширення світлового пучка.

Рис. 23.2 демонструє різницю між світловим променем (червона лінія зі стрілкою) і пучком світла (світло-жовта зона).

Рис. 23.2 Світлові пучки: *a* — збіжний; *б* — розбіжний; *в* — паралельний



2. Як поширюється світло?

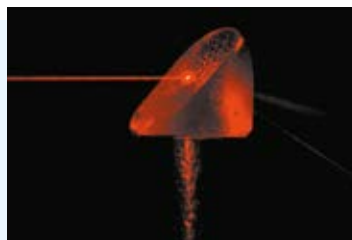
У геометрії поняття прямої лінії сформувалося на основі уявлень про світлові промені. Ще понад 2500 років тому давньогрецький учений Евклід звернув увагу на те, що світло поширюється прямолінійно. Сьогодні це спостереження відоме як **закон прямолінійного поширення світла**:

У прозорому однорідному середовищі світло поширюється прямолінійно.

А ЯК НАСПРАВДІ?



В одній із соціальних мереж з'явилася публікація з гучним заголовком «Сенсація! Учені отримали докази порушення закону прямолінійного поширення світла». Публікацію супроводжувало фото (праворуч). А як насправді?



3. Як утворюються повна тінь і півтінь?

Прямолінійністю поширення світла можна пояснити те, що будь-яке непрозоре тіло, освітлене джерелом світла, відкидає **тінь**.

Якщо джерело світла є точковим, тінь від предмета буде чіткою. У цьому випадку утворюється тільки *повна тінь* (рис. 23.3).

Повна тінь — це ділянка простору, в яку не потрапляє світло від джерела.

Якщо тіло освітлене протяжним джерелом світла, то утворюється тінь із нечіткими контурами, тобто утворюється не тільки повна тінь, а ще й *півтінь* (рис. 23.4).

Півтінь — це ділянка простору, освітлена деякими з наявних точкових джерел світла або частиною протяжного джерела.

Рис. 23.4. Утворення повної тіні O_1 і півтіні O_2 від предмета O , освітленого протяжним джерелом світла S

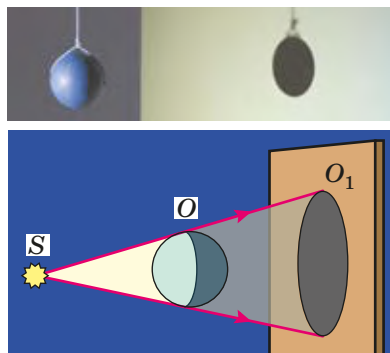
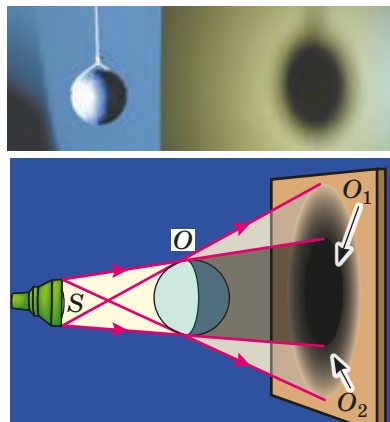


Рис. 23.3. Утворення повної тіні O_1 від предмета O , освітленого точковим джерелом світла S



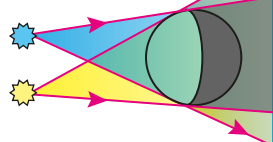
ДОСЛІДЖЕННЯ

Що знадобиться: два ліхтарики (можна використовувати той, що є в телефоні); будь-який непрозорий предмет (монета, іграшка, статуетка, пенал, ластик тощо).

У темній кімнаті ввімкніть ліхтарик. На відстані 15–20 см від нього розташуйте непрозорий предмет. Спостерігайте утворення повної тіні та півтіні. З'ясуйте, у якому випадку розміри тіні та півтіні збільшуватимуться. Увімкніть два ліхтарики, розташуйте їх відносно предмета так, щоб повна тінь зникла, а залишилася тільки півтінь.

Поміркуйте, як розташувати ліхтарик і монету, щоб отримати: тінь круглої форми; тінь овальної форми. Виконайте схематичний рисунок останнього досліду.

Чи бачимо ми світло від джерела, перебуваючи в зоні повної тіні? півтіні? Яким, на вашу думку, буде контур півтіні (чітким чи розмитим), якщо предмет освітлювати двома точковими джерелами світла (див. рисунок)?



Утворення повної тіні й півтіні в космічних масштабах ми спостерігаємо під час сонячного та місячного затемнень.

Унаслідок обертання Місяця навколо Землі іноді стається так, що Місяць, Сонце і Земля опиняються на одній прямій. Якщо при цьому Місяць розташований між Сонцем і Землею, то тінь від Місяця падає на Землю — на Землі спостерігається **сонячне затемнення** (рис. 23.5).

У тих місцях Землі, на які впала повна тінь від Місяця, спостерігається *повне сонячне затемнення*, а в місцях півтіні — *часткове сонячне затемнення*.

За рік на Землі спостерігається 2–5 сонячних затемнень.

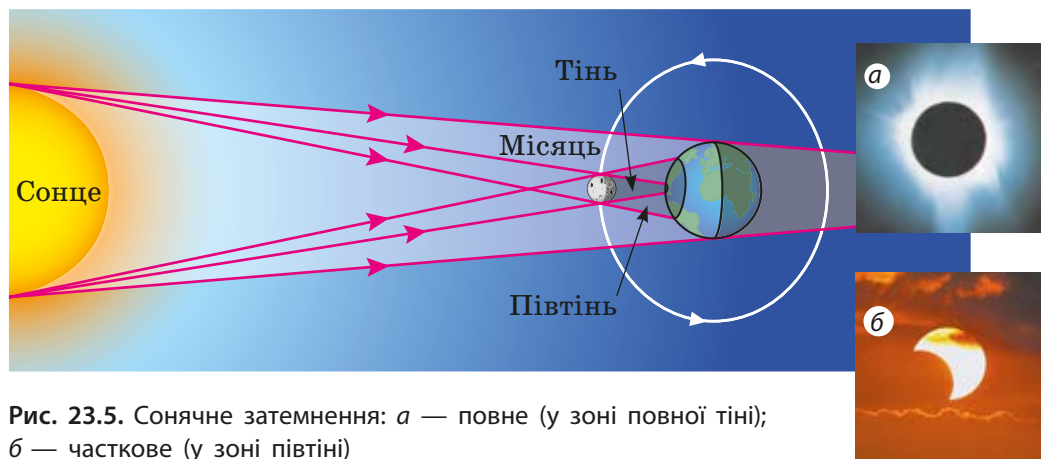


Рис. 23.5. Сонячне затемнення: а — повне (у зоні повної тіні); б — часткове (у зоні півтіні)

Коли Місяць, обертаючись навколо Землі, потрапляє в зону тіні, яку відкидає Земля, настає **місячне затемнення** (рис. 23.6). За рік на Землі спостерігається 2–4 місячних затемнення.

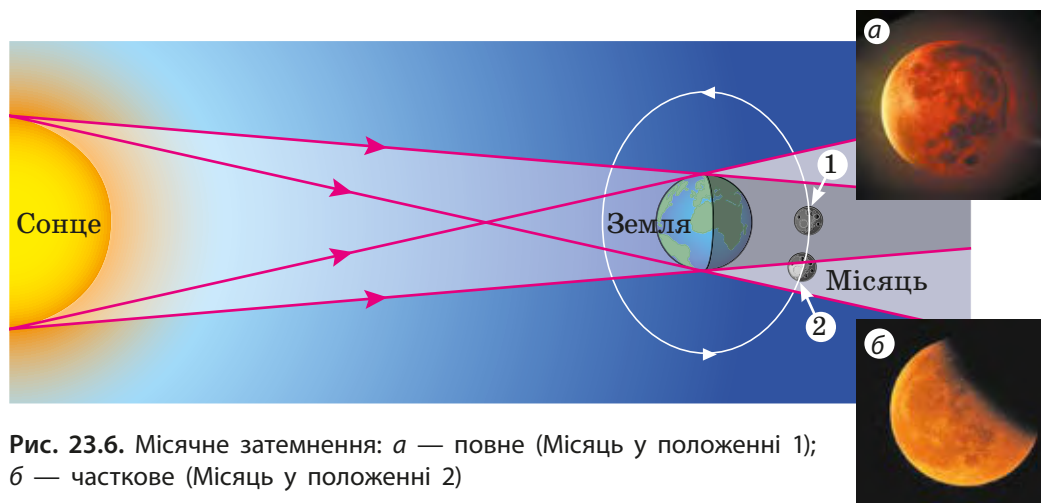


Рис. 23.6. Місячне затемнення: а — повне (Місяць у положенні 1); б — часткове (Місяць у положенні 2)

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...



Першими приладами для вимірювання часу були *сонячні годинники*. Дія сонячного годинника базується на тому, що довжина та розташування тіні від освітлюваного сонцем предмета змінюються протягом дня.

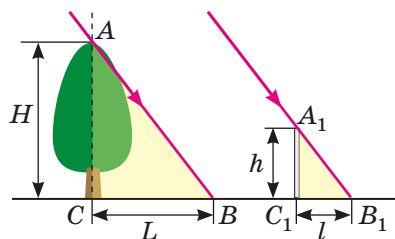
Будь-який сонячний годинник складається з *кадрана* (плоска поверхня з нанесеним на ній циферблатом) та *гномона* (стрижень, закріплений у центрі кадрана).



4. Учимся розв'язувати задачі

■ **Задача.** У сонячний день довжина тіні від вертикально поставленої метрової лінійки дорівнює 24 см, а довжина тіні від дерева — 3,6 м. Визначте висоту дерева. ■

Аналіз фізичної проблеми. Для розв'язання задачі скористаємося законом прямолінійного поширення світла. Виконаємо пояснювальний рисунок; зазначимо, що пучок світла, який іде від Сонця, є паралельним.



Дано:

$h = 1 \text{ м}$

$l = 24 \text{ см} =$

$= 0,24 \text{ м}$

$L = 3,6 \text{ м}$

Знайти: $H - ?$ *Пошук математичної моделі, розв'язання*З рисунка бачимо, що $\triangle ACB \sim \triangle A_1C_1B_1$.З подібності трикутників маємо: $\frac{H}{h} = \frac{L}{l} \Rightarrow H = \frac{h \cdot L}{l}$.

Перевіримо одиницю, знайдемо значення шуканої величини:

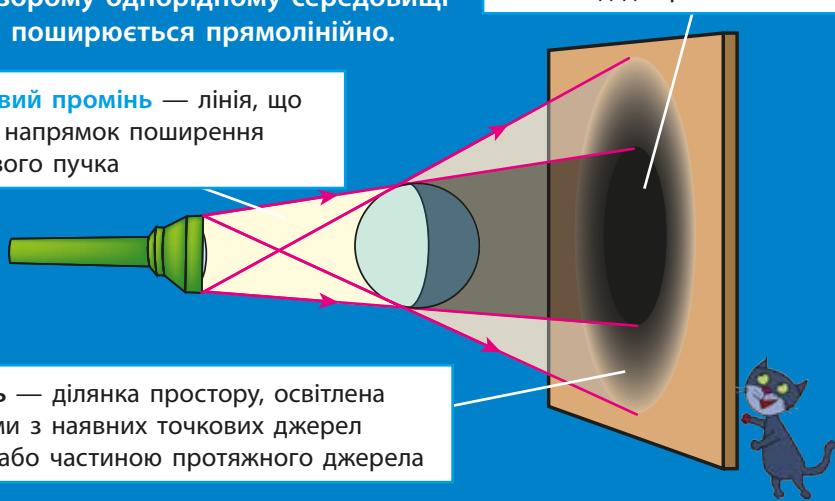
$$[H] = \frac{\text{м} \cdot \text{м}}{\text{м}} = \text{м}; \quad H = \frac{1 \cdot 3,6}{0,24} = \frac{360}{24} = \frac{30}{2} = 15 \text{ (м)}.$$

Відповідь: $H = 15 \text{ м}$.

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Закон прямолінійного поширення світла:

У прозорому однорідному середовищі світло поширюється прямолінійно.

Світловий промінь — лінія, що вказує напрямок поширення світлового пучка**Півтінь** — ділянка простору, освітлена деякими з наявних точкових джерел світла або частиною протяжного джерела**Повна тінь** — ділянка простору, в яку не потрапляє світло від джерела

Сонце — Місяць — Земля

ЗАТЕМНЕННЯ

Сонце — Земля — Місяць

сонячне

місячне



КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Дайте означення світлового променя.
2. Сформулюйте закон прямолінійного поширення світла.
3. Які досліди та явища підтверджують прямолінійність поширення світла?
4. За яких умов предмет утворюватиме тільки повну тінь? повну тінь і півтінь?
5. Коли на Землі спостерігається повне сонячне затемнення? часткове сонячне затемнення?
6. Коли на Землі спостерігається повне місячне затемнення? часткове місячне затемнення?



ВПРАВА № 23

1. Розгляньте рис. 1 і дайте відповіді на запитання.

- а) Що спостерігається на стіні?
 А І повна тінь, і півтінь
 Б Тільки повна тінь
 В Тільки півтінь
- б) Назвіть умови, за яких тінь найбільш точно повторює форму об'єкта.
- в) Як зміниться спостережуване на стіні, якщо:
- ✓ джерело світла наблизити до рук;
 - ✓ віддалити від рук;
 - ✓ узяти джерело світла більшого розміру?

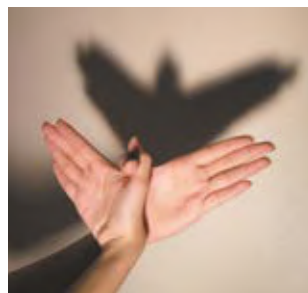


Рис. 1

2. На рис. 2 зображені джерело світла, непрозорий предмет і екран. Визначте, що спостерігатиметься в точках А, В, С, D.

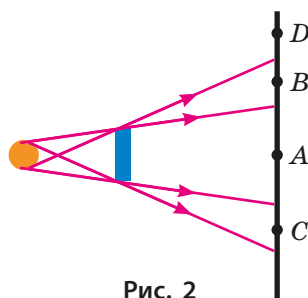


Рис. 2

3. Око спостерігача розташоване перед щільною в точці А (рис. 3). Знайдіть побудовою, яку частину дерева бачить спостерігач. У якій точці він бачитиме дерево повністю?

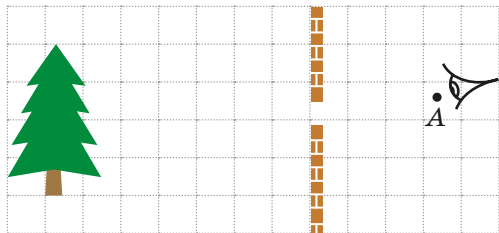


Рис. 3

4. М'яч освітлюється двома точковими джерелами світла S_1 і S_2 (рис. 4). Виконайте рисунок, зобразіть тінь і півтінь, які відкидає м'яч на екран.

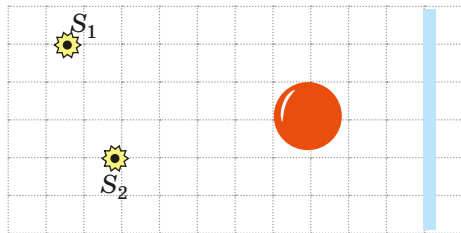


Рис. 4

5. Декілька років тому мешканці США спостерігали певне явище. Для створення його фотографії об'єднали декілька зображень, які були зроблені з незмінної точки знімання через певні проміжки часу (рис. 5). Яке явище спостерігали американці? Чи мали можливість мешканці Японії побачити те саме явище в той самий проміжок часу? А мешканці Франції? Відповідь обґрунтуйте.



Рис. 5

6. Електрична лампа, що має форму кулі діаметром 6 см, розташована на відстані 1 м від екрана. Визначте, на якій найменшій відстані від екрана треба розмістити тенісну кульку діаметром 4 см, щоб вона не відкидала тінь на екран, а давала тільки півтінь.

7. Чи змінюються розмір і положення тіні від стовпа протягом дня? Якщо змінюються, то як і чому?

8. За яких умов тіней від однієї людини буде декілька (рис. 6)?

9. Чому літак, що летить на великій висоті, не утворює тіні навіть сонячного дня? Пояснить свою відповідь, виконавши рисунок.

10. Пряму алею парку освітлює електричний ліхтар. Запропонуйте спосіб оцінити, на якій висоті висить ліхтар, без приладів для вимірювання довжини. Підказка: ви самі перебуваєте на цій алеї та знаєте свій зріст.



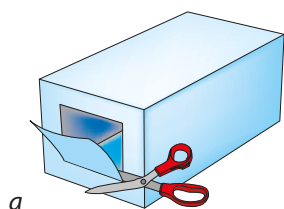
Рис. 6



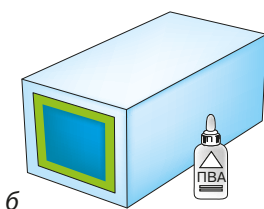
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

Виготовте *камеру-обскуру* (від латин. *camera* — кімната, *obscura* — темна), яку ще називають пінхол-камера (англ. *pinhole camera* — камера з отвором). Камеру-обскуру вважають «попередницею» сучасного фотоапарата.

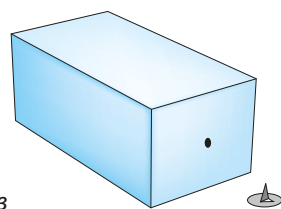
Для виготовлення камери (див. рисунок): 1) візьміть картонну коробку та зробіть екран: вирізавши в одній зі стінок коробки невелике віконце (а), заклейте віконце калькою (б); 2) на протилежному боці коробки зробіть отвір діаметром приблизно 2 мм (в).



а



б



в

У затемненому приміщенні наведіть отвір у камері на запалену свічку й отримайте зображення полум'я на екрані. Яким є це зображення: прямим чи перевернутим; збільшеним чи зменшеним; чітким чи розмитим? Згадайте закон прямолінійного поширення світла та поясніть, як утворюється це зображення.

Ключові терміни

Закон прямолінійного поширення світла • Світловий промінь • Повна тінь • Півтінь • Сонячне затемнення • Місячне затемнення



rnk.com.ua/
114236

§ 24. ВІДБИВАННЯ СВІТЛА

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Роздивіться фото на заставці: ідеально спокійне гірське озеро, у ньому гори й небо відображаються так чітко, ніби там унизу ще один світ. Обговоріть у парах: чому ми бачимо ці об'єкти саме там, під поверхнею озера? Чи завжди вода може виконувати роль дзеркала? За яких умов (погода, час доби, стан води) це ідеальне «дзеркало» може зникнути?

1. Чому ми бачимо тіла, які не є джерелами світла?

Ви вже знаєте, що в однорідному прозорому середовищі світло поширюється прямолінійно. А що відбувається, якщо на шляху пучка світла є якесь тіло? Частина світла може пройти *крізь* тіло, якщо це тіло прозоре, частина *поглинеться*, а частина *відіб'ється* від тіла. Деякі відбиті промені потраплять у наші очі, і ми побачимо це тіло (рис. 24.1).

2. Яким законам підпорядковується відбивання світла?

Для візуалізації законів відбивання світла скористаємося *оптичною шайбою**. У центрі шайби перпендикулярно до її поверхні закріпимо дзеркало та спрямуємо на нього вузький пучок світла (рис. 24.2).

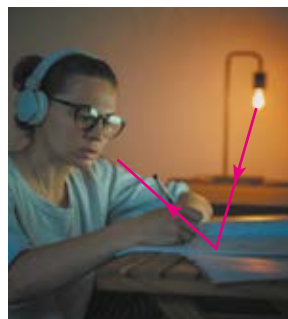


Рис. 24.1. Наявність джерела світла дозволяє побачити предмети, які відбивають світло, що йде від джерела



Рис. 24.2. Установлення законів відбивання світла за допомогою оптичної шайби

* *Оптична шайба* — це білий диск, на якому нанесено поділки; на краю диска встановлено освітлювач.

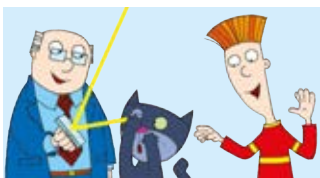


Рис. 24.3. Зі зміною кута падіння світла змінюється й кут відбивання. Кут відбивання β щоразу дорівнює куту падіння α



Рис. 24.4. Демонстрація оборотності світлових променів: відбитий промінь іде шляхом падаючого променя

У якому напрямку треба повернути дзеркало професору, щоб сонячний зайчик потрапив на хлопчика?



Якщо кут падіння світлового пучка змінюватиметься, то відповідно змінюватиметься кут відбивання, причому щоразу *кут падіння і кут відбивання світла будуть рівними між собою* (рис. 24.3). Отже, сформулюємо **закони відбивання світла**:

1. Промінь падаючий, промінь відбитий і перпендикуляр до поверхні відбивання, проведений із точки падіння променя, лежать в одній площині.
2. Кут відбивання дорівнює куту падіння: $\beta = \alpha$.

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...



Закони відбивання світла установив давньогрецький учений *Евклід* ще в III ст. до н. е.

За допомогою дзеркала на оптичній шайбі можна продемонструвати також **оборотність світлових променів**: *якщо падаючий промінь спрямувати шляхом відбитого, то відбитий промінь піде шляхом падаючого* (рис. 24.4).

3. Яке зображення дає плоске дзеркало?

Розглянемо, як утворюється зображення в плоскому дзеркалі. Нехай із точкового джерела світла S на поверхню плоского дзеркала падає розбіжний пучок світла. Із цього пучка виділимо промені SA , SB і SC . Користуючись законами відбивання світла, побудуємо відбиті промені AA_1 , BB_1 і CC_1 (рис. 24.5, *a*). Ці промені підуть *розбіжним* пучком. Якщо продовжити їх у протилежному напрямку (за дзеркало), усі вони перетнуться в одній точці — S_1 , яка розташована за дзеркалом.

Якщо частина відбитих від дзеркала променів потрапить у ваше око, вам здаватиметься, що відбиті промені виходять із

точки S_1 , хоча насправді ніякого джерела світла в точці S_1 не існує. Тому точку S_1 називають **уявним зображенням** точки S . *Плоске дзеркало завжди дає уявне зображення.*

З'ясуємо, як розташовані світна точка та її зображення відносно дзеркала. Для цього звернемося до геометрії. Розглянемо, наприклад, промінь SC , який падає на дзеркало та відбивається від нього (рис. 24.5, б).

З рисунка бачимо, що $\triangle SOC = \triangle S_1OC$ — це прямокутні трикутники, які мають спільну сторону CO і рівні гострі кути (оскільки за законом відбивання світла $\alpha = \beta$). З рівності трикутників маємо, що $SO = S_1O$, тобто точка S і її зображення S_1 є симетричними відносно поверхні плоского дзеркала.

Те саме можна сказати й про зображення протяжного предмета: *предмет і його зображення симетричні відносно поверхні плоского дзеркала.*

Отже, ми встановили такі загальні характеристики зображень у плоских дзеркалах.

1. Плоске дзеркало дає уявне зображення предмета.

2. Зображення кожної точки предмета в плоскому дзеркалі та власне предмет є симетричними відносно поверхні дзеркала, і це означає:

1) зображення предмета дорівнює за розміром самому предмету;

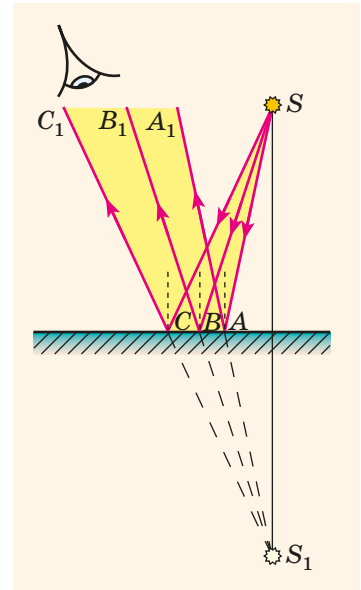
2) зображення кожної точки предмета розташоване на тій самій відстані від поверхні дзеркала, що й відповідна точка предмета;

3) відрізок, який сполучає точку на предметі з відповідною їй точкою на зображенні, є перпендикулярним до поверхні дзеркала.

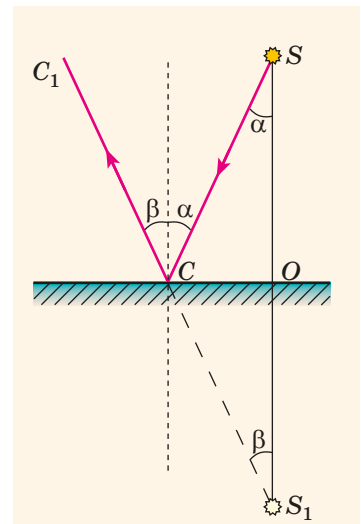
4. Чому в тканині не можна побачити своє зображення?

Увечері, коли в кімнаті горить світло, ми можемо бачити своє зображення у віконному склі. Але зображення зникає, якщо зсунути штори: дивлячись на тканину, ми свого зображення не побачимо.

А чому в тканині не можна побачити своє зображення? Відповідь на це запитання пов'язана щонайменше з двома фізичними явищами.



а



б

Рис. 24.5. Отримання зображення точкового джерела світла в плоскому дзеркалі: S — джерело світла; S_1 — уявне зображення джерела світла

Щоб з'явилося зображення, світло має відбитися від поверхні *дзеркально*: після дзеркального відбиття світла, що надходить від точкового джерела S , продовження відбитих променів перетнуться в одній точці S_1 , яка й буде зображенням точки S (рис. 24.6, а). Таке відбивання можливе тільки від гладеньких поверхонь. Їх називають *дзеркальними поверхнями*. Крім звичайного дзеркала, прикладами дзеркальних поверхонь є скло, поліровані меблі, спокійна поверхня води тощо (рис. 24.6, б, в).

Якщо світло відбивається від шорсткої поверхні, то таке відбивання називають *розсіяним (дифузним)* (рис. 24.7, а). У цьому випадку відбиті промені поширюються в різних напрямках (саме тому ми бачимо освітлений предмет із будь-якого боку), а їх продовження не перетинаються в одній точці. Зрозуміло, що поверхонь, які розсіюють світло, набагато більше, ніж дзеркальних (рис. 24.7, б, в).



Рис. 24.6. Дзеркальне відбивання світла — це відбивання світла від гладенької поверхні



Рис. 24.7. Розсіяне відбивання світла — це відбивання світла від шорсткої поверхні

Погляньте навколо та назвіть щонайменше десять поверхонь, які відбивають світло розсіяно.



Крім відбивання світла, на можливість бачити зображення впливає **поглинання світла**. Адже світло не тільки відбивається від фізичних тіл, але й поглинається ними. Найкращі відбивачі світла — дзеркала: вони можуть відбивати до 95 % падаючого світла. Добрими відбивачами світла є тіла білого кольору, а от чорна поверхня поглинає практично все світло, що падає на неї.

5. Учимся розв'язувати задачі

■ **Задача.** На рис. 1 схематично зображено предмет BC і дзеркало NM . Знайдіть графічно ділянку, з якої зображення предмета BC видно повністю. ■

Аналіз фізичної проблеми. Щоб бачити зображення певної точки предмета в дзеркалі, необхідно, щоб в око спостерігача відбилася хоча б частина променів, які падають із цієї точки на дзеркало. Зрозуміло: якщо в око відіб'ються промені, які виходять із крайніх точок предмета, то в око відіб'ються й промені, які виходять з усіх точок предмета.

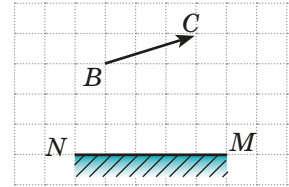


Рис. 1

Розв'язання, аналіз результатів

1. Побудуємо точку B_1 , яка є зображенням точки B у плоскому дзеркалі (рис. 2, а). Ділянка, обмежена поверхнею дзеркала та променями, відбитими від крайніх точок дзеркала, і буде тією ділянкою, з якої видно зображення B_1 точки B у дзеркалі.

2. Аналогічно побудувавши зображення C_1 точки C , визначимо ділянку її бачення в дзеркалі (рис. 2, б).

3. Бачити зображення всього предмета спостерігач може тільки в тому разі, якщо в його око потрапляють промені, які дають обидва зображення — B_1 і C_1 (рис. 2, в). Отже, ділянка, показана на рис. 2, в оранжевим, і є тією ділянкою, з якої зображення предмета видно повністю.

Проаналізуйте отриманий результат, ще раз розгляньте рис. 2 до задачі та запропонуйте простіший спосіб, як знайти ділянку бачення предмета в плоскому дзеркалі. Перевірте свої припущення, побудувавши ділянку бачення кількох предметів у два способи.

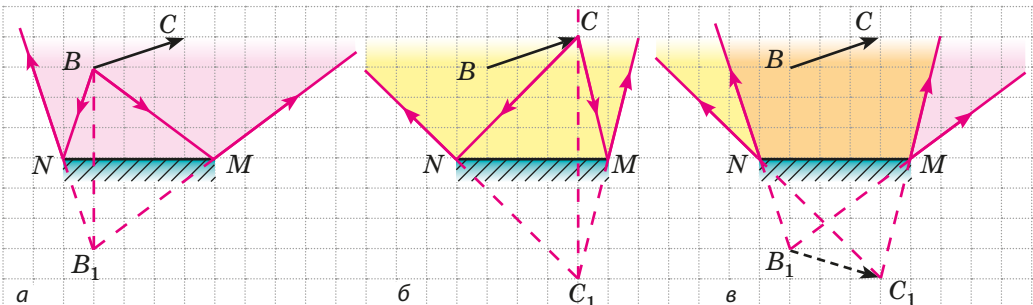
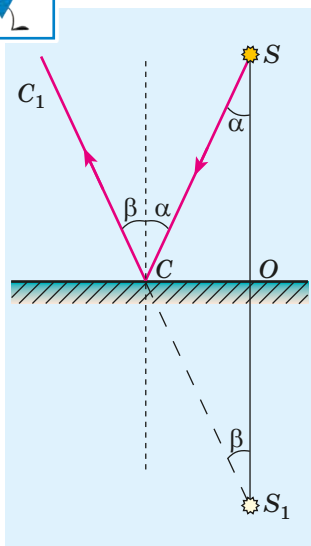


Рис. 2



ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ



Закони
відбивання
світла

Промінь падаючий, промінь відбитий і перпендикуляр до поверхні відбивання, проведений із точки падіння променя, лежать в одній площині

Кут відбивання дорівнює куту падіння: $\beta = \alpha$

уявне

дорівнює за розміром самому предмету

розташоване на такій самій відстані від дзеркала, що й предмет



Зображення
предмета
в плоскому
дзеркалі

дзеркальне

Зображення уявне

Відбивання
світла

розсіяне

Зображення не існує



КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Чому ми бачимо тіла навколо нас? 2. Який кут називають кутом падіння? кутом відбивання? 3. Сформулюйте закони відбивання світла. 4. За допомогою якого приладу можна переконатись у справдженні законів відбивання світла? 5. У чому полягає властивість оборотності світлових променів? 6. У якому випадку зображення називають уявним? 7. Схарактеризуйте зображення предмета в плоскому дзеркалі. 8. Чим розсіяне відбивання світла відрізняється від дзеркального?



ВПРАВА № 24

- Дівчинка стоїть на відстані 1,5 м від плоского дзеркала. На якій відстані від дівчинки розташоване її зображення? Схарактеризуйте його.
- Водій автомобіля в дзеркалі заднього огляду бачить пасажир, який сидить на задньому сидінні. Чи може пасажир у цей момент, дивлячись у те саме дзеркало, побачити очі водія?

3. Перенесіть рис. 1 до зошита, для кожного випадку побудуйте падаючий або відбитий промінь. Позначте кути падіння й відбивання.

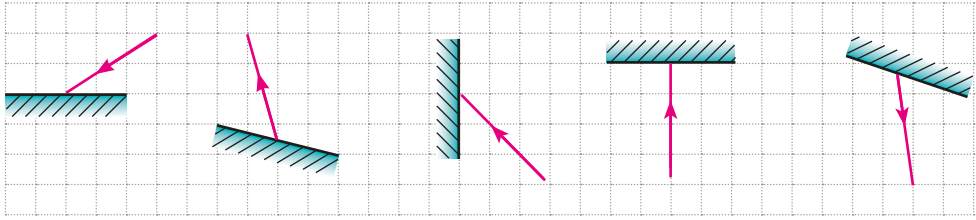


Рис. 1

4. Кут між падаючим і відбитим променями становить 80° . Чому дорівнює кут падіння променя?

5. Предмет, розташований на відстані 30 см від плоского дзеркала, пересунули на 10 см від дзеркала в напрямку, перпендикулярному до поверхні дзеркала, і на 15 см — паралельно їй. Якою була відстань між предметом і його зображенням? якою вона стала?

6. Ви прямуєте до дзеркальної вітрини зі швидкістю 4 км/год. Із якою швидкістю наближається до вас ваше зображення? На скільки скоротиться відстань між вами й вашим зображенням, коли ви пройдете 2 м?

7. Придумайте сюжет і складіть текст для рубрики «А як насправді?» за матеріалом параграфа.

8. Дівчинка дивиться в дзеркало, що висить на стіні під невеликим кутом (рис. 2).

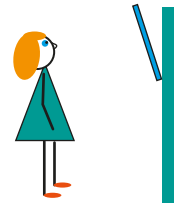


Рис. 2

- 1) Побудуйте зображення дівчинки в дзеркалі.
- 2) Знайдіть графічно, яку частину свого тіла бачить дівчинка; ділянку, з якої зображення дівчинки видно повністю.
- 3) Які спостерігатимуться зміни, якщо дзеркало поступово закривати непрозорим екраном?

9. Уночі у світлі фар автомобіля калюжа на асфальті здається водієві або водійці темною плямою на світлішому тлі дороги. Чому?

10. На рис. 3 подано фото, яке одержали за допомогою камери телефона без застосування програмних ефектів чи подальшого опрацювання зображення. Що потрібно зробити під час знімання, щоб отримати таке зображення?



Рис. 3



TOP SKILLS: РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

Прочитайте текст.

Сонячну енергію можна перетворювати на електричну не лише за допомогою панелей: є також сонячні теплові електростанції (СТЕС). Принцип дії таких станцій подібний до дії звичних теплових електростанцій — із котлом, турбіною та генератором. Різниця лише в тому, що воду нагріває сонячна енергія.

СТЕС будують у регіонах з високою сонячною активністю — наприклад, у пустелях. Але навіть цього недостатньо: потрібно ще зібрати сонячне випромінювання та спрямувати його на котел.

На рис. 1 показано СТЕС баштового типу: у центрі стоїть висока башта з котлом угорі, а тисячі дзеркал навколо відбивають сонячне світло на неї.

Існує й інший тип конструкції, де також використовують багато дзеркал, але кожне з них нагріває рідину окремо — трубка з робочою рідиною проходить просто по центру дзеркала (рис. 2).

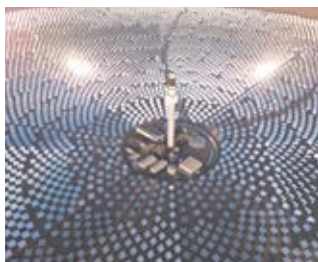


Рис. 1



Рис. 2

Дайте відповіді на запитання.

1. Чому сонячні теплові електростанції будують саме в пустелях?
2. У чому головна відмінність між звичайною тепловою електростанцією та сонячною тепловою?
3. На баштовій СТЕС 10 000 дзеркал (геліостатів) відбивають сонячне світло на котел. Припустімо, кожне дзеркало має площу 10 м^2 . Яка загальна площа всіх дзеркал? Скільки футбольних полів знадобилося б, щоб розмістити ці дзеркала?
4. Уявіть, що Сонце закрила величезна космічна хмара. Через скільки секунд на баштовій СТЕС перестане надходити світло до котла? Відстань від Сонця до Землі ≈ 150 млн км.
5. Уявіть, що ви інженер. Уночі або коли хмарно, СТЕС не працює. Запропонуйте спосіб, як можна було б накопичувати тепло вдень, щоб станція працювала й уночі.
6. Одна з баштових СТЕС має максимальну потужність 392 МВт. Скільки родин може забезпечити електроенергією така станція, якщо вважати, що одна родина споживає на місяць 400 кВт·год? Вважайте, що в пустелі 340 сонячних днів на рік і станція працює в середньому 10 год на добу.

7. «Зловити Сонце». Намалюйте схему променів для одного геліостата баштової СТЕС, коли Сонце стоїть: а) прямо над баштою; б) низько над горизонтом. Покажіть кут падіння і кут відбивання.

Ключові терміни

Кут падіння • Кут відбивання • Закони відбивання світла • Уявне зображення • Дзеркальне відбивання • Розсіяне відбивання



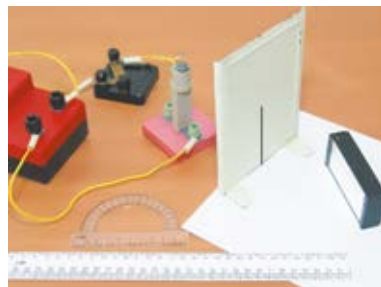
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

Тема. Дослідження відбивання світла від плоского дзеркала.

rnk.com.ua/114153

Мета: експериментально перевірити закони відбивання світла.

Обладнання: джерело світла (свічка або електрична лампа на підставці), екран зі щілиною (або лазерна указка, або ліхтарик, лампа якого закрита фольгою зі щілиною); плоске дзеркало; кілька чистих білих аркушів; лінійка; транспортир; олівець.



ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ

Підготовка до експерименту

- Перш ніж виконувати роботу, згадайте: 1) вимоги безпеки під час роботи зі скляними предметами; 2) закони відбивання світла.
- Зберіть експериментальну установку (рис. 1). Для цього:
 - установіть екран зі щілиною на білому аркуші;
 - переміщуючи джерело світла, отримайте на папері смужку світла;
 - під деяким кутом до смужки та перпендикулярно до аркуша установіть плоске дзеркало, переконавшись, що відбитий пучок світла також дає на аркуші добре помітну смужку.

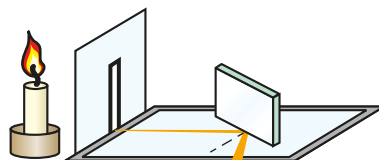


Рис. 1

Експеримент

Дотримуйтесь інструкції з безпеки.

- Добре заточеним олівцем накресліть на папері лінію вздовж дзеркала.

- Поставте на аркуші три точки: першу — посередині падаючого пучка світла, другу — посередині відбитого пучка світла, третю — у місці падіння світлового пучка на дзеркало (рис. 2).
- Повторіть описані дії ще кілька разів (на різних аркушах), установлюючи дзеркало під різними кутами до падаючого пучка світла.
- Змінивши кут між дзеркалом і аркушем, переконайтесь у тому, що в цьому випадку ви не побачите відбитого пучка світла.

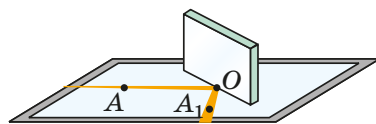


Рис. 2

Опрацювання результатів експерименту

Для кожного досліджу:

- побудуйте промінь, що падає на дзеркало, та відбитий промінь;
- з точки падіння променя встановіть перпендикуляр до поверхні дзеркала;
- позначте та виміряйте кут падіння (α) і кут відбивання (β) світла. Результати вимірювань занесіть до таблиці.

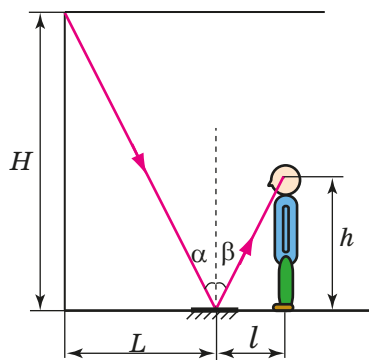
Номер досліджу	Кут падіння α , градуси	Кут відбивання β , градуси

Аналіз експерименту та його результатів

Проаналізуйте експеримент та його результати. Сформулюйте висновок, у якому зазначте: 1) яке співвідношення між кутом падіння світлового променя та кутом його відбивання ви встановили; 2) чи виявилися результати дослідів абсолютно точними, а якщо ні, то в чому причини похибки.

Творче завдання

Скориставшись рисунком, продумайте та запишіть план проведення експерименту з визначення висоти кімнати за допомогою плоского дзеркала; зазначте необхідне обладнання. За можливості проведіть експеримент.





rnk.com.ua/
114237

§ 25. ЗАЛОМЛЕННЯ СВІТЛА

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Розгляньте фото на заставці. Здається, ніби фотограф справді зламав ложку. А ви змогли б створити такий самий ефект? Є лише одна умова: коли ложку витягнуть зі склянки, вона має бути абсолютно неушкодженою. Обговоріть у парах, яке фізичне явище створює цю «аномалію». Чи зміниться вигляд ложки, якщо подивитися на неї зверху? Як зміниться зображення ложки, якщо замість води налити іншу рідину — наприклад, олію, оцет або спирт?

1. Як поводить ся світло на межі поділу двох середовищ?

Проведемо дослід (рис. 25.1). На плоску поверхню прозорого скляного півциліндра, закріпленого на оптичній шайбі, спрямуємо вузький пучок світла, — світло не тільки відіб'ється від поверхні циліндра, але й частково пройде крізь скло. Бачимо, що під час переходу з повітря в скло напрямок поширення світла змінився.

Зміну напрямку поширення світла на межі поділу двох середовищ називають **заломленням світла**.



*Кут γ (гамма), утворений заломленим променем і перпендикуляром до межі поділу двох середовищ, проведеним через точку падіння променя, називають **кутом заломлення**.*

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...



Першу згадку про заломлення світла можна знайти в працях давньогрецького філософа *Аристотеля* (IV ст. до н. е.), який замислювався: «Чому палиця у воді здається переламаною?». А от закон, який кількісно описує заломлення світла, був установлений лише 1621 р. нідерландським природознавцем *Вілебрордом Снеліусом* (1580–1626).

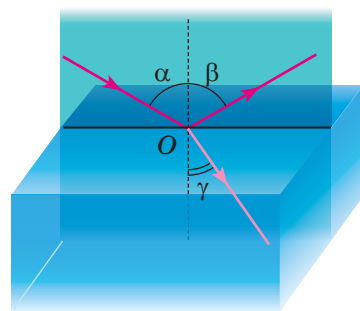


Рис. 25.1. Спостереження заломлення світла в разі його переходу з повітря в скло: α — кут падіння; β — кут відбивання; γ — кут заломлення

Закони заломлення світла:

1. Промінь падаючий, промінь заломлений і перпендикуляр до межі поділу двох середовищ, проведений через точку падіння променя, лежать в одній площині.
2. Відношення синуса кута падіння до синуса кута заломлення для двох даних середовищ є величиною незмінною:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = n_{21},$$

де n_{21} — *відносний показник заломлення середовища 2 (середовища, у якому світло поширюється після заломлення) відносно середовища 1 (середовища, з якого світло падає).*

ДОСЛІДЖЕННЯ

Що знадобиться: непрозора чашка з пластмасовим дном (5–6 см заввишки); вода; монета.

Поставте чашку на стіл. Розмістіть монету в чашці так, щоб її не було видно, але край монети перебував «на межі видимості». Не змінюючи положення голови, повільно наливайте воду — монета стане видимою. Змінюйте висоту ока, відстань до чашки та рівень води. Знайдіть умови, за яких ефект не спостерігатиметься. Накресліть хід світлового променя від монети у випадках, коли її не видно й коли видно.

**2. Чому світло заломлюється?**

Чому ж світло, переходячи з одного середовища в інше, змінює свій напрямок?

У різних середовищах світло поширюється з різною швидкістю, але завжди повільніше, ніж у вакуумі. Наприклад, у воді швидкість поширення світла в 1,33 раза менша, ніж у вакуумі; коли світло переходить із води в скло, швидкість поширення світла зменшується ще в 1,3 раза; у повітрі швидкість поширення світла в 1,7 раза більша, ніж у склі, й лише трохи менша (приблизно в 1,0003 раза), ніж у вакуумі.

Саме зміна швидкості поширення світла у випадку переходу з одного прозорого середовища в інше є причиною заломлення світла.

Говорять про **оптичну густину середовища**: що менша швидкість поширення світла в середовищі, то більшою є оптична густина середовища.

3. Яким є фізичний зміст показника заломлення?

Відносний показник заломлення (n_{21}) показує, у скільки разів швидкість v_1 поширення світла в середовищі 1 більша (або менша), ніж швидкість v_2 поширення світла в середовищі 2:

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2}$$

Згадавши другий закон заломлення світла: $n_{21} = \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma}$, маємо:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{v_1}{v_2}$$

Проаналізувавши останню формулу, доходимо висновку: *що більше на межі поділу двох середовищ змінюється швидкість поширення світла, то більше світло заломлюється.*

Розгляньте рисунок. У якому середовищі — повітрі чи воді — швидкість поширення світла більша? Яке із середовищ має більшу оптичну густину? Яка інформація на рисунку дала вам змогу дійти висновків?



Якщо світло потрапляє в середовище з вакууму, показник заломлення n називають **абсолютним показником заломлення**.

Абсолютний показник заломлення показує, у скільки разів швидкість поширення світла в середовищі менша, ніж у вакуумі:

$$n = \frac{c}{v},$$

де c — швидкість поширення світла у вакуумі ($c \approx 3 \cdot 10^8$ м/с); v — швидкість поширення світла в середовищі.

Швидкість поширення світла у вакуумі більша, ніж у будь-якому середовищі, тому абсолютний показник заломлення завжди більший за одиницю (див. таблицю).

Абсолютний показник заломлення деяких речовин

Речовина	Абсолютний показник заломлення
Повітря	1,0003
Лід	1,31
Вода	1,33
Скло	1,43–2,17
Кварц	1,54
Алмаз	2,42

Зверніть увагу: $n_{\text{повітря}} \approx 1$, тому, розглядаючи перехід світла з повітря в середовище, вважають, що відносний показник заломлення середовища дорівнює абсолютному показнику.

4. Як людство використовує явище повного відбивання світла?

Розглянемо випадок, коли світло переходить із середовища з більшою оптичною густиною в середовище з меншою оптичною густиною (рис. 25.2). Бачимо, що в разі збільшення кута падіння ($\alpha_2 > \alpha_1$) кут заломлення γ наближається до 90° , яскравість заломленого пучка зменшується, а яскравість відбитого, навпаки, збільшується.



Рис. 25.2. Якщо світло падає зі скла в повітря, у разі збільшення кута падіння кут заломлення наближається до 90° , а яскравість заломленого пучка зменшується

Зрозуміло, якщо й далі збільшувати кут падіння, кут заломлення сягне 90° , заломлений пучок зникне, а падаючий пучок цілком (без втрат енергії) повернеться в перше середовище — світло повністю відіб'ється.

Явище, за якого заломлення світла відсутнє (світло повністю відбивається від середовища з меншою оптичною густиною), називають **повним відбиванням світла**.

Явище повного відбивання добре знайоме тим, хто хоча б раз плавав під водою (рис. 25.3).

Ювеліри протягом сторіч використовують явище повного відбивання, щоб підвищити привабливість коштовних каменів. Природні камені



Рис. 25.3. Спостерігачці, яка перебуває під водою, частина поверхні води здається блискучою, мов дзеркало



Рис. 25.4. Діаманти різного огранювання

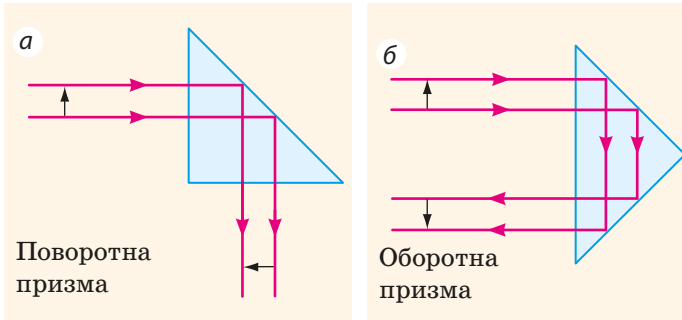


Рис. 25.5. У багатьох оптичних приладах напрямок поширення світла змінюють за допомогою *призм повного відбивання*: а — призма повертає зображення; б — призма перевертає зображення

огранюють — надають їм форми багатогранників: грані каменя виконують роль «внутрішніх дзеркал», і камінь «грає» в променях світла, що падає на нього (рис. 25.4).

Повне відбивання світла застосовують в оптичній техніці (рис. 25.5). Проте головне застосування цього явища пов'язане з **волоконною оптикою**. Якщо в торець тонкого скляного волокна спрямувати пучок світла, то після багаторазового відбивання світло вийде на його протилежному торці незалежно від того, яким буде волокно — вигнутим чи прямим. Таке волокно називають **світловодом** (рис. 25.6 і 25.7). Світловоди застосовують у медицині для дослідження внутрішніх органів (ендоскопія); у техніці, зокрема для виявлення несправностей усередині двигунів без їх розбирання тощо.

Однак найчастіше світловоди використовують як кабелі для передавання інформації (рис. 25.8). Коли ви будете дивитися телевізор або користуватися інтернетом, згадайте, що більшу частину свого «шляху» сигнал долає «скляною дорогою».

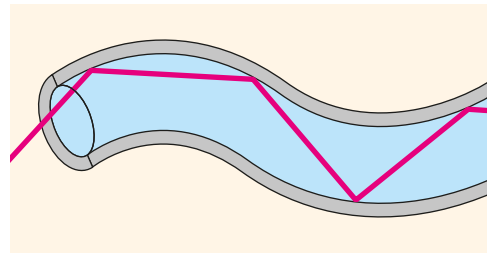


Рис. 25.6. Поширення світлового пучка світловодом, що вкритий захисною оболонкою

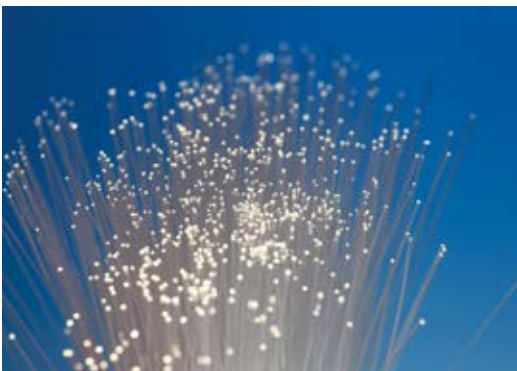


Рис. 25.7 Світловоди торцевого світіння



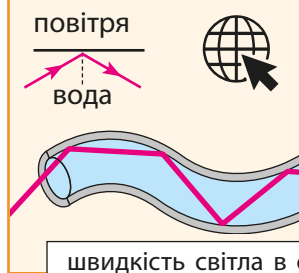
Рис. 25.8. Оптоволоконний кабель



ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Повне відбивання світла

— явище, за якого заломлення світла відсутнє (світло повністю відбивається від середовища з меншою оптичною густиною)



швидкість світла в середовищі

Заломлення світла — зміна напрямку поширення світла на межі поділу двох середовищ

Показник заломлення

відносний

$$n_{21} = \frac{v_1}{v_2}$$

абсолютний

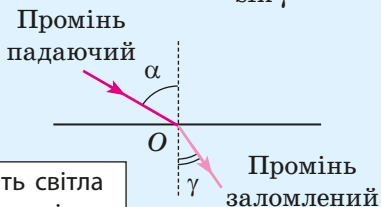
$$n = \frac{c}{v}$$

швидкість світла у вакуумі

Закони заломлення світла

1. Промінь падаючий, промінь заломлений і перпендикуляр до межі поділу двох середовищ, проведений через точку падіння променя, лежать в одній площині.

2. Відношення синуса кута падіння α до синуса кута заломлення γ для двох даних середовищ є величиною незмінною: $\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = n_{21}$



Промінь заломлений



КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які досліди підтверджують явище заломлення світла на межі поділу двох середовищ?
2. Сформулюйте закони заломлення світла.
3. Чому заломлюється світло?
4. Що показує відносний показник заломлення?
5. Як швидкість поширення світла пов'язана з оптичною густиною середовища?
6. Дайте означення абсолютного показника заломлення.



ВПРАВА № 25

1. Перенесіть рис. 1 до зошита. Вважаючи, що середовище 1 має більшу оптичну густину, ніж середовище 2, для кожного випадку схематично побудуйте падаючий або заломлений промінь, позначте кут падіння та кут заломлення.

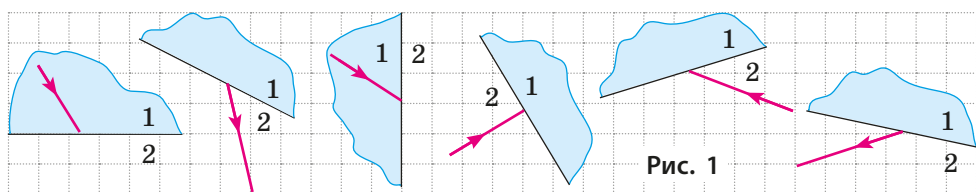


Рис. 1

2. Обчисліть швидкість поширення світла в алмазі; воді; повітрі.
3. Кут падіння променя світла з повітря на поверхню води дорівнює 60° . Кут між відбитим і заломленим променями становить 80° . Обчисліть кут заломлення променя.

4. Коли ми, стоячи на березі водойми, намагаємося на око визначити її глибину, вона завжди здається меншою, ніж є насправді. Скориставшись [рис. 2](#), поясніть, чому так відбувається.

5. За який час світло доходить від дна озера завглибшки 900 м до поверхні води?

6. Наслідком заломлення світла в атмосфері Землі є виникнення міражів. Скористайтеся додатковими джерелами інформації та дізнайтеся про ці природні явища докладніше.

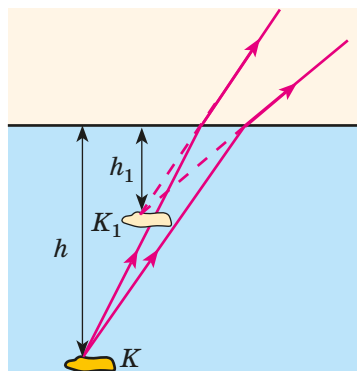


Рис. 2



ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

Поспостерігайте повне відбивання світла. Для цього заповніть склянку приблизно наполовину водою. Опустіть у склянку якийсь предмет, наприклад корпус пластмасової ручки, бажано з написом. Тримавши склянку в руці, розташуйте її на відстані 25–30 см від очей (див. [фото](#)). Під час досліду ви маєте стежити за корпусом ручки.

Спочатку, підвівши очі, ви будете бачити весь корпус ручки (і підводну, і надводну частини). Повільно пересувajte від себе склянку, не змінюючи висоти її розташування. Коли склянка буде достатньо віддалена від ваших очей, поверхня води стане для вас дзеркальною — ви побачите дзеркальне відображення підводної частини корпусу ручки. Поясніть спостережуване явище.





TOP SKILLS: РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

Прочитайте текст.

Наприкінці минулого сторіччя з'явилася нова потужна індустрія — виробництво кабелів на основі світловодів. Її метою стало забезпечення якісного передавання інформації на великі відстані.

Заміна традиційних металевих (передусім мідних) провідників на світловоди з кварцового скла має низку переваг: вони значно легші, що важливо для прокладання кабелів, хімічно інертні й служать довше. Та головна їхня перевага — здатність передавати в багато разів більші обсяги інформації.

Саме тому більша частина сучасного інформаційного потоку — інтернет-трафік, телефонні розмови, телебачення — передається світловодами. Нові кабелі фактично оплели всю планету: вони з'єднали Європу з Північною Америкою (через Атлантичний океан), Європу з Азією (через Близький Схід та Індійський океан), Європу з Африкою та інші регіони. Довжина окремих таких кабелів вражає — від 7 до майже 40 тисяч кілометрів.

Дайте відповіді на запитання.

1. Назвіть переваги кварцових світловодів порівняно з традиційними металевими кабелями.
2. Чому хімічна інертність світловодів важлива для тривалого використання кабелів?
3. Які види інформації сьогодні передаються переважно через світловодні кабелі?
4. Як ви вважаєте, перед якими труднощами постають під час прокладання кабелів завдовжки декілька тисяч кілометрів під водою?
5. Чому наприкінці минулого сторіччя виникла потреба у створенні нової індустрії світловодних кабелів? Як розташування світловодних кабелів між континентами вплинуло на глобалізацію та швидкість обміну інформацією? (*Підказка:* подивіться на карту підводних оптоволоконних кабелів.)
6. Уявіть, що вам потрібно пояснити молодшим учням і ученицям, чому саме світловоди стали основою сучасних телекомунікацій. Як би ви це зробили?
7. Гнучкі й порівняно недорогі пластикові світловоди часто використовують у локальних мережах. Проте в трансокеанічних кабелях їх не застосовують, надаючи перевагу кварцовим волокнам. Як гадаєте, чому?

Ключові терміни

Заломлення світла • Кут заломлення світла • Закони заломлення світла • Відносний показник заломлення • Абсолютний показник заломлення • Повне відбивання світла



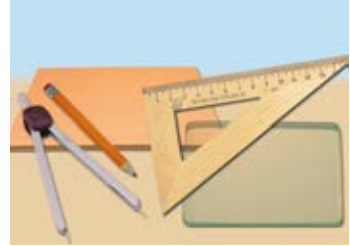
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

Тема. Дослідження явища заломлення світла.

rnk.com.ua/114154

Мета: визначити показник заломлення скла відносно повітря.

Обладнання: скляна пластинка з паралельними гранями; олівець; косинець із міліметровою шкалою; циркуль.



ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ

Підготовка до експерименту

- Перш ніж виконувати роботу, згадайте:
 - 1) вимоги безпеки під час роботи зі скляними предметами;
 - 2) закони заломлення світла;
 - 3) формулу для визначення показника заломлення.
- Підготуйте рисунки для виконання роботи. Для цього (див. рис. 1):
 - 1) покладіть скляну пластинку на сторінку зошита й гостро заточеним олівцем окресліть контур пластинки;
 - 2) на відрізку, що відповідає положенню верхньої заломлювальної грані пластинки:
 - ✓ позначте точку O ;
 - ✓ проведіть через точку O пряму k , перпендикулярну до даного відрізка;
 - ✓ за допомогою циркуля побудуйте коло радіусом 2,5 см із центром у точці O ;
 - 3) під кутом приблизно 45° накресліть промінь, який задаватиме напрямок пучка світла, що падає в точку O ; позначте точку перетину променя та кола літерою A ;
 - 4) повторіть дії, описані в пунктах 1–3, ще двічі (виконайте ще два рисунки), спочатку збільшивши, а потім зменшивши заданий кут падіння променя світла.

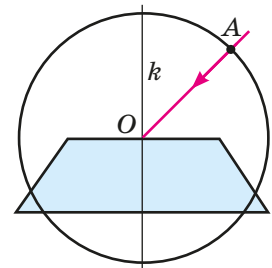


Рис. 1

Експеримент

Дотримуйтесь інструкції з безпеки.

1. Накладіть скляну пластинку на перший контур.
2. Дивлячись на промінь AO крізь скло, поставте біля нижньої грані пластинки точку M так, щоб вона здавалася розташованою на продовженні променя AO (рис. 2).

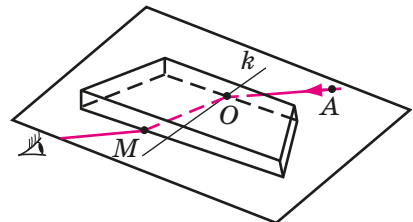


Рис. 2

3. Повторіть дії, описані в пунктах 1 і 2, ще для двох рисунків.

Опрацювання результатів експерименту

Результати вимірювань і обчислень відразу заносьте до таблиці.

Для кожного досліді (див. рис. 3):

- 1) проведіть заломлений промінь OM ;
- 2) знайдіть точку перетину променя OM із колом (точку B);
- 3) з точок A і B опустіть перпендикуляри на пряму k , виміряйте довжини a і b отриманих відрізків;
- 4) визначте показник заломлення скла відносно повітря:

$$n = \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma}, \text{ де } \sin \alpha = \frac{a}{r}, \text{ а } \sin \gamma = \frac{b}{r}, \text{ тому}$$

$$n = \frac{a}{b}.$$

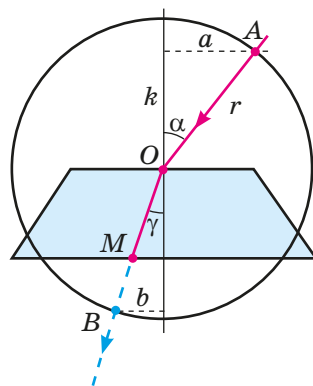


Рис. 3

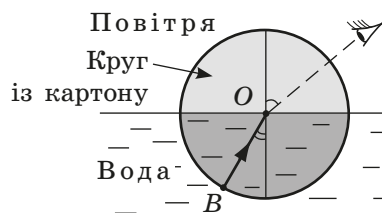
Номер досліді	Довжина відрізка a , мм	Довжина відрізка b , мм	Відносний показник заломлення n

Аналіз експерименту та його результатів

Проаналізуйте експеримент і його результати. Сформулюйте висновок, у якому зазначте: 1) яку фізичну величину ви визначали; 2) який результат отримали; 3) чи залежить значення отриманої величини від кута падіння світла; 4) у чому причини можливої похибки експерименту.

Творче завдання

Скориставшись рисунком, продумайте та запишіть план проведення експерименту з визначення показника заломлення води відносно повітря. За можливості проведіть експеримент.





rnk.com.ua/
114238

§ 26. ДИСПЕРСІЯ СВІТЛА. КОЛЬОРИ

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. «Rainbow» — «дощова арка» — так англійською називають явище, зображене на заставці. Назва цілком логічна: веселка пов'язана з дощем і формою нагадує арку. Та українське слово «веселка» звучить ще влучніше — воно передає яскравість і красу цього природного видовища. Веселка здавна викликала позитивні емоції в людей. Її фізичну природу вивчали ще давні греки, а наукове пояснення дав Ісаак Ньютон. Ви, без сумніву, уже знайомі із цим явищем. Що вам відомо про веселку? Скільки вона має кольорів? Яка їх послідовність? Чи справді там, де веселка закінчується, можна знайти... скарб?

1. З яких кольорів складається сонячне світло?

Ще в давнину було помічено, що пучок сонячного світла, пройшовши крізь скляну призму, стає різноколірним. Вважалося, що причина цього явища криється у властивості призми забарвлювати світло. Чи так це насправді, з'ясував 1665 р. видатний англійський учений *Ісаак Ньютон* (1643–1727), провівши серію цікавих дослідів.

Для отримання вузького пучка сонячного світла Ньютон зробив у віконниці невеликий круглий отвір. Коли перед отвором він установлював скляну призму, на протилежній стіні з'являлася різноколірна смужка, яку вчений назвав **спектром**. На смужці (як і у веселці) Ньютон виділив сім кольорів: *червоний, оранжевий, жовтий, зелений, блакитний, синій, фіолетовий* (рис. 26.1, а).

Потім учений за допомогою екрана з отвором виділяв із широкого різноколірного пучка світла вузькі одноколірні (монохроматичні) пучки та знову спрямовував їх на призму. Такі пучки відхилялися призмою, але вже не розкладались у спектр (рис. 26.1, б). При цьому найбільше відхилявся пучок світла фіолетового кольору, а найменше — червоного.

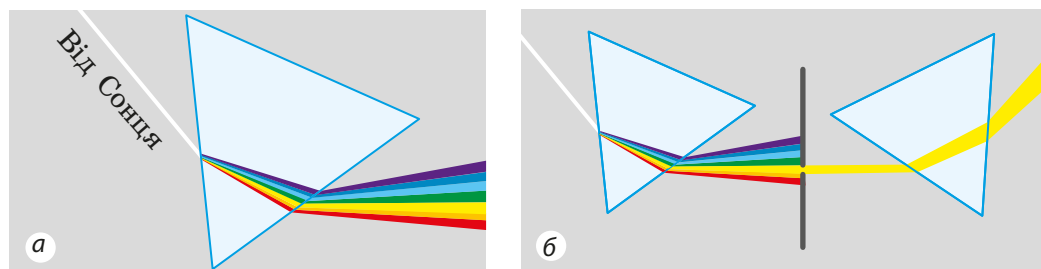


Рис. 26.1. Схема дослідів І. Ньютона із з'ясування спектрального складу світла

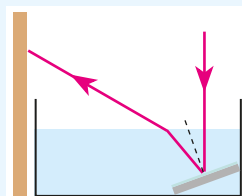
Результати дослідів дозволили Ньютону дійти таких *висновків*:

- 1) пучок білого (сонячного) світла складається зі світла різних кольорів;
- 2) призма не «фарбує» біле світло, а розділяє його (розкладає в спектр) через різне заломлення світла різного кольору.

ДОСЛІДЖЕННЯ

Що знадобиться: прозора миска; невелике плоске дзеркальце; ліхтарик із вузьким і потужним пучком світла (можна використати ліхтарик телефона, обгорнувши його фольгою, у якій ножем зроблено тонку щілину); вода.

Наповніть миску водою та поставте її коло білої стіни. Покладіть на дно миски дзеркальце й спрямуйте на нього пучок світла, орієнтуючись на підказки на рисунку щодо кутів нахилу. На стіні з'явиться кольоровий світловий зайчик. Поясніть спостережуване явище.



2. Чому пучок білого світла розкладається в спектр?

Досліди Ньютон демонстрували, зокрема, що, заломлюючись у скляній призмі, пучки фіолетового світла завжди відхиляються більше, ніж пучки червоного. Це означає, що *для світла різних кольорів показники заломлення скла є різними*. Саме тому пучок білого світла й розкладається в спектр.

З поясненням дисперсії світла з позицій хвильової теорії можна ознайомитися за QR-кодом або посиланням.



rnk.com.ua/115316

Явище розкладання світла в спектр, зумовлене залежністю показника заломлення середовища від кольору світла, називають **дисперсією світла**.

Для більшості прозорих середовищ найбільший показник заломлення має світло фіолетового кольору, найменший — червоного.

А ЯК НАСПРАВДІ?



Після уроку фізики Наталка показала однокласникам і однокласницям фото яскравої веселки, яке блогер виклав у мережі (див. рисунок).

— Яка неймовірна світлина! — захоплено сказала Олена. — Хотілося б і мені колись побачити таку красу.

— Щось не сходиться, — засумнівався Ігор. — Де хмари й дощ? І якесь дивне розташування сонця...

А як насправді?



3. Які кольори вважають основними?

У спектрі сонячного світла традиційно виділяють сім кольорів, можна виділити й більше. Але ви ніколи не зможете виділити, наприклад, коричневий або бузковий колір. Ці кольори є *складними* — вони утворюються внаслідок *накладання (змішування) спектральних (чистих)* кольорів у різних пропорціях.

Деякі спектральні кольори в разі накладання один на одного утворюють білий колір. Такі пари спектральних кольорів називають *доповняльними* (рис. 26.2).

Для зору людини особливе значення мають **три основні спектральні кольори**: *червоний, зелений і синій*; накладаючись у різних пропорціях, ці кольори дають відчуття найрізноманітніших кольорів і відтінків.

На накладанні трьох основних спектральних кольорів у різних пропорціях ґрунтується кольорове зображення на екрані комп'ютера, телевізора, телефона.

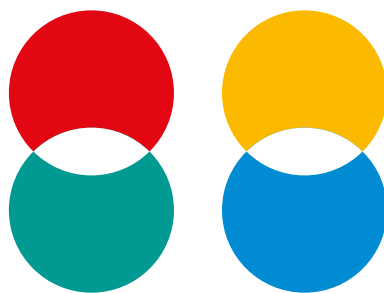


Рис. 26.2. Деякі пари доповняльних кольорів

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...



Кольори веселки — то і є кольори спектра. І це не дивно, бо насправді веселка — величезний спектр сонячного світла.

Одна з причин виникнення веселки полягає в тому, що безліч маленьких краплинок води, заломлюючи біле сонячне світло, розкладають його в спектр.



4. Чому світ різноколірний?

Знаючи, що біле світло є складеним, можна пояснити, чому навколишній світ, освітлений лише одним джерелом білого світла — Сонцем, ми бачимо різноколірним (рис. 26.3).

Так, поверхня аркуша офісного паперу однаково добре відбиває промені

Рис. 26.3. Завдяки тому що різні тіла по-різному відбивають, заломлюють і поглинають сонячне світло, ми бачимо навколишній світ різноколірним



Як ви вважаєте, який колір переважно відбивають пелюстки соняшників? листя рослин?



всіх кольорів, тому аркуш, освітлений білим світлом, здається нам білим. Синій наплічник, освітлений тим самим білим світлом, переважно відбиває промені синього кольору, а решту поглинає.

Синє світло, спрямоване на червоні пелюстки троянди, майже цілком поглинеться ними, бо пелюстки відбивають переважно червоні промені, а решту — поглинають. Тому троянда, освітлена синім світлом, здаватиметься нам практично чорною. Якщо ж синім світлом освітити білий сніг, то він здаватиметься нам синім, адже білий сніг відбиває промені всіх кольорів (у тому числі й сині). А от чорна шерсть кота добре поглинає всі промені, тому, хоч яким світлом ми його освітимо, кіт однаково здаватиметься чорним (рис. 26.4).

Зверніть увагу! Оскільки колір тіла залежить від характеристики світла, що падає, у темряві поняття кольору позбавлене будь-якого сенсу.



Рис. 26.4. Колір тіла залежить як від оптичних властивостей його поверхні, так і від характеристик світла, що падає



ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Пучок білого світла складається зі світла різних кольорів

Спектральні кольори



Показник заломлення, а отже, швидкість поширення світла в середовищі залежать від кольору світла

Ми бачимо світ різноколірним завдяки тому, що поверхні різних тіл по-різному відбивають і поглинають світло

Дисперсія світла — залежність показника заломлення середовища від кольору світла



КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Опишіть досліди І. Ньютона щодо встановлення спектрально-го складу світла.
2. Назвіть сім спектральних кольорів.
3. Світло якого кольору найбільше заломлюється в речовині? найменше заломлюється?
4. Дайте означення дисперсії світла. Яке природне явище пов'язане з дисперсією?
5. Які кольори називають доповняльними?
6. Назвіть три основні кольори спектра. Чому їх так називають?
7. Чому навколишній світ ми бачимо різноколірним?



ВПРАВА № 26

1. Світло яких кольорів проходить крізь синє скло? поглинається ним?
2. Якими здаватимуться чорні літери на білому папері, якщо дивитися на них крізь зелене скло? Яким при цьому здаватиметься колір паперу?
3. Через скло якого кольору не можна побачити текст, написаний фіолетовим чорнилом на білому папері?
4. У воді поширюються пучки світла червоного, оранжевого та блакитного кольорів. Швидкість поширення якого з пучків є найбільшою?
5. Існують мнемонічні правила для запам'ятовування послідовності кольорів веселки, як-от «Чапля Осінь Жде Завзято, Буде Сани Фарбувати». Наведіть кілька власних прикладів.
6. Скористайтеся додатковими джерелами інформації та дізнайтеся, чому небо блакитне; чому Сонце під час заходу часто буває червоним.

Ключові терміни

Спектр • Спектральні кольори • Дисперсія

ФІЗИКА І ТЕХНІКА В УКРАЇНІ

Київський національний університет імені Тараса Шевченка (КНУ) заснований 8 листопада 1833 р. як Імператорський університет Святого Володимира. Перший ректор університету — видатний учений-енциклопедист *Михайло Олександрович Максимович*.

У світі добре відомі наукові школи Київського університету — алгебраїчна, теорії ймовірностей та математичної статистики, механіки, фізики напівпровідників, фізичної електроніки та фізики поверхні, металогенічна, оптики нових матеріалів та ін.



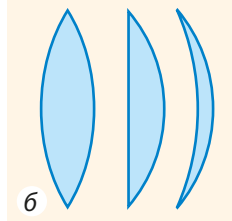
rnk.com.ua/
114239

§ 27. ЛІНЗИ. ОПТИЧНА СИЛА ЛІНЗИ

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Прилад, що містить складну систему лінз, допомагає науковцям проводити дослідження (див. фото на заставці). Лінзи також є основним складником окулярів, вони входять до складу камер смартфонів і багатьох інших оптичних пристроїв. Об'єднайтеся в команди та складіть перелік приладів і пристроїв, у яких використовують лінзи.



а

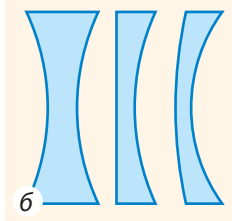


б

Рис. 27.1.
Товщина *опуклої* лінзи посередині більша, ніж біля країв: *а* — вигляд; *б* — різні опуклі лінзи в розрізі



а



б

Рис. 27.2.
Товщина *увігнутої* лінзи посередині менша, ніж біля країв: *а* — вигляд; *б* — різні увігнуті лінзи в розрізі

1. Якими бувають лінзи?

Лінза — прозоре тіло, обмежене з двох боків сферичними поверхнями*.

За формою лінзи поділяють на **опуклі** (рис. 27.1) й **увігнуті** (рис. 27.2).

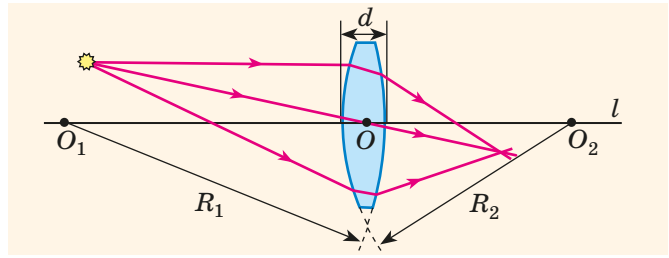
Якщо товщина d лінзи в багато разів менша від радіусів сферичних поверхонь, що обмежують лінзу, таку лінзу називають **тонкою**. Далі розглядатимемо тільки тонкі лінзи.

Пряму, яка проходить через центри сферичних поверхонь, що обмежують лінзу, називають **головною оптичною віссю лінзи** (рис. 27.3).

Якщо на лінзу спрямувати пучок світлових променів, вони заломляться на кожній із її поверхонь, тому двічі змінять свій напрямок. Разом із тим на головній оптичній осі лінзи

* Одна з поверхонь лінзи може бути *площиною*, бо площину можна розглядати як сферу нескінченного радіуса. Лінзи також бувають *циліндричними*, але зустрічаються такі лінзи нечасто.

Рис. 27.3. Тонка сферична лінза: l — головна оптична вісь лінзи; d — товщина лінзи; R_1, R_2 — радіуси сферичних поверхонь, які обмежують лінзу; O — оптичний центр лінзи



є точка, яку промінь світла проходить не змінюючи свого напрямку. Цю точку називають **оптичним центром лінзи** (див. рис. 27.3).

Спрямуємо на лінзу пучок променів, *паралельних її головній оптичній осі*. Якщо ці промені, пройшовши крізь лінзу, ідуть збіжним пучком, то така лінза є **збиральною**. Точку F , у якій при цьому перетинаються заломлені промені, називають **дійсним головним фокусом лінзи** (рис. 27.4).

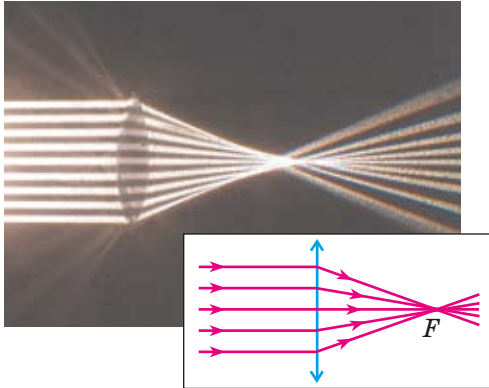


Рис. 27.4. Хід променів після заломлення в **збиральній лінзі**. Точка F — **дійсний головний фокус лінзи**

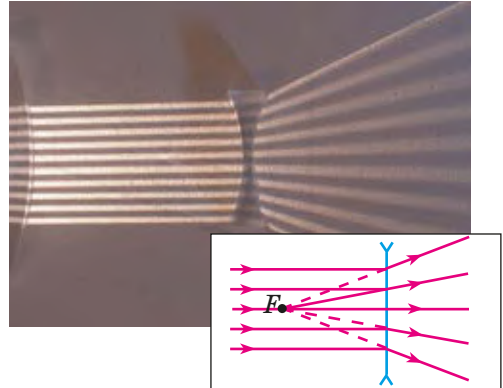


Рис. 27.5. Хід променів після заломлення в **розсіювальній лінзі**. Точка F — **уявний головний фокус лінзи**

Лінза є **розсіювальною**, якщо промені, які падають на лінзу паралельно її головній оптичній осі, пройшовши крізь лінзу, йдуть розбіжним пучком. Точку F , у якій перетинаються продовження заломлених променів, називають **уявним головним фокусом лінзи** (рис. 27.5).

Зверніть увагу: паралельні промені, навіть якщо вони не є паралельними головній оптичній осі, після заломлення в збиральній лінзі завжди перетинаються в одній точці (рис. 27.6) (якщо лінза розсіювальна, в одній точці перетинаються продовження заломлених променів). Якщо оптична густина матеріалу, з якого

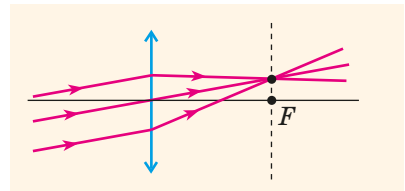


Рис. 27.6. Хід паралельних променів після заломлення в **збиральній лінзі**

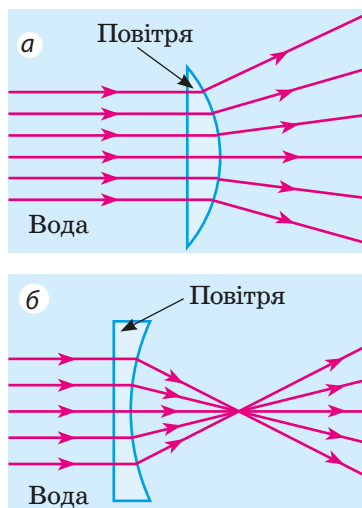


Рис. 27.7. Опукла (а) й увігнута (б) повітряні лінзи у воді

виготовлена лінза, більша за оптичну густину середовища ($n_d > n_c$), то опукла лінза збиратиме промені (тобто буде збиральною), а увігнута лінза розсіюватиме промені (тобто буде розсіювальною) (див. рис. 27.4, 27.5, на яких скляна лінза розташована у воді).

Якщо оптична густина матеріалу, з якого виготовлена лінза, менша за оптичну густину середовища ($n_d < n_c$), то опукла лінза буде розсіювальною (рис. 27.7, а), а увігнута лінза — збиральною (рис. 27.7, б).

Як ви вважаєте, збиральною чи розсіювальною буде опукла скляна лінза в повітрі? опукла повітряна лінза у склі?



А ЯК НАСПРАВДІ?



Після уроків друзі розглядали фото різних лінз.

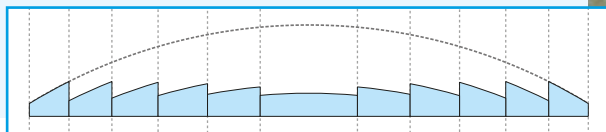
— Погляньте, яка дивна лінза! — здивувався Віктор. — Я таку ще не бачив.

— Я влітку читав про цю «зубчасту» лінзу. Її створили, щоб зменшити масу, — згадав Тарас. — Тільки вже не пам'ятаю подробиць.

Здається, винахідника звали Франклін... — невпевнено додав він.

— Франклін? Ти про того, який політик і вчений? — усміхнулася Поліна.

На яку лінзу звернули увагу друзі? З якою метою і хто насправді її винайшов?



2. Що називають оптичною силою лінзи?

Незалежно від форми кожна лінза має два головні фокуси*, розташовані на однаковій відстані від оптичного центра лінзи (див. рис. 27.8).

Фізичну величину, що дорівнює відстані від оптичного центра лінзи до головного фокуса, називають **фокусною відстанню лінзи**.

* Надалі головний фокус лінзи називатимемо просто *фокусом лінзи*.

Фокусну відстань (як і фокус) позначають символом F . *Одиниця фокусної відстані в СІ — метр: $[F] = \text{м}$. Фокусну відстань збиральної лінзи вважають *додатною*, а розсіювальної — *від'ємною*. Очевидно, що чим сильніші заломлювальні властивості має лінза, тим меншою за модулем є її фокусна відстань (рис. 27.8).*

Фізичну величину, яка характеризує заломлювальні властивості лінзи та є оберненою до її фокусної відстані F , називають **оптичною силою D лінзи**:

$$D = \frac{1}{F}.$$

Одиниця оптичної сили — діоптрія: $[D] = \text{дптр}$; $1 \text{ дптр} = 1/\text{м} = 1 \text{ м}^{-1}$.

1 діоптрія — це оптична сила лінзи, фокусна відстань якої дорівнює 1 м. Оптична сила збиральної лінзи є *додатною*, а розсіювальної лінзи — *від'ємною*.

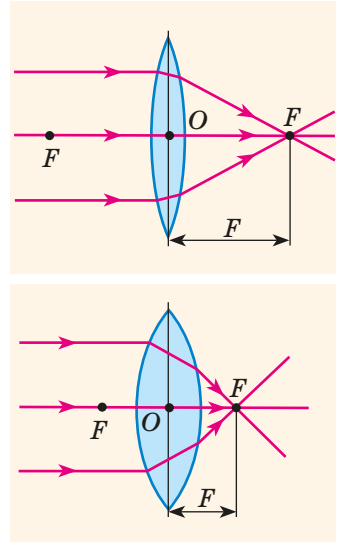


Рис. 27.8. Чим меншими є радіуси сферичних поверхонь, що обмежують лінзу, тим сильніше ця лінза заломлює світло, отже, тим менша її фокусна відстань F

ДОСЛІДЖЕННЯ

Що знадобиться: будь-яка збиральна лінза (наприклад, лупа); лінійка. Запропонуйте метод вимірювання фокусної відстані та оптичної сили збиральної лінзи за допомогою лінійки. Проведіть вимірювання.

Що відбудеться, якщо сонячного дня на фокусній відстані від лінзи розташувати чорний папір?

Help

Промені, що йдуть від Сонця, є паралельними.

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...

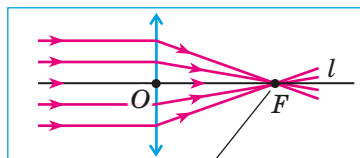


Параболічні та сферичні дзеркала можуть концентрувати світло так само, як і лінзи. Подібно до лінз такі дзеркала мають фокус. Їх використовують у техніці й медицині (фари й бічні дзеркала автомобілів, медичні інструменти, освітлення тощо). Найбільші та найякісніші дзеркала встановлюють у космічних телескопах. Наприклад, у телескопа Джеймса Вебба дзеркало має діаметр 6,5 м — це найбільше дзеркало серед усіх космічних телескопів. Завдяки цьому телескопу вчені отримали зображення найстаріших галактик і дослідили атмосфери планет.



ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Збиральна

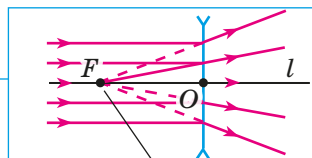


Дійсний головний фокус лінзи

Лінза — прозоре тіло, обмежене з двох боків сферичними поверхнями

l — головна оптична вісь лінзи; точка O — оптичний центр лінзи

Розсіювальна



Уявний головний фокус лінзи

Фокусна відстань F лінзи — фізична величина, що дорівнює відстані від оптичного центра лінзи до головного фокуса, $[F] = \text{м}$



Збиральна лінза:

$$F > 0, D > 0$$

Розсіювальна лінза:

$$F < 0, D < 0$$



Оптична сила D лінзи — фізична величина, яка характеризує заломлювальні властивості лінзи та є оберненою до її фокусної відстані F :

$$D = \frac{1}{F}$$

$$[D] = \text{дптр} \\ 1 \text{ дптр} = 1/\text{м}$$



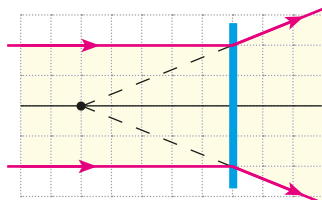
КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Дайте означення лінзи. 2. Чим розсіювальна лінза відрізняється від збиральної? 3. Що називають дійсним фокусом лінзи? 4. Чому фокус розсіювальної лінзи називають уявним? 5. Що називають фокусною відстанню лінзи? 6. Дайте означення оптичної сили лінзи.



ВПРАВА № 27

1. Фокусна відстань однієї лінзи $+0,5 \text{ м}$, а другої $+1 \text{ м}$. Яка лінза має більшу оптичну силу?
2. Оптична сила лінз: -2 дптр ; $+2 \text{ дптр}$. Чим відрізняються ці лінзи?
3. Оптична сила лінзи дорівнює $-1,6 \text{ дптр}$. Якою є фокусна відстань цієї лінзи? Яка це лінза — збиральна чи розсіювальна?
4. Дві збиральні лінзи виготовлені з одного сорту скла. Як на дотик визначити, яка лінза має більшу оптичну силу?
5. На лінзу спрямували паралельний пучок світла. Визначте за рисунком вид лінзи, її фокусну відстань і оптичну силу ($1 \text{ кл.} = 5 \text{ мм}$).



Ключові терміни

Лінза (збиральна, розсіювальна) • Фокус • Оптична сила • Діоптрія



rnk.com.ua/
114240

§ 28. ПОБУДОВА ЗОБРАЖЕНЬ У ЛІНЗАХ. ДЕЯКІ ОПТИЧНІ ПРИСТРОЇ. ФОРМУЛА ТОНКОЇ ЛІНЗИ

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. На заставці продемонстровано результат досліду щодо отримання зображення полум'я свічки на екрані за допомогою лінзи. Уявіть, що ви повільно відсуваєте лінзу від свічки. Що буде із зображенням на екрані: стане більшим чи меншим? залишиться перевернутим чи виправиться? залишиться чітким чи розпливеться? Що треба зробити (пересунути лінзу чи екран), щоб зображення стало таким самим за розміром, як справжня свічка?

1. Які промені допомагають будувати зображення в лінзах?

Будь-який предмет можна подати як сукупність точок. Кожна точка предмета випускає (або відбиває) промені в усіх напрямках. У створенні зображення в лінзі бере участь безліч променів, однак для побудови зображення деякої точки S досить знайти точку перетину будь-яких двох променів, що виходять із точки S і проходять крізь лінзу. Зазвичай для цього обирають два з трьох «зручних променів» (рис. 28.1).

Точка S_1 буде **дійсним зображенням** точки S , якщо в точці S_1 перетинаються *самі* заломлені промені (рис. 28.1, а). Точка S_1 буде **уявним зображенням** точки S , якщо в точці S_1 перетинаються *продовження* заломлених променів (рис. 28.1, б).

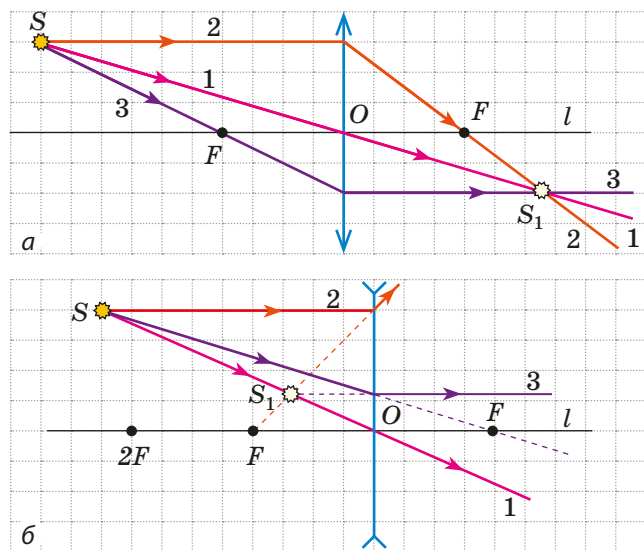


Рис. 28.1. Три найпростіші в побудові промені («зручні промені»):
1 — промінь, який проходить через оптичний центр O лінзи, не змінює свого напрямку; 2 — промінь, паралельний головній оптичній осі l лінзи, після заломлення в лінзі йде через фокус F (а) або через фокус F йде його продовження (б);
3 — промінь, який проходить через фокус F , після заломлення в лінзі йде паралельно головній оптичній осі l лінзи (а, б)

А ЯК НАСПРАВДІ?



Один блогер написав: «Навіщо створювати гігантські прецизійні лінзи для телескопів, які коштують мільярди доларів? Значно простіше й дешевше скористатися можливостями природи. Густина повітря зменшується з висотою, а разом з нею — і показник заломлення. Отже, атмосфера — це природна лінза, розмір якої не метри, а тисячі кілометрів. Потрібно лише розрахувати фокус, запустити супутник — і супертелескоп готовий!».

В одному з коментарів зазначалося: «Та чи справді все так просто? Подивіться на фото Землі з космосу (див. [рисунок](#)): атмосфера — лише тонка оболонка навколо Землі».

Як ви гадаєте, чи можна розглядати атмосферу Землі як велетенську лінзу?



2. Як побудувати зображення в лінзах?

Розглянемо всі можливі випадки розташування предмета AB відносно збиральної лінзи й доведемо, що розміри та вид зображення залежать від відстані між предметом і лінзою.

1. *Предмет розташований за подвійним фокусом збиральної лінзи (рис. 28.2, а).* Спочатку побудуємо зображення точки B . Для цього скористаємося двома променями — 1 і 2. Після заломлення в лінзі вони перетнуться в точці B_1 . Отже, точка B_1 є дійсним зображенням точки B . Для побудови зображення точки A опустимо з точки B_1 перпендикуляр на головну оптичну вісь l . Точка A_1 перетину перпендикуляра та осі l і є зображенням точки A .

Отже, A_1B_1 — зображення предмета AB . Бачимо, що це зображення є дійсним, зменшеним, перевернутим. Таке зображення виходить, наприклад, на сітківці ока або плівці (матриці) фотоапарата (рис. 28.2, б).

2. *Предмет розташований між фокусом і подвійним фокусом збиральної лінзи (рис. 28.3, а).* Зображення предмета є дійсним, збільшеним, пере-

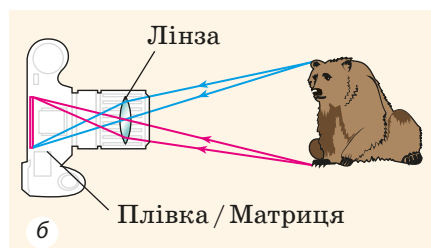
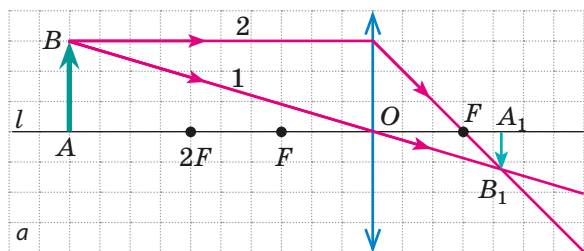


Рис. 28.2. Побудова зображення A_1B_1 предмета AB у збиральній лінзі: предмет AB розташований за подвійним фокусом лінзи (а); хід променів у фотоапараті (б)

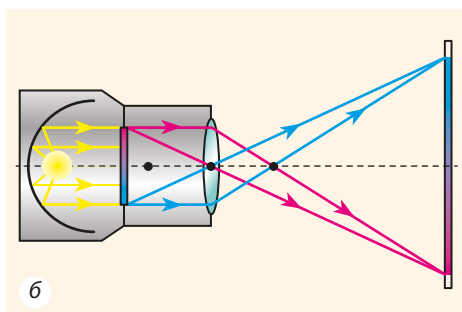
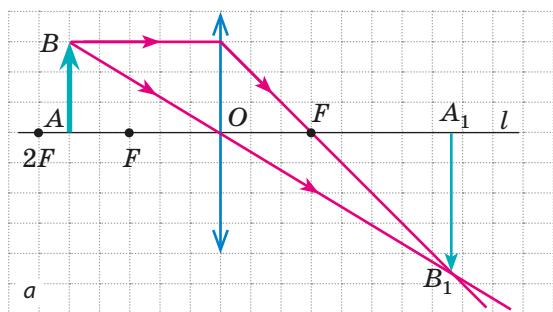


Рис. 28.3. Побудова зображення A_1B_1 предмета AB у збиральній лінзі: предмет AB розташований між фокусом і подвійним фокусом лінзи (а); хід променів у проєкційному апараті (б)

вернутим. Таке зображення дозволяє одержати проєкційна апаратура (рис. 28.3, б).

3. Предмет розташований у фокусі збиральної лінзи. Після заломлення всі промені йдуть паралельним пучком (рис. 28.4), отже, зображення не отримуємо.

4. Предмет розташований між фокусом і збиральною лінзою (рис. 28.5, а). Після заломлення в лінзі промені, які вийшли з точки B , ідуть розбіжним пучком. Однак їхні продовження перетинаються в точці B_1 .

У такому випадку зображення предмета є уявним, збільшеним, прямим. Це зображення розташоване по той самий бік від лінзи, що й предмет, тому ми не можемо побачити його на екрані, але бачимо, дивлячись на предмет крізь лінзу. Саме таке зображення дає короткофокусна збиральна лінза — лупа (рис. 28.5, б).

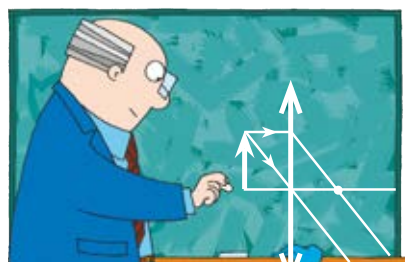


Рис. 28.4. Якщо предмет розташований у фокусі збиральної лінзи, ми не отримуємо його зображення

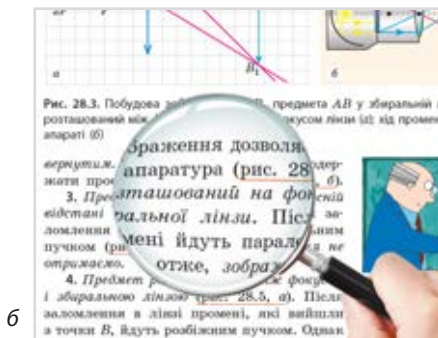
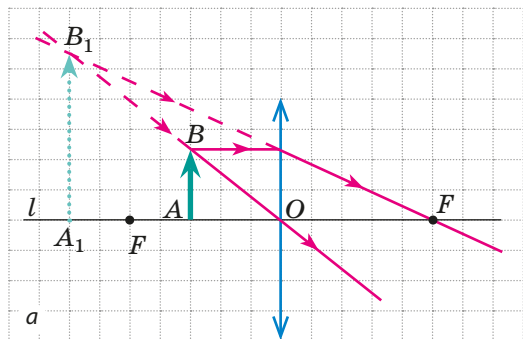


Рис. 28.5. Побудова зображення A_1B_1 предмета AB у збиральній лінзі: предмет AB розташований між лінзою та її фокусом (а); за допомогою лупи можна отримати збільшене зображення тексту (або предмета) і розглянути його детальніше (б)

Яким буде зображення, якщо предмет розташувати в подвійному фокусі лінзи? Перевірте своє припущення побудовою.



На рис. 28.6 показано побудову зображень предмета, одержаних за допомогою розсіювальної лінзи. Бачимо: *розсіювальна лінза завжди дає уявне, зменшене, пряме зображення*, розташоване з того самого боку від лінзи, що й сам предмет.

З'ясуйте, чи отримаємо ми зображення, якщо розташуємо предмет у фокусі розсіювальної лінзи.

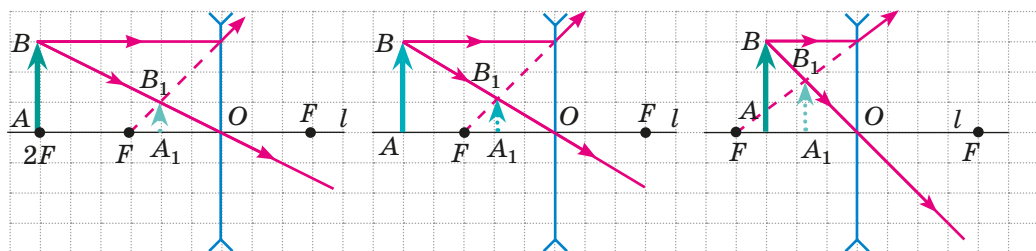


Рис. 28.6. Розсіювальна лінза завжди дає уявне, зменшене, пряме зображення

Найчастіше буває так, що предмет є більшим за лінзу або частина лінзи закрита непрозорим екраном (наприклад, лінза об'єктива фотоапарата). Чи змінюється при цьому вигляд зображення? Звичайно ж, ні. Адже від кожної точки предмета на лінзу падає безліч променів, і всі вони збираються у відповідній точці зображення. Закривання частини лінзи спричинить лише те, що енергія, яка потрапляє в кожну точку зображення, зменшиться. Зображення буде менш яскравим, проте ані його вигляд, ані місце розташування не зміняться. Саме тому, будуючи зображення, ми можемо використовувати будь-які «зручні промені», навіть ті, які не проходять крізь лінзу (рис. 28.7).

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...



Найбільша скляна лінза діаметром 102 см була виготовлена наприкінці XIX ст. й стала основною частиною телескопа Єркської астрономічної обсерваторії Чиказького університету. Створення лінз більшого розміру визнали недоцільним через їхні надмірну масу, значну товщину (а отже, неприпустиме поглинання світла в склі), а також через великі труднощі у виготовленні поверхні потрібної кривизни.

Відтоді майже всі великі телескопи використовують замість лінз дзеркала спеціальної форми. Найбільший сучасний оптичний телескоп — Gran Telescopio Canarias (Іспанія) — має дзеркало діаметром 10,4 м.

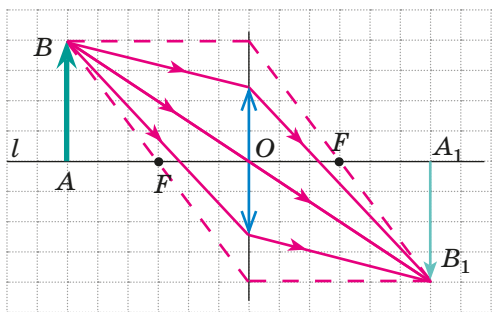


Рис. 28.7. Побудова зображення предмета у випадку, коли предмет є значно більшим за лінзу

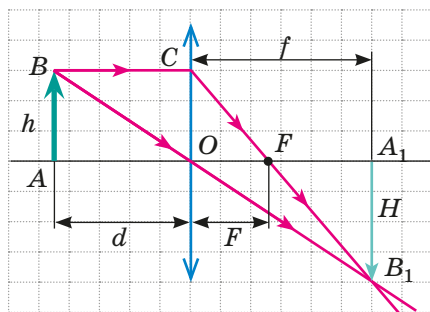


Рис. 28.8. До отримання формули тонкої лінзи: h — висота предмета; H — висота зображення; d — відстань від предмета до лінзи; f — відстань від лінзи до зображення; F — фокусна відстань

3. Яку формулу називають формулою тонкої лінзи?

Побудуємо зображення предмета в збиральній лінзі (рис. 28.8).

Трикутники FOC і FA_1B_1 є подібними, тому $\frac{OC}{A_1B_1} = \frac{FO}{FA_1}$, або $\frac{h}{H} = \frac{F}{f - F}$ (1).

Трикутники BAO і B_1A_1O теж подібні, тому $\frac{AB}{A_1B_1} = \frac{AO}{A_1O}$, або $\frac{h}{H} = \frac{d}{f}$ (2).

Прирівнявши праві частини рівностей (1) і (2), маємо $\frac{F}{f - F} = \frac{d}{f}$, тобто $Ff = df - dF$, або $df = Ff + dF$. Поділивши обидві частини останньої рівності на fdF , отримаємо **формулу тонкої лінзи**:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}, \text{ або } D = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}.$$

Під час розв'язування задач слід мати на увазі:

- ✓ відстань f необхідно брати зі знаком «-», якщо зображення є уявним, і зі знаком «+», якщо зображення є дійсним;
- ✓ фокусна відстань F збиральної лінзи є додатною, а розсіювальної — від'ємною;
- ✓ збільшення Γ лінзи обчислюють за формулою $\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{|f|}{|d|}$.

4. Учимся розв'язувати задачі

■ **Задача.** Розглядаючи монету за допомогою лупи, оптична сила якої +10 дптр, хлопчик розташував монету на відстані 6 см від лупи. Визначте: 1) фокусну відстань лінзи; 2) на якій відстані від лупи спостерігається зображення монети; 3) яким є це зображення — дійсним чи уявним; 4) яке збільшення дає лупа. ■

Аналіз фізичної проблеми. Лупу можна вважати тонкою лінзою, тому скористаємося формулою тонкої лінзи. Фокусну відстань знайдемо, скориставшись означенням оптичної сили лінзи.

Дано:

$d = 6 \text{ см} = 0,06 \text{ м}$

$D = +10 \text{ дптр}$

Знайти:

$F - ?$

$f - ?$

$\Gamma - ?$

Пошук математичної моделі, розв'язання

За означенням $D = \frac{1}{F} \Rightarrow F = \frac{1}{D}$.

За формулою тонкої лінзи:

$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{F} - \frac{1}{d}$, або $\frac{1}{f} = \frac{d - F}{Fd}$. Отже,

$f = \frac{Fd}{d - F}$.

Знаючи відстань f , визначимо збільшення:

$\Gamma = \frac{H}{h} = \left| \frac{f}{d} \right|$.

Перевіримо одиниці, знайдемо значення шуканих величин:

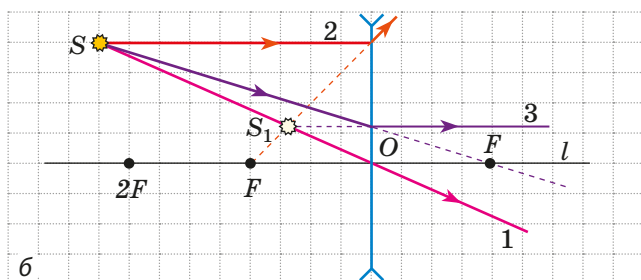
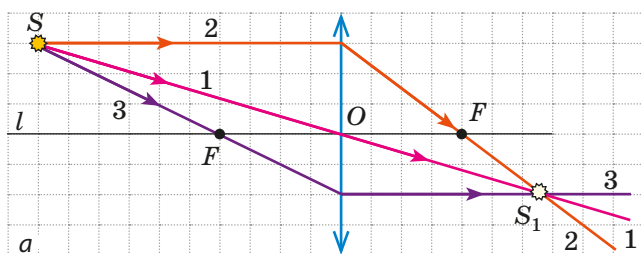
$[F] = \frac{1}{\text{дптр}} = \frac{1}{\text{м}^{-1}} = \text{м}, F = \frac{1}{10} = 0,1 \text{ (м)};$

$[f] = \frac{\text{м} \cdot \text{м}}{\text{м} - \text{м}} = \frac{\text{м}^2}{\text{м}} = \text{м}, f = \frac{0,1 \cdot 0,06}{0,06 - 0,1} = -0,15 \text{ (м)}; \Gamma = \frac{0,15}{0,06} = \frac{15}{6} = \frac{5}{2} = 2,5.$

Знак «-» перед значенням f говорить про те, що зображення є уявним.Відповідь: $F = 10 \text{ см}; f = -15 \text{ см};$ зображення уявне; $\Gamma = 2,5$.

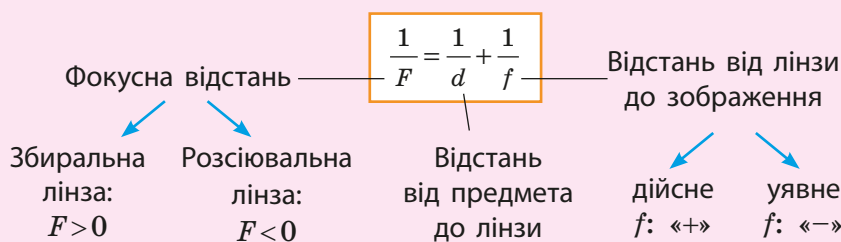
ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Для побудови зображень у лінзах використовують «зручні промені» 1, 2, 3



Місце розташування предмета	Характеристика зображення в лінзі	
	збиральній	розсіювальній
За подвійним фокусом лінзи ($d > 2F$)	дійсне, зменшене, перевернуте	уявне, зменшене, пряме
У подвійному фокусі ($d = 2F$)	дійсне, однакове за розмірами з предметом, перевернуте	
Між фокусом і подвійним фокусом лінзи ($F < d < 2F$)	дійсне, збільшене, перевернуте	
У фокусі лінзи ($d = F$)	зображення не існує	
Між лінзою і фокусом ($d < F$)	уявне, збільшене, пряме	

Формула тонкої лінзи



Збільшення лінзи

$$\Gamma = \frac{H}{h} = \frac{|f|}{|d|}$$



КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які промені зручно використовувати для побудови зображення, одержуваного за допомогою лінзи? 2. Чи можна одержати дійсне зображення за допомогою розсіювальної лінзи? уявне зображення — за допомогою збиральної лінзи? 3. Яке зображення — дійсне чи уявне — можна побачити на екрані? 4. Як за видом зображення визначити, збиральною чи розсіювальною є лінза? 5. Назвіть оптичні пристрої, в яких є лінзи. 6. Які фізичні величини пов'язує формула тонкої лінзи? Яких правил слід дотримуватися, застосовуючи цю формулу?



ВПРАВА № 28

1. Для кожного з випадків на рис. 1, а, б побудуйте зображення предмета AB у збиральній лінзі. Схарактеризуйте зображення.

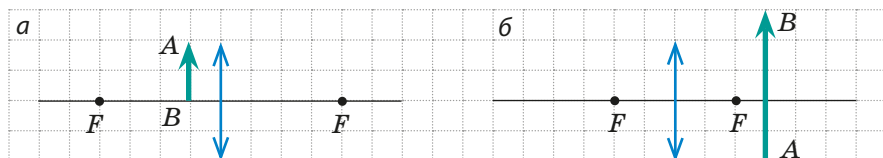


Рис. 1

2. Оптична сила лінзи $+5$ дптр. На якій відстані від лінзи треба розташувати свічку, щоб одержати зображення її пламені в натуральну величину?

3. Предмет розташований на відстані 1 м від лінзи. Уявне зображення предмета розташоване на відстані 25 см від лінзи. Визначте оптичну силу лінзи. Яка це лінза — збиральна чи розсіювальна?

4. На аркуш із друкованим текстом потрапила крапля прозорого клею. Чому літери під краплею клею здаються більшими, ніж сусідні?

5. За допомогою лінзи отримали чітке зображення предмета на екрані. Визначте: 1) оптичну силу лінзи, якщо предмет розташований на відстані 60 см від лінзи, а відстань між предметом і екраном дорівнює 90 см; 2) висоту предмета, якщо висота його зображення становить 5 см.

6. Перенесіть рис. 2, а–в до зошита й для кожного випадку визначте розташування оптичного центра та фокусів лінзи, тип лінзи, вид зображення. На рис. 2 використано такі позначення: KN — головна оптична вісь; S — світна точка; S_1 — зображення точки S .

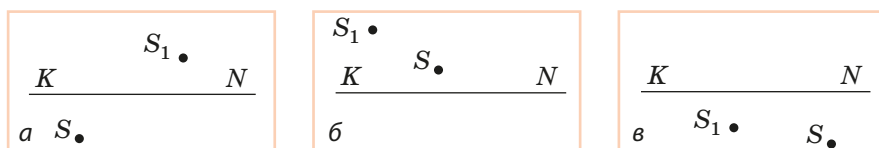


Рис. 2

7. Визначте оптичну силу лупи, яка дає збільшене в 6 разів зображення, розташоване на відстані 20 см від лупи.

8. Як змінюється та в якому напрямку рухається зображення предмета, якщо предмет рухається від нескінченності до лінзи?

9. Скористайтеся додатковими джерелами інформації та дізнайтеся історію фотоапарата. Створіть комп'ютерну презентацію.

Ключові терміни

Формула тонкої лінзи • Збільшення лінзи



rnk.com.ua/114155

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8

Тема. Визначення фокусної відстані та оптичної сили тонкої лінзи.

Мета: визначити фокусну відстань та оптичну силу тонкої збиральної лінзи.

Обладнання: збиральна лінза на підставці; екран; джерело світла; мірна стрічка.



ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ

Підготовка до експерименту

1. Перш ніж виконувати роботу, згадайте: 1) вимоги безпеки під час роботи зі скляними предметами; 2) формулу тонкої лінзи; 3) означення оптичної сили лінзи.
2. Проаналізуйте формулу тонкої лінзи, подумайте, які вимірювання вам слід зробити, щоб визначити фокусну відстань лінзи.

Експеримент

Дотримуйтесь інструкції з безпеки.

Результати вимірювань відразу заносьте до таблиці.

1. Розташувавши лінзу між джерелом світла та екраном, отримайте на екрані чітке зменшене зображення джерела світла. Виміряйте відстань d від джерела світла до лінзи та відстань f від лінзи до екрана.
2. Пересуваючи лінзу, отримайте на екрані чітке збільшене зображення джерела світла. Знову виміряйте відстань d від джерела світла до лінзи та відстань f від лінзи до екрана.

Опрацювання результатів експерименту

1. За допомогою формули тонкої лінзи та означення оптичної сили лінзи визначте для кожного дослідів фокусну відстань і оптичну силу лінзи відповідно.
2. Закінчіть заповнення таблиці.

Номер дослідів	Відстань від предмета до лінзи d , м	Відстань від лінзи до екрана f , м	Фокусна відстань лінзи F , м	Оптична сила лінзи D , дптр

3. Порівняйте значення фокусної відстані та оптичної сили лінзи, одержані за результатами двох дослідів.

Аналіз експерименту та його результатів

Проаналізуйте експеримент і його результати. Сформулюйте висновок.

Творче завдання

Визначте фокусну відстань лінзи ще двома методами: 1) отримавши зображення віддаленого предмета (наприклад, дерева за вікном); 2) отримавши на екрані зображення джерела світла, яке за розміром дорівнює розмірам самого джерела. Наведіть одержані результати й ваші розрахунки. Порівняйте результати, одержані під час виконання основної частини лабораторної роботи й творчого завдання.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9

Тема. Визначення фокусної відстані та оптичної сили розсіювальної лінзи.

Мета: визначити фокусну відстань та оптичну силу розсіювальної лінзи.

Обладнання: збиральна лінза; розсіювальна лінза; екран; джерело світла; лінійка; оптична лава (у разі наявності).

Опис методу вимірювання

Розсіювальна лінза не утворює дійсного зображення. Фокус такої лінзи є уявним. Для вимірювання фокусної відстані розсіювальної лінзи використовують метод «уявного предмета».

Для проведення досліду збирають установку (рис. 1) і виконують такі дії. (Важливо дотримуватися зображеного на фото порядку розташування пристроїв.)

1. Переміщуючи збиральну лінзу та екран, одержують на екрані чітке зменшене зображення джерела світла. Вимірявши відстань d від розсіювальної лінзи до джерела світла S (рис. 1), позначають положення розсіювальної лінзи.
2. Розсіювальну лінзу прибирають і, не чіпаючи збиральну лінзу та екран, пересувають джерело світла в напрямку збиральної лінзи, поки на екрані знову не з'явиться чітке зображення. Після чого вимірюють відстань f від місця, де була розсіювальна



rnk.com.ua/
114156

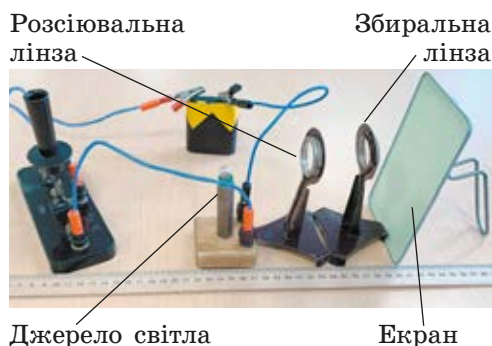


Рис. 1

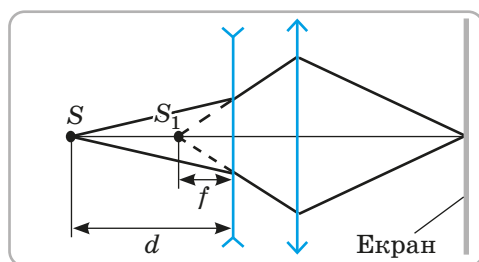


Рис. 2

лінза, до нового положення джерела світла S_1 — відстань від розсіювальної лінзи до уявного зображення джерела світла в цій лінзі (рис. 2).

3. За формулою $D = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$ визначають оптичну силу розсіювальної лінзи.



1. Відстань f від розсіювальної лінзи до уявного зображення необхідно брати зі знаком «-».
2. Оптична сила розсіювальної лінзи має бути від'ємною.

ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ

Підготовка до експерименту

1. Перш ніж виконувати роботу, згадайте: 1) вимоги безпеки під час роботи зі скляними предметами та лазерною указкою; 2) формулу тонкої лінзи; 3) означення оптичної сили лінзи.
2. Уважно прочитайте опис методу вимірювання та складіть детальний план проведення експерименту. Поміркуйте, як можна підвищити точність отриманих результатів.

Експеримент

Дотримуйтесь інструкції з безпеки.

Проведіть експеримент відповідно до складеного вами плану.

Результати вимірювань занесіть до таблиці.

Номер досліду	Відстань від предмета до лінзи d , м	Відстань від лінзи до уявного зображення предмета f , м	Фокусна відстань лінзи F , м	Оптична сила лінзи D , дптр

Опрацювання результатів експерименту

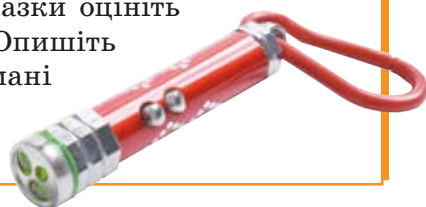
За допомогою формули тонкої лінзи та означення оптичної сили лінзи визначте для кожного досліду фокусну відстань і оптичну силу лінзи відповідно. Результати занесіть до таблиці.

Аналіз експерименту та його результатів

Проаналізуйте експеримент і його результати. Сформулюйте висновок.

Творче завдання

За допомогою пучка світла від лазерної указки оцініть фокусну відстань розсіювальної лінзи. Опишіть ваші дії. Порівняйте результати, отримані в ході виконання основної частини лабораторної роботи й творчого завдання.





rnk.com.ua/
114241

§ 29. ОКО ЯК ОПТИЧНА СИСТЕМА

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Напевно, багато з вас проходили процедуру перевірки зору в лікаря. Як ви гадаєте, які «підказки» щодо стану вашого зору дають лікарю результати цього тесту? Чому для цієї перевірки необхідно закривати одне око? Що це допомагає виявити?

1. Як побудоване людське око?

Око людини — це *оптична система*, що складається з кількох оптичних елементів, які разом призначені для створення зображення. Око (рис. 29.1) має форму кулі діаметром приблизно 2,5 см. Ззовні око вкрите щільною непрозорою оболонкою — **склерою**. Передня частина склери переходить у прозору *рогову оболонку* — **рогівку**, що діє як збиральна лінза й разом із **внутрішньоочною рідиною** забезпечує 75 % здатності ока заломлювати світло.

Зсередини склери вкрита *судинною оболонкою*, яка в передній частині ока переходить у *радужну оболонку* — **радужку**. У центрі радужки є круглий отвір — **зіниця**. Зіниця звужується в разі збільшення освітленості й розширюється в разі її ослаблення.

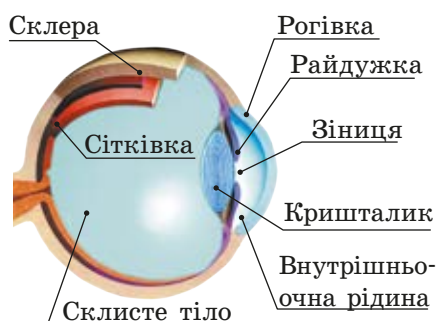


Рис. 29.1. Будова ока

Здатність ока пристосовуватися до зміни освітленості називають **адаптацією**.

За зіницею розташований **кришталік** — збиральна лінза, яка завдяки скріпленню із нею м'язам може змінювати свою кривизну, а отже, оптичну силу.

В утворенні зображення бере участь і **склисте тіло** — прозора драглиста маса, що заповнює простір між кришталіком і **сітківкою**.

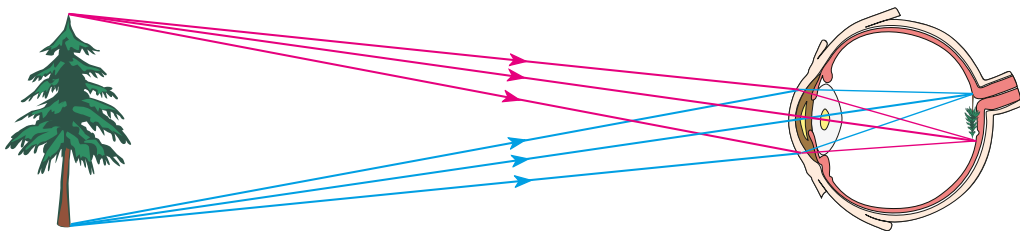


Рис. 29.2. Зображення, яке утворюється на сітківці ока, — дійсне, зменшене, перевернуте

Світло, яке потрапляє в око, послідовно заломлюється на кожній межі між двома сусідніми складниками ока, а саме: в рогівці, внутрішньоочній рідині, кришталику та склистому тілі. У результаті на сітківці — світлочутливій поверхні очного дна — утворюється *дійсне, зменшене, перевернуте зображення* предмета (рис. 29.2).

ДОСЛІДЖЕННЯ

Що знадобиться: зубочистка; лінійка.

Вважаючи, що глибина f очного дна (відстань від оптичного центра оптичної системи «око» до сітківки) приблизно дорівнює 15 мм, оцініть найбільшу оптичну силу вашого ока. Для цього закрийте одне око, а навпроти другого, на відстані 3–4 см, тримайте «ширму» — розведіть два пальці другої руки в боки. Дивлячись крізь «ширму» на кінчик зубочистки, повільно наближайте до «ширми» зубочистку доти, доки її кінчик не почне «розмиватися», «роздвоюватися».

Виміряйте відстань d від зубочистки до ока та, скориставшись формулою тонкої лінзи, визначте найбільшу оптичну силу вашого ока ($D_{\max}$). Запишіть результати свого дослідження.

2. Чому ми можемо бачити предмети на різних відстанях?

Якщо людина має гарний зір, вона чітко бачить і далеко, і близько розташовані предмети. Це відбувається тому, що в разі зміни відстані до предмета кришталік змінює кривизну, тобто змінює свою оптичну силу.

Здатність кришталіка змінювати свою кривизну в разі зміни відстані до розглядуваного предмета називають **акомодацією**.

Якщо людина дивиться на віддалені предмети, то промені, що виходять від цих предметів і потрапляють в око, є практично паралельними. У цьому випадку око найбільш розслаблене. (Згадайте: замислившись, ми дивимося ніби вдалину.) Що ближче розташований предмет, то сильніше напружується око (м'язи ока збільшують кривизну кришталіка).

Найменшу відстань, на якій око бачить предмет практично не втомлюючись, називають **відстанню найкращого зору**.

Для людини з нормальним зором відстань найкращого зору дорівнює приблизно 25 см. Саме на цій відстані така людина, читаючи, тримає книжку.

А ЯК НАСПРАВДІ?



— Збільшене зображення бабки на фото може здатися дивним: ніби капелюх або навушники на голові комахи. Насправді це фасеткові очі бабки, що складаються з тисяч маленьких однакових елементів, кожен з яких нагадує просте око, — пояснював Тарас під час презентації.

Після його виступу розгорнулося обговорення.

— Художникам такі очі були б у пригоді, — пожартувала Олена. — По одному оку на кожний колір.

— Ні, краще футбольним суддям: одне око — один гравець, — додав Петро.

Чи можна, на вашу думку, вважати, що очі бабки «кращі», ніж у людини?



3. Що таке інерція зору?

Якщо швидко переміщувати в темряві бенгальський вогонь, то спостерігач побачить світні фігури, утворені «вогняним контуром». Під час швидкого обертання каруселі її різноколірні лампи, зливаючись, виглядають для спостерігача як кільця. Очі людини весь час кліпають, при цьому ми не помічаємо, що на певний інтервал часу предмет, на який ми дивимось, стає невидимим.

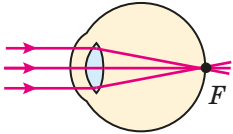
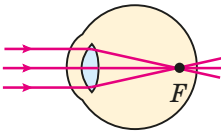
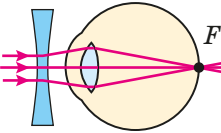
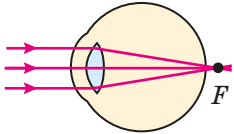
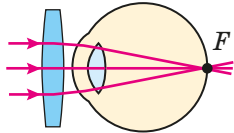
Усі описані явища пояснюються **інерцією зору**. Річ у тім, що після того, як зображення предмета зникає із сітківки ока (предмет пересувають, припиняють освітлювати, затуляють непрозорим екраном тощо), зоровий образ, викликаний цим предметом, зберігається протягом 0,1 с.

Інерцію зору використовують в анімаційному кіно. Картинки на екрані дуже швидко (24 рази на секунду) змінюють одна одну; під час їх зміни екран не освітлюється, але глядач цього не помічає, а просто бачить низку картинок, що чергуються. Так на екрані створюється ілюзія руху.

Скільки ж картинок потрібно намалювати, щоб одержати мультиплікаційний фільм тривалістю лише 10 хв?



4. Як коригують деякі вади зору?

Нормальний зір	Вади зору	
	короткозорість	далекозорість
Фокус F оптичної системи ока у спокійному стані розташований: <i>на сітківці.</i>  На сітківці утворюється <i>чітке</i> зображення віддалених предметів. Відстань найкращого зору — <i>приблизно 25 см.</i> Саме на цій відстані людина з нормальним зором, читаючи, тримає книжку. Фокусна відстань нормального ока становить приблизно 1,71 см.	Фокус F оптичної системи ока у спокійному стані розташований: <i>перед сітківкою.</i>  На сітківці утворюється <i>розмите</i> зображення віддалених предметів. Відстань найкращого зору <i>менша від 25 см.</i> Короткозора людина читає книжку, наближуючи її до очей. Короткозорість коригується окулярами з <i>розсіювальними</i> лінзами. 	Фокус F оптичної системи ока у спокійному стані розташований: <i>за сітківкою.</i>  На сітківці утворюється <i>розмите</i> зображення віддалених предметів. Відстань найкращого зору <i>більша за 25 см.</i> Далекозора людина читає книжку, віддаляючи її від очей. Далекозорість коригується окулярами зі <i>збиральними</i> лінзами. 

Визначте оптичну силу оптичної системи «нормальне око».



ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...



Поява штучного інтелекту (ШІ) суттєво вдосконалила багато сфер життя. Зокрема, нові технології допомагають людям у ситуаціях, коли отримання зорової інформації ускладнене. Якщо уявити зір як ланцюжок «сприймання — розпізнавання — передавання сигналу до мозку», то саме етап розпізнавання може давати збій.

Сучасні камери в смартфонах і планшетах здатні фіксувати зображення дуже точно, а голосові повідомлення перетворюють цю інформацію на зручний формат. Об'єднує ці можливості саме штучний інтелект.

Перші мобільні пристрої на основі ШІ вже застосовують для підтримки людей із порушеннями зору. Новітні технології комп'ютерного зору дають змогу розпізнавати об'єкти, тексти, обличчя й допомагають людині краще орієнтуватися в навколишньому світі.



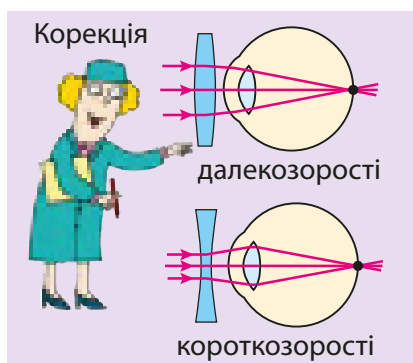
ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Основні складники оптичної системи ока



Адаптація — здатність ока пристосовуватися до зміни освітленості.

Акомодація — здатність кришталіка змінювати свою кривизну в разі зміни відстані до розглядуваного предмета.



25 см — відстань найкращого зору



0,1 с — час зберігання зорового образу у свідомості людини



КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Назвіть оптичні елементи ока та їх функції. 2. Як реагує зіниця на зміну освітленості? 3. Чому людина з нормальним зором може без напруження ока чітко бачити й далеко, і близько розташовані предмети? 4. Яку ваду зору називають короткозорістю? далекозорістю? Як їх можна скоригувати? 5. Яку властивість зору називають інерцією зору? Наведіть приклади застосування цієї властивості.



ВПРАВА № 29

1. Оптична сила лінз окулярів $-2,5$ дптр. Якою є фокусна відстань цих лінз? Яку ваду зору коригують ці окуляри?
2. На якій мінімальній відстані від ока людина з нормальним зором має розташувати дзеркальце, щоб без напруження побачити чітке зображення цього ока?
3. Чому, щоб краще бачити, короткозора людина мружить очі?
4. Хлопчик читає книжку, тримаючи її на відстані 20 см від очей. Визначте оптичну силу лінз, які необхідні хлопчикові, щоб читати книжку на відстані найкращого зору для нормального ока.

5. Чому навіть у чистій воді людина без маски погано бачить?
6. Проведіть аналогію між фотоапаратом і оком людини. Які функції ока виконують різні частини фотоапарата?
7. Дізнайтеся про методи профілактики вад зору. Як виправити зір?

Ключові терміни

Оптична система ока • Акомодація • Адаптація • Інерція зору • Короткозорість • Далекозорість



rnk.com.ua/114157

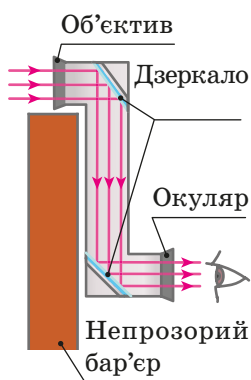
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 10

Тема. Виготовлення моделі оптичного пристрою.

Мета: з'ясувати принцип дії перископа та виготовити його модель.

Обладнання: два однакових плоских дзеркала; штатив із двома муфтами й лапками; дзеркало на короткій підставці, що може обертатись у вертикальній площині; екран (заввишки від 25 см); пляшка для води (0,5 л); транспорт.

Теоретичні відомості



Перископ — це оптичний пристрій, що дозволяє спостерігати за об'єктом, розташованим у горизонтальній площині, що не збігається з горизонтальною площиною ока спостерігача. Перископ дає змогу спостерігати об'єкти, що перебувають поза прямою видимістю. Одну з можливих моделей подано на рисунку (ліворуч).



ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ

Підготовка до експерименту

1. Перш ніж виконувати роботу, згадайте: 1) закони відбивання світла; 2) характеристики зображень, що дає плоске дзеркало.
2. Проаналізуйте будову й принцип роботи поданої моделі перископа.

Експеримент

Дотримуйтесь інструкції з безпеки.

1. Розташуйте одне дзеркало на підставці на столі під кутом приблизно 45° до горизонту відбивальною поверхнею догори. Центр дзеркала має перебувати на висоті орієнтовно 5–7 см від поверхні стола.
2. За дзеркалом установіть вертикально екран (наприклад, підручник із фізики). За екраном на відстані приблизно 2 м розмістіть на підлозі пляшку. Переконайтеся, що, сидячи на стільці перед дзеркалом і екраном, ви не бачите пляшку безпосередньо.
3. Візьміть друге дзеркало і, повернувши його відбивальною поверхнею до першого, підніміть на висоту до 40 см над столом. Установіть друге дзеркало так, щоб, дивлячись у нижнє дзеркало, ви бачили зображення, створене верхнім дзеркалом (наприклад, напис на підручнику). Повільно змінюйте положення верхнього дзеркала, доки в нижньому дзеркалі не з'явиться зображення пляшки або її частини.
4. Оцініть кути, які поверхні дзеркал утворюють із горизонтом. Виконайте пояснювальний рисунок.
5. Закріпіть два плоских дзеркала в лапках штатива.
6. Розташуйте дзеркала так, щоб їхні відбивальні поверхні були нахилені приблизно під кутом 45° до горизонту. Повторіть дії, описані в п. 2–3.
7. Не встаючи зі стільця й дивлячись у нижнє дзеркало, спостерігайте зображення пляшки або її частини. За потреби відрегулюйте положення дзеркал.
8. Виміряйте кути, які поверхні дзеркал утворюють із горизонтом. Накресліть хід світлових променів у вашій моделі.

Аналіз експерименту та його результатів

Проаналізуйте експеримент і його результати. Сформулюйте висновок, у якому зазначте: 1) за яких умов можна спостерігати предмет, що не перебуває в прямій видимості; 2) як змінюється напрямок поширення світлових променів у перископі.

Творче завдання

Виготовте модель перископа. Ознайомитися з корисними порадами щодо її виготовлення можна за QR-кодом або посиланням на початку роботи.

Перевірте роботу своєї моделі. Зніміть відео процесу виготовлення або зробіть фото готового пристрою та продемонструйте його вчителю / вчительці.

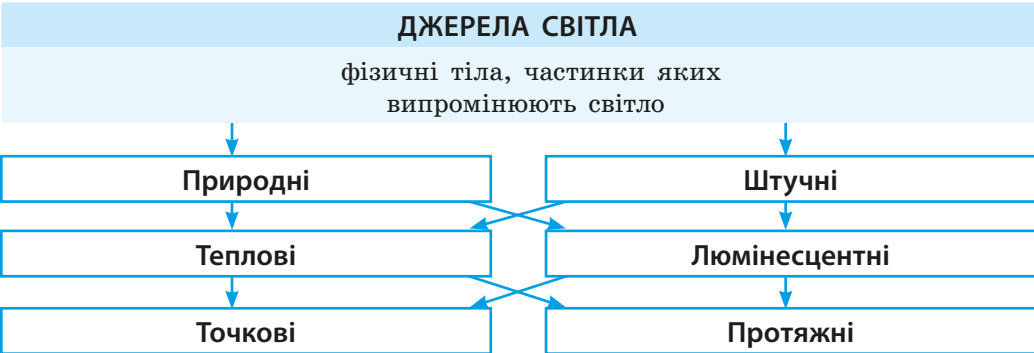
Яку функцію, на вашу думку, виконують лінзи, що входять до складу реальних перископів? Як змінилися б можливості виготовленої вами моделі, якби ви додали до неї лінзи?

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ РОЗДІЛУ 4

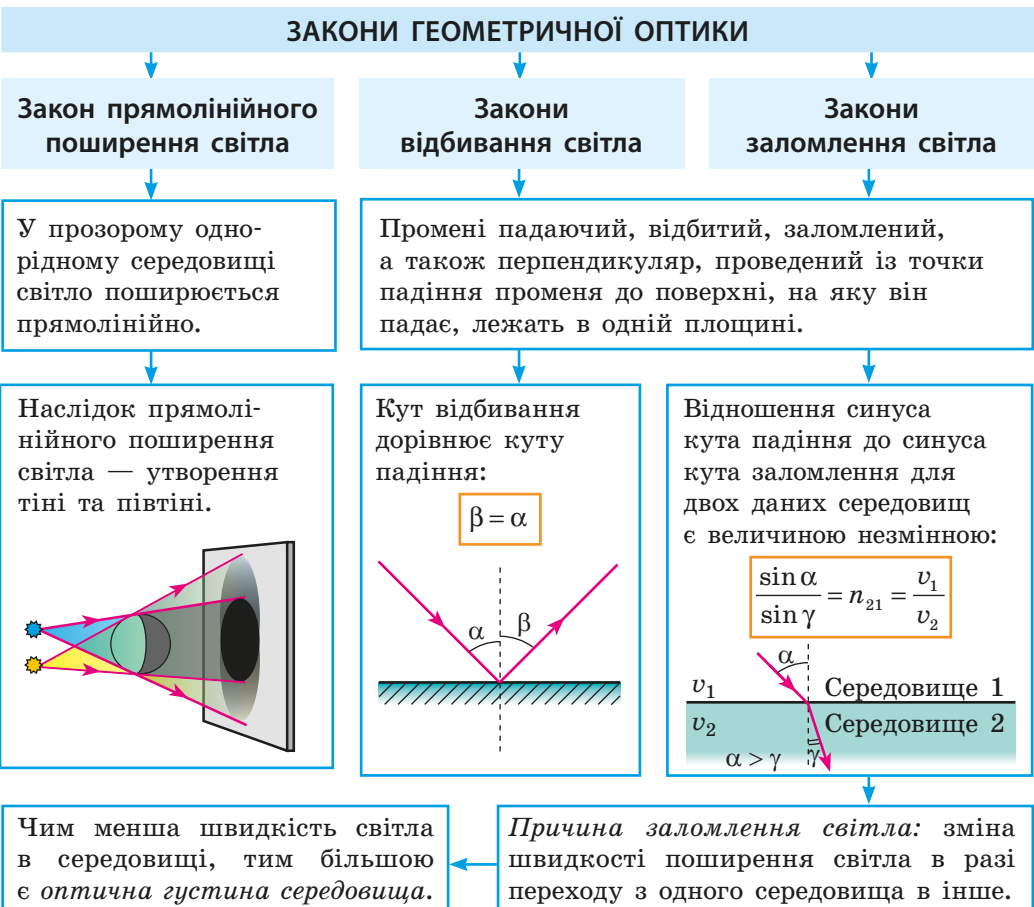


rnk.com.ua/
115314

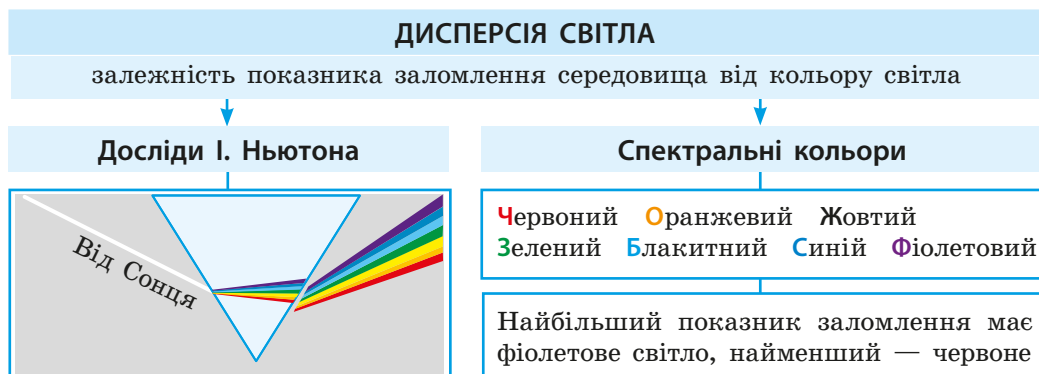
1. Вивчивши розділ 4, ви дізналися, що ми бачимо навколишній світ завдяки тому, що *тіла навколо нас відбивають світло* або самі є *джерелами світла*.



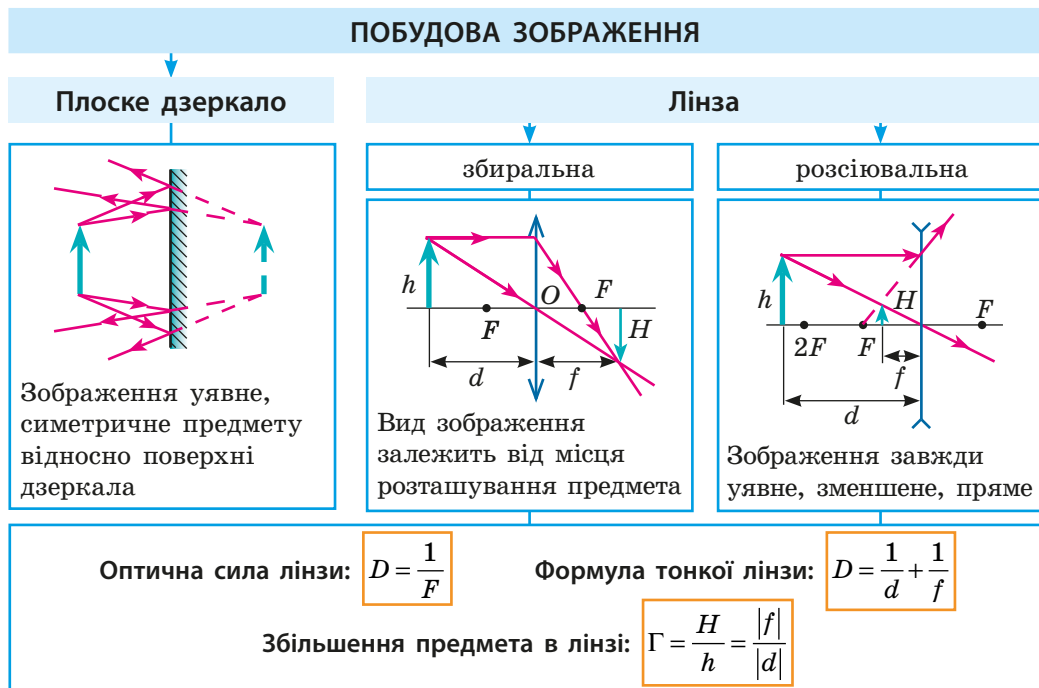
2. Ви дізналися про *закони поширення світла* — *закони геометричної оптики*.



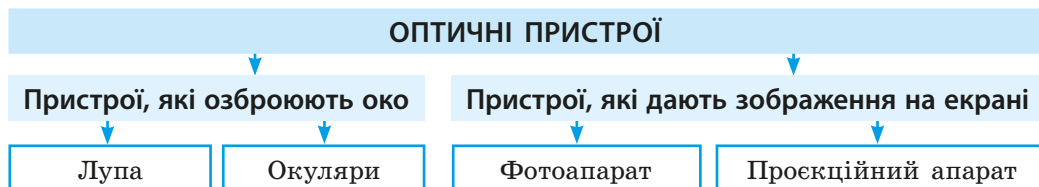
3. Ви ознайомилися з дослідами І. Ньютона і виявили, що біле світло складається зі світла різних кольорів. Світло різних кольорів у вакуумі поширюється з однаковою швидкістю $c \approx 3 \cdot 10^8$ м/с, а в середовищі — з різною.



4. Ви навчилися *будувати зображення* в плоскому дзеркалі та лінзах.



5. Ви ознайомилися з *оптичними пристроями*, у яких застосовують лінзи.



ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМООЦІНЮВАННЯ ДО РОЗДІЛУ 4



rnk.com.ua/
114242

Група результатів 1. Проводимо дослідження природи

1. (2 бали) Які пристрої із запропонованого переліку є оптичними? Виберіть усі правильні відповіді.

А Мікроскоп

В Камера-обскура

Д Перископ

Б Сонячна панель

Г Електродвигун

Е Фотоапарат

2. (2 бали) Світловий промінь переходить із середовища 1 у середовище 2 (рис. 1). Які кути необхідно виміряти для розрахунку показника заломлення середовища 2 відносно середовища 1? Виберіть усі правильні відповіді.

А кут AOB

Б кут AOK

В кут COD

Г кут COM

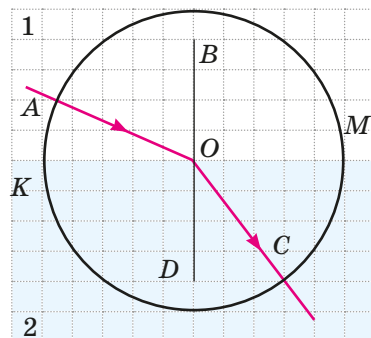


Рис. 1

3. На рис. 2 зображено запалену свічку, збиральну лінзу та екран. На екрані отримано чітке зменшене обернене зображення полум'я свічки.

1) (1 бал) Які фізичні величини можна виміряти за допомогою установки, що зображена на рисунку?

2) (3 бали) Чому дорівнює значення кожної величини?

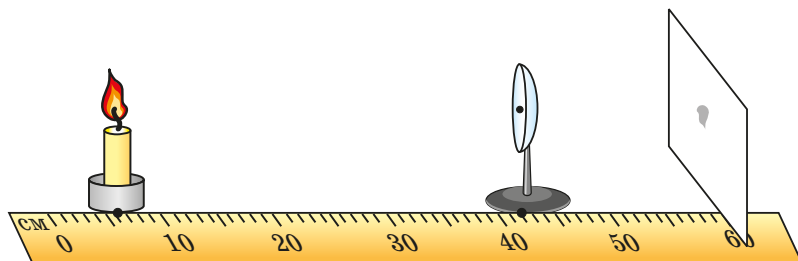


Рис. 2

4. (2 бали) Лінзу якого типу зображено на рис. 3? Яке обладнання із запропонованого переліку ви доберете для вимірювання її оптичної сили? Виберіть усі правильні відповіді.

А Плоске дзеркало

Б Збиральна лінза

В Джерело світла

Г Лінійка

Д Транспортир

Е Розсіювальна лінза

Є Екран

Ж Пляшка з водою

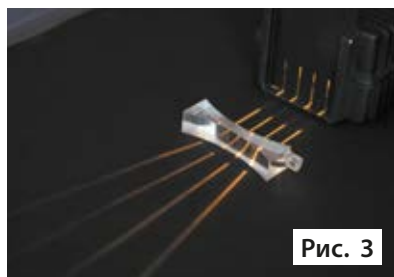


Рис. 3

5. (2 бали) Запропонуйте перелік обладнання і складіть план проведення експерименту, метою якого є перевірка законів відбивання світла в домашніх умовах.

Група результатів 2. Здійснюємо пошук та опрацьовуємо інформацію

6. (1 бал) Яке оптичне явище ілюструє фотографія (рис. 4)?

- А Відбивання світла
- Б Поглинання світла
- В Дисперсія світла
- Г Заломлення світла



Рис. 4

7. (1 бал) Який закон підтверджується існуванням сонячних і місячних затемнень?

- А Закон відбивання світла
- Б Закон прямолінійного поширення світла
- В Закон збереження енергії

8. (2 бали) Яка точка (рис. 5) є зображенням світної точки S у плоскому дзеркалі?

- А 1
- Б 2
- В 3
- Г Зображення в дзеркалі немає

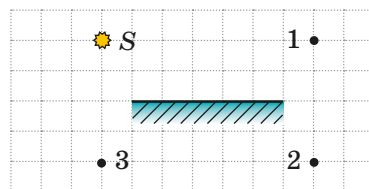


Рис. 5

9. (2 бали) Яку ваду зору має людина, якщо вона носить окуляри, нижня частина яких — опуклі скельця, а верхня частина — плоскі?

- А Далекозорість
- Б Короткозорість
- В Людина не має вад зору
- Г Визначити неможливо

10. (2 бали) Під час фотографування на об'єктив фотоапарата сіла муха. Чи вплине це на знімок, і якщо вплине, то як?

- А Жодним чином не вплине
- Б На знімку з'явиться зображення мухи
- В Знімок буде менш яскравим
- Г Знімок буде більш яскравим



Рис. 6

11. (4 бали) Чому кривизна кришталика ока риби (рис. 6) більша, ніж у людини?

Група результатів 3. Усвідомлюємо закономірності природи

12. (1 бал) Яким є зображення предмета в плоскому дзеркалі?
 А Збільшеним дійсним
 Б Рівним дійсним
 В Зменшеним уявним
 Г Рівним уявним
13. (1 бал) Промінь світла падає з повітря на поверхню скляної пластини (рис. 7). На якому з наведених рисунків правильно зазначено всі три кути: кут падіння α , кут відбивання β і кут заломлення γ ?

- А 1
 Б 2
 В 3
 Г 4

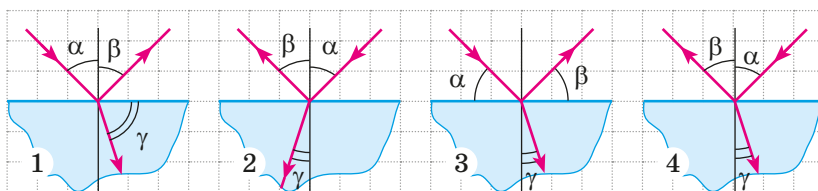


Рис. 7

14. (2 бали) Чому дорівнює оптична сила лінзи, хід променів у якій показано на рис. 8?

- А $-0,04$ дптр
 Б $+4$ дптр
 В $+25$ дптр
 Г $+50$ дптр

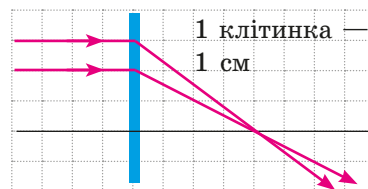


Рис. 8

15. (2 бали) Людина наближається до дзеркала зі швидкістю 2 м/с. З якою швидкістю до людини наближається її зображення в дзеркалі?
16. (3 бали) Світло падає з повітря на поверхню прозорої речовини під кутом 45° . Визначте абсолютний показник заломлення цієї речовини, якщо заломлене світло поширюється під кутом 60° до межі поділу середовищ.
17. (3 бали) Предмет розташований на відстані 1 м від збиральної лінзи з фокусною відстанню $0,5$ м. На якій відстані від лінзи розташоване зображення предмета?

Зверте ваші відповіді з наведеними в кінці підручника й оцініть свої результати навчання за кожною групою. Поміркуйте, що вдалося найкраще, над чим треба ще попрацювати.

Продовжуйте відкривати для себе світ фізики.

ТЕМИ ПОВІДОМЛЕНЬ

1. Майбутнє — за світлодіодами.
2. Досліди з вимірювання швидкості поширення світла.
3. Міражі: як вони утворюються й де їх можна спостерігати.
4. Навіщо пішоходу на одязі світловідбивальні поверхні.
Як такі поверхні використовують автомобілісти.
5. Колір і світло.
6. Чому вночі ми майже не розрізняємо кольори.
7. Оптичне мистецтво «Оп-арт» як синтез науки й мистецтва.
8. Зорові тренажери. Чому і як можна відновити зір.
9. Оптичні прилади в медицині.
10. Історія фотографії.
11. Ультрафіолетове очищення води.
12. Прилади нічного бачення.
13. Підзорна труба: історія створення, будова, принцип дії.
14. Стробоскоп та стробоскопічні фотографії.

ТЕМИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Вивчення законів поширення світла за допомогою лазерної указки.
2. Вивчення законів заломлення світла та пов'язаних з ними оптичних ефектів. Оптичні фокуси.
3. Дослідження спектрального складу світла за допомогою призми (відтворення дослідів І. Ньютона).
4. Виготовлення моделей оптичних пристроїв (камера-обскура, калейдоскоп, мікроскоп).

ТЕМИ НАВЧАЛЬНИХ ПРОЄКТІВ

1. Оптичні прилади й пристрої.
2. Оптичні ілюзії.
3. Дослідження потужності та ККД штучних джерел світла різних типів.
4. Вимірювання показника заломлення рідини.
5. Увігнуті дзеркала: властивості та приклади застосування.
6. Оптичні явища в природі.
7. Око і зір.

Під час роботи над навчальними проєктами радимо ознайомитися з деякими порадами щодо їх створення і презентації («Етапи роботи над навчальним проєктом») в інтерактивному електронному додатку.



rnk.com.ua/
114218



РОЗДІЛ 5

БУДОВА АТОМА ТА АТОМНОГО ЯДРА

ФІЗИЧНА
БАЗА:
ЩО ВЖЕ
ЗНАЄМО



rnk.com.ua/
114622

Підготуйтеся
до опанування
нової теми



Ви знаєте, що одно-
йменні заряди від-
штовхуються, а тепер
дізнаєтеся, коли вони
притягуються

Ви знаєте, що життя на Землі
неможливе без сонячної
енергії, а тепер дізнаєтеся,
звідки Сонце її «бере»

Ви знаєте, як працює
тепловий двигун,
а тепер дізнаєтеся,
як працює ядерний
реактор





rnk.com.ua/
114243

§ 30. МОДЕЛІ АТОМА ТА АТОМНОГО ЯДРА. ЯДЕРНІ СИЛИ. ІЗОТОПИ

Демокріт

Атоми — найдрібніші та незмінні тверді частинки, з яких складається речовина



ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Розгляньте рис. 30.1, згадайте попередній курс фізики й дайте відповіді на запитання.

- 1) Які із запропонованих моделей будови атома є ядерними? Обґрунтуйте свою відповідь.
- 2) У скільки разів, на вашу думку, розмір атомного ядра відрізняється від розміру атома?
- 3) З яких частинок складається ядро атома?

1. Чому Резерфорд запропонував планетарну модель атома?

У 1908–1911 рр. під керівництвом *Ернеста Резерфорда* було проведено досліді щодо з'ясування структури атома.

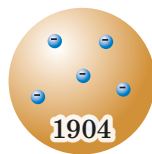
Вузький пучок α -частинок* зі свинцевого контейнера спрямовувався на тонку золоту фольгу, а далі потрапляв в екран, покритий шаром кристалів сульфиду цинку (рис. 30.2). Якщо в екран влучала α -частинка, то в місці її влучання відбувався слабкий спалах світла. Учені спостерігали спалахи за допомогою мікроскопа. Із пристрою було відкачане повітря.

* α -частинки — це позитивно заряджені частинки, які самовільно та з величезною швидкістю вилітають із ядер деяких радіоактивних речовин. Докладніше про це йтиметься в § 31.

Джозеф Томсон

Атом являє собою позитивно заряджену кулю, в яку вкраплені електрони.

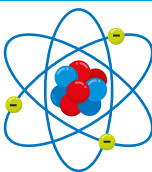
Модель «пудинг з родзинками»



Ернест Резерфорд

У середині атома розташоване важке позитивно заряджене ядро, навколо якого обертаються електрони.

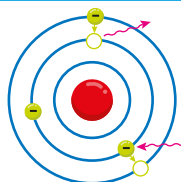
Планетарна модель атома



Нільс Бор

Електрони рухаються навколо ядра по стаціонарних орбітах, не випромінюючи енергії.

Перехід електрона на іншу орбіту супроводжується випромінюванням або поглинанням кванта енергії.



Кожний електрон усередині атома найімовірніше можна виявити в певній зоні навколо ядра; форма цієї зони визначається енергією електрона.

Квантово-механічна модель атома

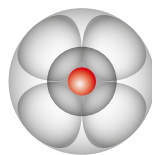


Рис. 30.1. «Еволюція» моделі атома

У ході дослідів було виявлено:

1) переважна більшість α -частинок проходила крізь золоту фольгу, майже не змінюючи напрямку свого руху;

2) деякі частинки відхилялися від початкової траєкторії;

3) приблизно одна з 20 000 частинок відскакувала від фольги, начебто натикаючись на якусь перешкоду (рис. 30.3).

Е. Резерфорд не міг бачити внутрішню структуру атома, тому він залучив логіку.

Якщо позитивний заряд і маса рівномірно розподілені по всьому об'єму атома, то всі α -частинки мали б пролетіти крізь фольгу майже не відхиляючись, адже їхня енергія величезна (це як бити м'ячиком крізь павутиння).

Якщо ж позитивний заряд і маса зосереджені в невеликому об'ємі всередині атома, то лише в мізерній кількості випадків α -частинки відскакують назад.

Очевидно, що друге припущення краще пояснює результати експерименту. Саме тому Резерфорд запропонував ядерну модель будови атома: *атом складається з позитивно зарядженого ядра, оточеного негативно зарядженими частинками — електронами; саме в ядрі зосереджена мало не вся маса атома.*

Розмір ядра порівняно з атомом надзвичайно малий (діаметр атома — приблизно 10^{-10} м, а ядра — 10^{-15} м). Якби атом удалося збільшити до розміру стадіону, то діаметр ядра атома дорівнював би розміру мурахи.

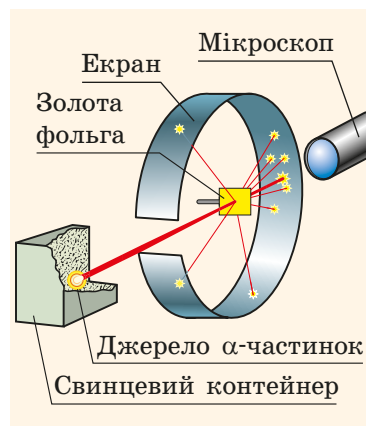


Рис. 30.2. Схема дослід з розсіяння α -частинок (дослід Резерфорда)

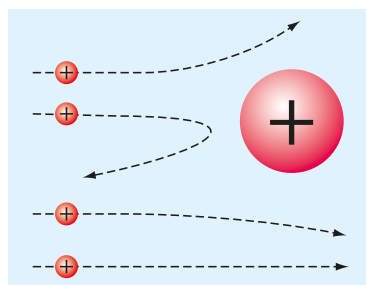


Рис. 30.3. Траєкторії α -частинок. Що ближче до ядра пролітає α -частинка, то більша сила відштовхування й то більше частинка відхиляється від прямолінійної траєкторії

А ЯК НАСПРАВДІ?



— Чому Резерфорд вирішив, що ядро атома має позитивний заряд і набагато більшу масу, ніж α -частинка? — запитала вчителька й отримала такі відповіді:

— Ядро може бути заряджене й негативно, α -частинки також відхилялися б.

— α -частинка має величезну швидкість руху, тому вона може відскочити тільки від важкого ядра, в іншому разі вона штовхне ядро вперед.

— Якби ядро було заряджене негативно, то α -частинка «пристала» б до нього, а не відскочила.

Яка відповідь є правильною? Чи правильними є всі відповіді?

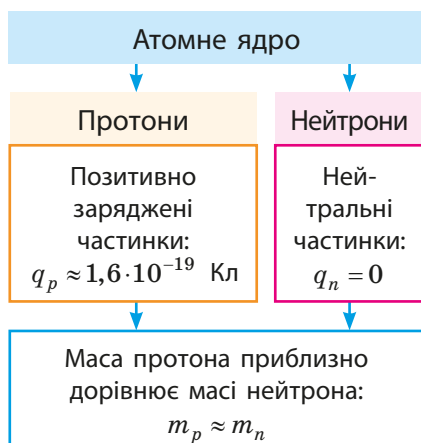


Рис. 30.4. Будова атомного ядра

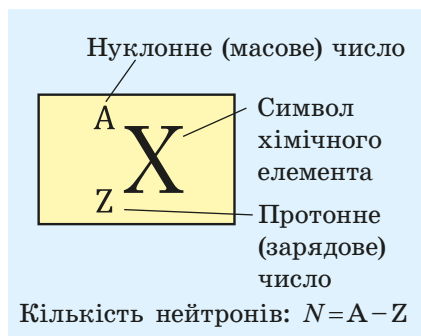
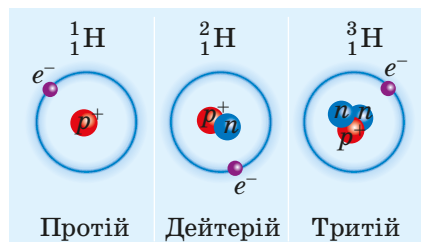


Рис. 30.5. Позначення нукліда

Скільки протонів і нейтронів містить ядро нукліда алюмінію-27 ($^{27}_{13}\text{Al}$)?

Рис. 30.6. Ізотопи водню, які існують у природі. Символом e^- позначено електрони, p^+ — протони, n — нейтрони

2. З яких частинок складається ядро?

З курсів фізики і хімії ви знаєте, що *атомне ядро складається із частинок двох видів* (рис. 30.4).

Протони й нейтрони, що входять до складу ядра атома, називають **нуклонами**.

Сумарну кількість протонів і нейтронів в атомі називають **нуклонним (масовим) числом** і позначають символом A .

Число протонів у ядрі називають **протонним (зарядовим) числом** і позначають символом Z . Порядковий номер елемента в Періодичній системі хімічних елементів відповідає числу протонів у ядрі (протонному числу) (рис. 30.5).

Вид атомів, ядро яких характеризується певним значенням зарядового числа та певним значенням масового числа, називають **нуклідом**.

Знаючи зарядове (Z) і масове (A) числа ядра атома, можна визначити кількість нейтронів (N) у цьому ядрі: $N = A - Z$.

Якщо різні нукліди мають однакове зарядове число, то їхні хімічні властивості є однаковими — нукліди належать одному хімічному елементу.

Різновиди атомів того самого хімічного елемента, ядра яких містять однакову кількість протонів, але різну кількість нейтронів, називають **ізотопами** («однакові за місцем»).

Кожний хімічний елемент має декілька ізотопів. Деякі з них існують у природі (рис. 30.6), але більшість отримано штучно.

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...



Відкриття будови атомного ядра без сумніву можна назвати «міжнародним».

Протон відкрив англійський фізик новозеландського походження *Ернест Резерфорд* (1918 р.), нейтрон — англійський фізик *Джеймс Чедвік* (1932 р.). Гіпотезу щодо протонно-нейтронної будови ядра атома вперше незалежно один від одного висунули український учений (уродженець Полтавщини) *Дмитро Дмитрович Іваненко* і німецький учений *Вернер Гейзенберг* (1932 р.). Відтоді уявлення про будову ядра майже не змінилися.

3. Які сили утримують протони всередині ядра?

Ви вже знаєте, що електрони, маючи негативний заряд, утримуються навколо позитивного ядра завдяки електромагнітній взаємодії. Але як у складі одного ядра й на дуже близькій відстані один від одного утримуються протони, адже однойменно заряджені частинки відштовхуються?

З'ясовано, що всі частинки в ядрі притягуються одна до одної завдяки взаємодії, яка в сотні разів сильніша, ніж електромагнітне відштовхування протонів (рис. 30.7). Саме тому взаємодію нуклонів називають **сильною взаємодією**.

Сили, які діють між протонами й нейтронами в ядрі та забезпечують існування атомних ядер, називають **ядерними силами**.

Основні властивості ядерних сил:

- 1) є *тільки силами притягання*;
- 2) є *близькодійними*: ядерні сили між нуклонами виявляються лише на відстанях порядку 10^{-15} м (розмір нуклона);
- 3) *не залежать від заряду*: на однаковій відстані сили, що діють між двома протонами, між двома нейтронами або між протоном і нейтроном, є однаковими;
- 4) мають *властивість насичення*: нуклон виявляється здатним до ядерної взаємодії одночасно лише з невеликою кількістю нуклонів-«сусідів».

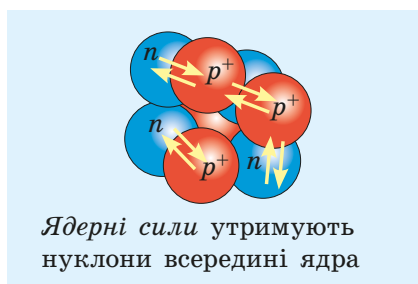
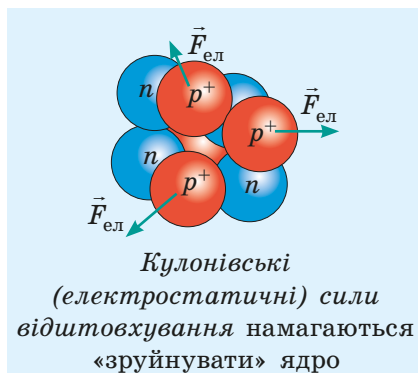


Рис. 30.7. Сили взаємодії між нуклонами ядра

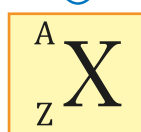
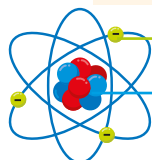
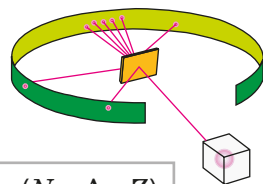
Чому ядерні сили називають «гігантами з короткими руками?»





ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Ядерна (планетарна) модель будови атома створена за результатами дослідів Е. Резерфорда з розсіювання α -частинок.



Електрони

Ядро

Нуклони

Кількість нуклонів (A) у ядрі дорівнює масовому числу

Нейтрони ($N = A - Z$)

Протони

Кількість протонів (Z) у ядрі дорівнює порядковому номеру елемента в Періодичній системі хімічних елементів

У ядрі нуклони утримуються разом завдяки дії **ядерних сил** притягання.

Ядерні сили є *близькодійчими* — на відстанях, більших за розмір нуклона, вони не виявляються.



КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Опишіть дослід Е. Резерфорда та його результати. **2.** З яких частинок складається атом? атомне ядро? **3.** Що таке зарядове число? масове число? **4.** Як визначити кількість протонів і нейтронів у ядрі? Наведіть приклад. **5.** Що таке нуклід? **6.** Які нукліди називають ізотопами? **7.** Дайте означення ядерних сил, опишіть їхні властивості.



ВПРАВА № 30

- Скільки протонів і скільки нейтронів міститься в ядрі атома аргону $^{40}_{18}\text{Ar}$?
- Чим відрізняються ядра ізоотопів урану: $^{238}_{92}\text{U}$ і $^{235}_{92}\text{U}$?
- У ядрі атома бору міститься 5 протонів і 6 нейтронів. Скільки електронів у цьому атомі? скільки нуклонів у ядрі цього атома?
- Серед поданих символів хімічних елементів визначте той, що відповідає атому з найбільшою кількістю електронів: Ca, Cu, Ge, Sb, P. Скористайтеся Періодичною системою хімічних елементів.
- Оцініть силу ядерної взаємодії між двома нуклонами ядра атома (відстань між сусідніми нуклонами $\approx 10^{-15}$ м).

Ключові терміни

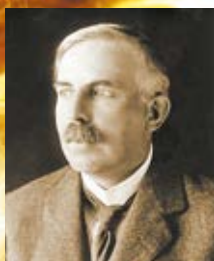
Дослід Резерфорда • Нуклон • Масове число • Зарядове число • Нуклід • Ізотоп • Сильна взаємодія • Ядерні сили



Антуан Анрі
Беккерель
(1852–1908)



П'єр Кюрі (1859–1906)
і Марія Склодовська-Кюрі
(1867–1934)



Ернест
Резерфорд
(1871–1937)



Фредерік
Содді
(1877–1956)

§ 31. РАДІОАКТИВНІСТЬ. ВИДИ РАДІОАКТИВНИХ ВИПРОМІНЮВАНЬ



ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Запишіть у зошиті слово «Радіоактивність», а поряд — низку слів, які з ним пов'язані.

Згадайте, які спільні риси мають рентгенівське та γ -випромінювання.

Зробіть припущення, чому відкриття рентгенівських променів стало поштовхом для відкриття явища радіоактивності.

Чому, на вашу думку, Альберт Ейнштейн порівнював відкриття радіоактивності з відкриттям вогню та вважав, що вогонь і радіоактивність — однаково значущі віхи в історії людства?

1. Як було відкрито явище радіоактивності?

Наприкінці XIX ст. зображення руки людини з видимою структурою кісток обійшло шпальти газет усього світу, а для фізиків стало справжньою сенсацією. Саме з відкриття рентгенівських променів почалася історія відкриття радіоактивності, а допоміг у цьому випадок.

Було висунуто гіпотезу, що рентгенівські промені можуть виникати під час світіння (люмінесценції) деяких речовин, опромінених перед тим сонячним світлом. До таких речовин належать, наприклад, деякі солі урану.

Такою сіллю й скористався французький фізик *Анрі Беккерель* (див. заставку до § 31). Знаючи, що рентгенівські промені, на відміну від хвиль оптичного діапазону, проходять крізь цупкий чорний папір, учений узяв загорнуту в такий папір фотопластинку (рис. 31.1), поклав на неї крупинки уранової солі

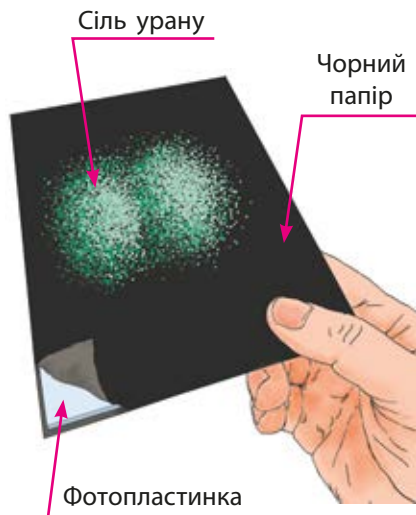


Рис. 31.1. Схема досліду А. Беккереля. Фотопластинка — скляна пластинка, вкрита чутливою до випромінювання речовиною



Рис. 31.2. Одна з фотопластинок А. Беккереля, яку було проявлено 1 березня 1896 р.

й на кілька годин виніс фотопластинку на яскраве сонячне світло. Після проявлення на фотопластинці виявилися темні плями саме в тих місцях, де була уранова сіль.

Вирішивши продовжити дослідження, А. Беккерель підготував дещо інший дослід: на загорнуту фотопластинку він помістив мідний хрестик, на який поклав тонку скляну пластинку із сіллю урану. Проте вченому завадила похмура погода. За кілька днів, так і не дочекавшись появи сонця, учений вирішив про всяк випадок проявити фотопластинку. Результат був несподіваним: на пластинці з'явився контур хреста (рис. 31.2).

Тож сонячне світло тут ні до чого, і *сіль урану сама, без впливу зовнішніх чинників, випускає невидиме випромінювання, яке частково проходить навіть крізь шар міді!*

Пізніше таке випромінювання назвуть **радіоактивним випромінюванням** (від латин. *radio* — випромінюю, *activus* — дієвий), здатність речовин до радіоактивного випромінювання — **радіоактивністю**, а нукліди, ядра яких мають таку здатність, — **радіонуклідами**.

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...



Нині встановлено, що всі без винятку елементи мають радіоактивні ізотопи. Але наприкінці XIX ст. був відомий лише один радіоактивний елемент — уран.

«Чи тільки уран випускає “промені Беккереля”?» — саме з пошуку відповіді на це запитання почала свою роботу з вивчення радіоактивності французько-польська вчена *Марія Кюрі*. Ретельно перевіривши на радіоактивність майже всі відомі на той час елементи, вона виявила, що радіоактивності має також торій.

Марія Кюрі та її чоловік *П'єр Кюрі* відкрили й нові радіоактивні елементи, зокрема полоній і радій.

1903 року було присуджено Нобелівську премію з фізики *Анрі Беккерелю* (за відкриття радіоактивності) та подружжю Кюрі (за спільне дослідження явищ радіації).

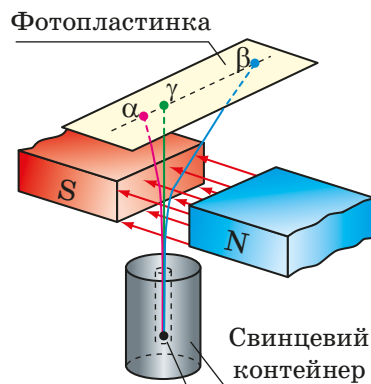
2. Які існують види радіоактивного випромінювання?

Досліди з вивчення природи радіоактивного випромінювання (рис. 31.3) показали, що **радіоактивні речовини можуть давати випромінювання трьох видів**: позитивно заряджені частинки (α (*альфа*)-випромінювання), негативно заряджені частинки (β (*бета*)-випромінювання) і нейтральні промені (γ (*гамма*)-випромінювання).

Розгляньте [рис. 31.3](#), згадайте, на які об'єкти діє магнітне поле, та поясніть, чому в магнітному полі α -частинки відхиляються в один бік, β -частинки — в інший, а γ -промені зовсім не відхиляються.

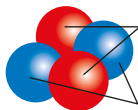


Пам'ятаючи, що за напрямку струму в провіднику прийнято напрямку руху позитивно заряджених частинок, скористайтеся правилом лівої руки та переконайтеся, що α -частинки мають позитивний заряд.



Радіоактивна речовина

Рис. 31.3. Схема досліду з вивчення природи радіоактивного випромінювання. Після проявлення фотопластинки на ній чітко видно три темні плями

Природа радіоактивного випромінювання		
Альфа-випромінювання (α -частинки)	Бета-випромінювання (β -частинки)	Гамма-випромінювання (γ -промені)
Це потік ядер атомів гелію (${}^4_2\text{He}$), які рухаються зі швидкістю порядку 10^7 м/с.  2 протони 2 нейтрони	Це потік електронів (${}^0_{-1}e$), які летять із швидкістю, наближеною до швидкості поширення світла.  $v_e \rightarrow c$	Це електромагнітні хвилі надзвичайно високої частоти (понад 10^{18} Гц). Швидкість поширення цих хвиль у вакуумі $c \approx 3 \cdot 10^8$ м/с. 
Заряд α-частинки позитивний і дорівнює двом елементарним зарядам: $q_\alpha \approx +3,2 \cdot 10^{-19}$ Кл	Заряд β-частинки негативний і дорівнює за модулем одному елементарному заряду: $q_\beta \approx -1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл	γ-промені — це не частинки, тому вони не можуть мати заряд: $q_\gamma \approx 0$

3. Як захиститися від радіоактивного випромінювання?

У більшості людей слово «радіація» асоціюється з небезпекою. І це, безумовно, правильно. Радіоактивне випромінювання не фіксується органами чуття людини, проте воно може призвести до згубних наслідків.

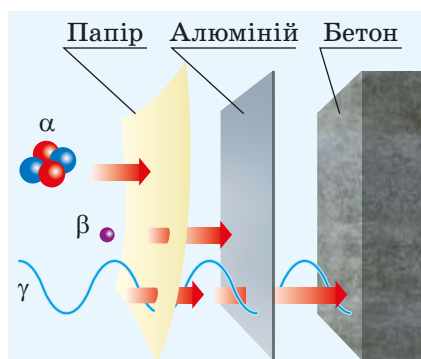


Рис. 31.4. Захист від радіоактивного випромінювання

Простіше за все захиститися від α - і β -випромінювань. Як показали експерименти, достатньо тонкого аркуша паперу (0,1 мм), щоб зупинити α -частинки; β -випромінювання повністю поглинається, наприклад, алюмінієвою пластинкою завтовшки 1 мм (рис. 31.4). Найважче захиститися від γ -випромінювання — воно проникає крізь доволі товсті шари матеріалів. В окремих випадках для захисту від γ -випромінювання необхідні бетонні стіни завтовшки кілька метрів.

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...



У перші роки вивчення радіоактивності науковці навіть не уявляли, який шкідливий вплив має радіоактивне випромінювання. Під час хімічних дослідів із виділення радію (невелика пробірка за 4 роки роботи) подружжя Кюрі весь час отримувало «опіки» рук, не розуміючи, що їх спричинювало радіоактивне випромінювання. А записники М. Кюрі й досі такі радіоактивні, що є небезпечними для оточення.

Відкрив біологічну дію радіоактивного випромінювання А. Беккерель, і знову випадково. Для виступу він позичив у подружжя Кюрі пробірку з радієм, поклав її в кишеню жилета, а наступного дня виявив на шкірі під кишенею червону пляму у формі пробірки.



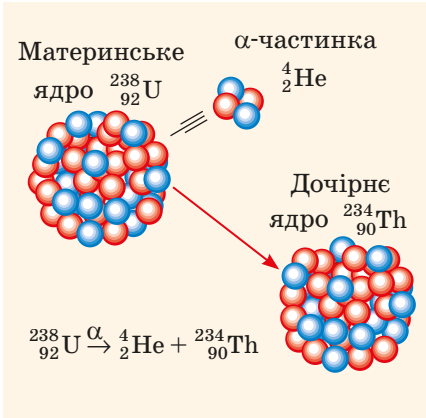
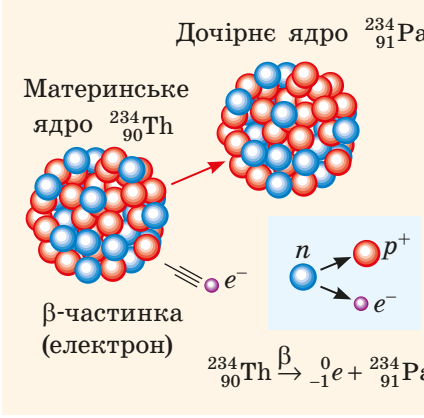
4. Які зміни відбуваються з ядром атома внаслідок радіоактивного розпаду?

Вивчення радіоактивності показало, що *радіоактивне випромінювання є наслідком перетворень ядер атомів*. Причому ці перетворення відбуваються довільно (без жодних причин), їх не можна прискорити або сповільнити, вони не залежать від зовнішнього впливу, тобто на них не впливають зміни тиску й температури, дія магнітного та електричного полів, хімічні реакції, зміна освітленості тощо.

Радіоактивність — здатність ядер радіонуклідів довільно перетворюватися на ядра інших елементів із випромінюванням мікрочастинок.

Випромінюючи α - чи β -частинки, вихідне (материнське) ядро перетворюється на ядро атома іншого елемента (дочірнє ядро); α - і β -розпади можуть супроводжуватися γ -випромінюванням.

З'ясовано, що радіоактивні перетворення підпорядковуються так званим *правилам зміщення*. Ці правила сформулював англійський радіохімік *Фредерік Содді*, тому їх ще називають *правилами Содді*.

Правила зміщення (правила Содді) (базуються на законі збереження електричного заряду та збереженні загальної кількості нуклонів)	
α -розпад	β -розпад
${}_Z^AX \rightarrow {}_2^4\text{He} + {}_{Z-2}^{A-4}Y$	${}_Z^AX \rightarrow {}_{-1}^0e + {}_{Z+1}^AY$
Материнське ядро «виштовхує» α-частинку (${}_2^4\text{He}$) (ядро втрачає 2 протони і 2 нейтрони): ✓ кількість протонів у ядрі зменшується на 2, тому утворюється ядро елемента, порядковий номер якого на 2 одиниці менший від порядкового номера вихідного елемента; ✓ кількість нуклонів у ядрі зменшується на 4 (на 2 протони й на 2 нейтрони).  Материнське ядро ${}_{92}^{238}\text{U}$ випромінює α-частинку ${}_2^4\text{He}$, утворюючи дочірнє ядро ${}_{90}^{234}\text{Th}$. ${}_{92}^{238}\text{U} \xrightarrow{\alpha} {}_2^4\text{He} + {}_{90}^{234}\text{Th}$	Один із нейтронів материнського ядра перетворюється на протон і електрон; електрон (${}_{-1}^0e$) миттєво покидає ядро, протон залишається: ✓ кількість протонів у ядрі збільшується на 1, тому утворюється ядро елемента, порядковий номер якого на одиницю більший за порядковий номер вихідного елемента; ✓ кількість нуклонів у ядрі не змінюється (замість нейтрона з'являється протон).  Материнське ядро ${}_{90}^{234}\text{Th}$ випромінює β-частинку (електрон) ${}_{-1}^0e$, утворюючи дочірнє ядро ${}_{91}^{234}\text{Pa}$. ${}_{90}^{234}\text{Th} \xrightarrow{\beta} {}_{-1}^0e + {}_{91}^{234}\text{Pa}$

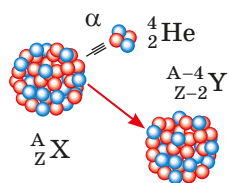
Відомо, що радон-222 (${}_{86}^{222}\text{Rn}$) є α -радіоактивним. Ядро якого елемента утвориться внаслідок α -розпаду радону?





ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Радіоактивність — здатність ядер радіонуклідів довільно перетворюватися на ядра інших елементів із випромінюванням мікрочастинок.

α-розпад

Кількість нуклонів у ядрі зменшується на 4, протонів — на 2:



Види радіоактивного випромінювання

α-
частинки

потік
ядер
атомів
гелію

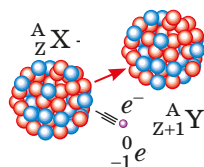
β-
частинки

потік
швидких
електро-
нів

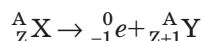
γ-
промені

елек-
ромаг-
нітні
хвилі

Радіоактивне випромінювання відкрив Анрі Беккерель 1896 р.

β-розпад

Кількість нуклонів у ядрі не змінюється, кількість протонів збільшується на 1:



КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Як було відкрито явище радіоактивності? 2. Наведіть приклади природних радіонуклідів. 3. Опишіть дослід із вивчення природи радіоактивного випромінювання. 4. Які види радіоактивного випромінювання ви знаєте? Якою є їхня фізична природа? 5. Як захиститися від радіоактивного випромінювання? 6. Наведіть означення радіоактивності. 7. Що відбувається з ядром атома під час α-розпаду? β-розпаду?



ВПРАВА № 31

1. Які види радіоактивного випромінювання діяли на фотопластинку в дослідах А. Беккереля? Розгляньте два випадки: а) крупинки солі урану покладено безпосередньо на чорний папір, у який загорнуто пластинку; б) сіль урану покладено на мідний хрест, який так само покладено на загорнуту в чорний папір фотопластинку.

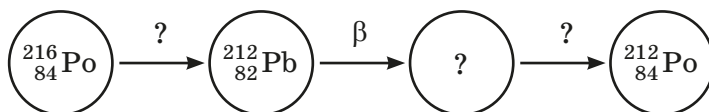
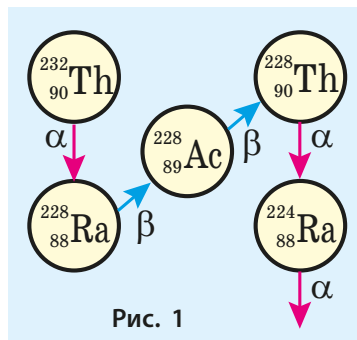
2. Е. Резерфорд разом із Ф. Содді висунули гіпотезу про те, що в процесі радіоактивного розпаду відбувається перетворення ядер радіонуклідів, і сформулювали правила зміщення. Чому цих науковців інколи називають «батьками сучасної алхімії»?

3. Довжина хвилі γ-випромінювання у вакуумі 0,025 нм. Визначте її частоту.

4. Скориставшись рис. 1, запишіть кілька рівнянь реакцій розпаду.

5. Під час природного радіоактивного розпаду радію ($^{228}_{88}\text{Ra}$) із його ядер випускається β -частинка. На ядро якого елемента перетворюється при цьому ядро атома радію? Запишіть рівняння реакції.

6. На рис. 2 зображено ланцюжок послідовних радіоактивних розпадів. Запишіть відповідні ядерні реакції.



7. Ядро францію-223 ($^{223}_{87}\text{Fr}$) перетворилося на ядро полонію-215 ($^{215}_{84}\text{Po}$). Скільки α - і скільки β -розпадів відбулося?

8. «Все є отрута, і все є ліки, — це залежить від дози». Ця фраза належить відомому лікарю епохи Відродження *Парацельсу* (справжнє ім'я — Філіп Ауреол Теофраст Бомбаст фон Гогенгайм (1493–1541)). Дізнайтеся, як радіоактивне випромінювання використовують для лікування хворих.

Ключові терміни

Радіоактивність • Радіоактивне випромінювання • α -випромінювання • β -випромінювання • γ -випромінювання • α -розпад • β -розпад

ФІЗИКА І ТЕХНІКА В УКРАЇНІ



Іван Павлович Пулюй (1845–1918) — український фізик, електротехнік, винахідник; працював в Австро-Угорщині. Ще за 14 років до Вільгельма Рентгена він сконструював трубку, яка стала прообразом сучасних рентгенівських апаратів. І. П. Пулюй глибше за В. Рентгена проаналізував природу та механізми виникнення Х-променів (пізніше їх було названо рентгенівськими), а також продемонстрував їхні властивості.

Учений одним із перших почав конструювати й виготовляти вакуумні пристрої. Широко відомою стала люмінесцентна газорозрядна лампа, яка ввійшла в історію техніки як «лампа Пулюя» (Pulujlampe). Знімки в Х-променях, виконані Пулюєм за допомогою цієї лампи, як неперевершені за якістю часто відтворювались у європейських наукових і науково-популярних медичних виданнях.



rnk.com.ua/
114245

§ 32. АКТИВНІСТЬ РАДІОАКТИВНОЇ РЕЧОВИНИ. ЗАСТОСУВАННЯ РАДІОАКТИВНИХ ІЗОТОПІВ

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Уявіть, що ви маєте змогу спостерігати за атомами радіоактивної речовини. Чи можна дізнатися, ядро якого саме атома розпадеться першим? Яке буде наступним? Яке розпадеться останнім? Чи буде ця подія (розпад ядра) випадковою або її можна передбачити?

1. Яка основна характеристика радіонукліда?

Розпад ядра радіонукліда — подія випадкова. Проте існує фізична величина, яка є візитівкою будь-якого радіонукліда, — це *період піврозпаду*.

Період піврозпаду $T_{1/2}$ — це фізична величина, що характеризує радіонуклід і дорівнює часу, протягом якого розпадається половина наявної кількості ядер даного радіонукліда.

*Період піврозпаду
деяких радіонуклідів*

Радіонуклід	Період піврозпаду $T_{1/2}$
Йод-131	8 діб
Вуглець-14	5700 років
Кобальт-60	5,3 року
Плутоній-239	24 тис. років
Радій-226	1600 років
Радон-220	56 с
Радон-222	3,8 доби
Уран-235	0,7 млрд років
Уран-238	4,5 млрд років
Цезій-137	30 років

Одиниця періоду піврозпаду в СІ — секунда: $[T_{1/2}] = \text{с}$.

У кожного радіонукліда — свій період піврозпаду (див. таблицю). Наприклад, період піврозпаду радону-220 становить 56 с. Тобто якщо взяти закриту колбу, що містить цей ізотоп, то виявиться, що приблизно за 56 с кількість атомів радону в колбі зменшиться удвічі, протягом наступних 56 с — ще удвічі й т. д.

Зразок містить $6,4 \cdot 10^{20}$ атомів йоду-131. Скільки атомів йоду-131 буде в зразку через 16 діб? Скільки ядер йоду розпадеться?



ДОСЛІДЖЕННЯ

Що знадобиться: 12–16 однакових монет; пластикові або паперові стаканчик і плоска ємність на кожну пару учнів / учениць.

Змодельуйте випадковість радіоактивного розпаду ядер радіонуклідів. Нехай монети відповідають ядрам атомів («герб» — ядру, що не розпалося; «цифра» — ядру, що розпалося), а кожний кидок — періоду піврозпаду.

Кидайте монети зі стаканчика в ємність. Після кожного кидка записуйте на дошці кількість «цифр» і «гербів», що випали. Монети, на яких випала «цифра», прибирайте, а монети, на яких випав «герб», кладіть у стаканчик, перемішуйте та знову кидайте в ємність. Переконайтеся, що в середньому після кожного наступного кидка (через кожний період піврозпаду) приблизно на половині кількості монет у класі випадає «цифра» (розпадається половина ядер). Чи можете ви передбачити, на якій саме монеті випаде «цифра»?



2. Від чого залежить активність радіоактивного джерела?

І уран-238, і радій-226 є α -радіоактивними. З якого зразка за 1 с вилетить більше α -частинок, якщо кількість атомів урану і радію у відповідних зразках є однаковою?



Сподіваємося, ви врахували, що періоди піврозпаду урану-238 і радію-226 відрізняються майже в 3 млн разів, та визначили, що за той самий час у зразку радію відбудеться набагато більше α -розпадів, ніж у зразку урану. Тобто зразок радію має більшу *активність*.

Активність радіонуклідного джерела A — це фізична величина, яка чисельно дорівнює кількості розпадів, що відбуваються в джерелі за одиницю часу.

Одиниця активності в СІ — бекерель (Бк).

1 Бк — це активність такого радіоактивного джерела, в якому за 1 с відбувається 1 акт розпаду:

$$[A] = 1 \text{ Бк} = 1 \frac{\text{розпад}}{\text{с}} = 1 \text{ с}^{-1}.$$

Активність радіонуклідного джерела

$$A = \lambda N$$

N — кількість атомів радіонукліда в зразку на даний момент часу;
 λ — стала радіоактивного розпаду радіонукліда, яка пов'язана з періодом піврозпаду співвідношенням:

$$\lambda = \frac{0,69}{T_{1/2}}$$

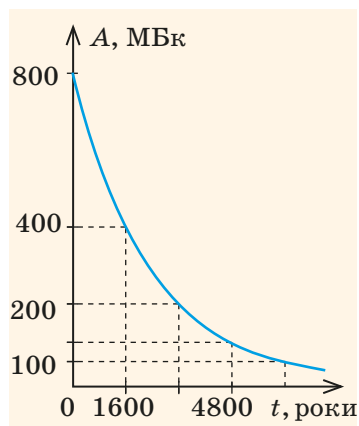
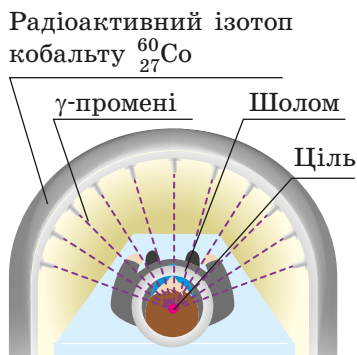


Рис. 32.1. Графік залежності активності зразка радію-226 від часу. Період піврозпаду радію-226 — 1600 років



Рис. 32.2. Щоб з'ясувати, як рослини засвоюють фосфорні добрива, до цих добрив додають радіоактивний ізоотоп фосфору $^{32}_{15}\text{P}$, а потім досліджують рослини на радіоактивність



1 Бк — це дуже мала активність, тому використовують *позасистемну одиницю активності* — **кюрі (Ки)**:

$$1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк.}$$

На честь яких науковців названо одиниці активності? Які відкриття зробили ці вчені?



Оскільки із часом в радіоактивному зразку кількість ядер радіонуклідів, що не розпалися, зменшується, то зменшується й активність зразка (рис. 32.1).

Розгляньте графік, поданий на рис. 32.1, і поясніть, чому кожні 1600 років активність зразка зменшується удвічі.



3. Для чого отримують радіоактивні ізоотопи?

Наявність у певному об'єкті радіонукліда можна виявити за його випромінюванням. Інтенсивність випромінювання із часом зменшується й залежить від виду та кількості радіонукліда в об'єкті. До того ж радіоактивний розпад доволі часто супроводжується виділенням енергії. Усе це покладено в основу використання радіоактивних ізоотопів.

Існують три основні напрями використання радіоактивних ізоотопів.

1. *Використання радіоактивних ізоотопів як індикаторів (метод мічених атомів).* Радіоактивність є своєрідною міткою, за допомогою якої можна виявити наявність елемента й простежити за його поведінкою (див., наприклад, рис. 32.2).

2. *Використання радіоактивних ізоотопів як джерел γ-випромінювання* (див., наприклад, рис. 32.3).

Рис. 32.3. Щоб знищити пухлину й не знищувати здорові клітини, використовують декілька слабких пучків γ-променів, які фокусуються на пухлині

3. *Використання радіоактивних ізотопів як джерел енергії.* Наприклад, у ядерних реакторах використовують природний ізотоп урану ($^{235}_{92}\text{U}$) і штучний ізотоп плутонію ($^{239}_{94}\text{Pu}$).

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...



Перший штучний радіоактивний ізотоп ($^{30}_{15}\text{P}$) отримали на початку 1934 р. подружжя *Фредерік* та *Ірен Жоліо-Кюрі*. Опромінюючи α -частинками алюміній, вони спостерігали випромінювання нейтронів, тобто відбувалася така ядерна реакція: $^{27}_{13}\text{Al} + ^4_2\text{He} \rightarrow ^{30}_{15}\text{P} + ^1_0\text{n}$. Зараз радіоактивні ізотопи отримують у промислових масштабах здебільшого в ядерних реакторах.



4. Як радіоізотопи застосовують для діагностики захворювань?

Організм людини має властивість накопичувати у своїх тканинах певні хімічні речовини. Наприклад, щитоподібна залоза накопичує йод, кісткова тканина — фосфор, кальцій і стронцій, печінка — деякі барвники тощо. Швидкість накопичування речовин залежить від стану здоров'я органа. Наприклад, активність щитоподібної залози різко зростає у випадку базедової хвороби.

За кількістю йоду в щитоподібній залозі зручно стежити за допомогою його γ -радіоактивного ізотопу $^{131}_{53}\text{I}$. Якщо щитоподібна залоза в нормі, то через певний час після введення в організм йоду-131 γ -випромінювання від нього матиме певну оптимальну інтенсивність. А от якщо щитоподібна залоза функціонує з відхиленням від норми, то інтенсивність γ -випромінювання буде аномально високою або, навпаки, низькою.

Аналогічний метод застосовують для досліджування обміну речовин в організмі, виявлення пухлин та ін.

Зрозуміло, що, використовуючи зазначені методи діагностики, необхідно ретельно дозувати кількість радіоактивного препарату.

5. Як визначити вік стародавніх предметів?

В атмосфері Землі завжди є певна кількість β -радіоактивного вуглецю-14 ($^{14}_6\text{C}$), який утворюється з азоту внаслідок ядерної реакції з нейтронами. Цей ізотоп у складі вуглекислого газу (CO_2) поглинається рослинами, а через них — тваринами. Поки тварина або рослина живі, вміст радіоактивного вуглецю в них залишається незмінним.



Після припинення життєдіяльності організму кількість радіоактивного вуглецю починає зменшуватися, знижується й активність β -випромінювання. Знаючи, що період піврозпаду вуглецю-14 становить 5700 років, можна визначити вік археологічних знахідок (рис. 32.4).

Рис. 32.4. Отриманий з молодого дерева 1 г вуглецю має активність 14–15 Бк (випромінює 14–15 β -частинок за секунду). Через 5700 років після загибелі дерева кількість β -розпадів за секунду зменшується вдвічі

6. Як працює γ -дефектоскоп?

Особливе значення в техніці мають *гамма-дефектоскопи*, за допомогою яких перевіряють, наприклад, якість зварених з'єднань. Якщо майстер, приварюючи петлі до воріт, припустився браку, за деякий час петлі відвалляться. Це, звісно, неприємно, але ситуацію можна виправити. А от якщо брак стався у зварюванні елементів конструкції моста або ядерного реактора, трагедія неминуча. Завдяки тому що γ -промені по-різному поглинаються масивною сталлю та сталлю з порожнинами, гамма-дефектоскоп «бачить» тріщини всередині металу, а отже, виявляє брак ще на стадії виготовлення конструкції.

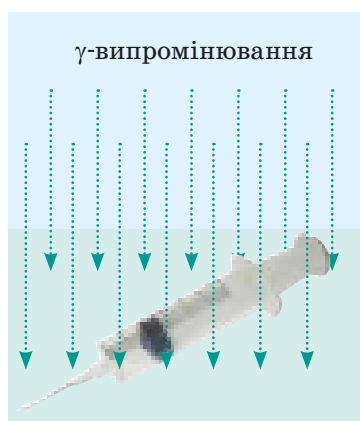


Рис. 32.5. Найпоширенішу медичну продукцію: шприци, системи переливання крові тощо — перед відправленням споживачам ретельно стерилізують із використанням γ -випромінювання

7. Як знищувати мікроби за допомогою радіації?

Відомо, що певна доза опромінення вбиває організми. Але ж не всі вони корисні для людини. Так, медики невпинно працюють над тим, щоб позбутися хвороботворних мікробів. Згадайте: у лікарнях миють підлогу спеціальними розчинами, опромінюють приміщення ультрафіолетом, обробляють медичний інструмент і т. д. Такі процедури називають дезінфекцією та стерилізацією.

Поставити процес стерилізації на промислову основу дозволили особливості γ -випромінювання (рис. 32.5). Така стерилізація здійснюється в спеціально створених установках із надійним захистом від проникної радіації. Як джерело γ -променів використовують штучно створені ізотопи кобальту і цезію ($^{60}_{27}\text{Co}$ і $^{137}_{55}\text{Cs}$).

8. Учимся розв'язувати задачі

■ **Задача.** Визначте кількість речовини, що містить зразок радію-226, якщо його активність становить 5 Кі. Стала радіоактивного розпаду радію-226 дорівнює $1,37 \cdot 10^{-11} \text{ с}^{-1}$. ■

Аналіз фізичної проблеми, пошук математичної моделі

Для розв'язання задачі скористаємося формулою для визначення активності: $A = \lambda N$. Знаючи активність, визначимо кількість N атомів радію. Кількість речовини можна визначити, якщо кількість атомів у зразку поділити на кількість атомів в одному молі.

Із курсу хімії ви знаєте: 1 моль речовини містить $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ атомів.

Дано:

$$A = 5 \text{ Кі} = 5 \cdot 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$$

$$\lambda = 1,37 \cdot 10^{-11} \text{ с}^{-1}$$

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

Знайти:

v — ?

Розв'язання

Оскільки $A = \lambda N$, то $N = \frac{A}{\lambda}$;

$$v = \frac{N}{N_A}, \text{ отже, } v = \frac{A}{\lambda N_A}.$$

Перевіримо одиницю та знайдемо значення шуканої величини:

$$[v] = \frac{\text{Бк}}{\text{с}^{-1} \cdot \text{1/моль}} = \frac{\text{с}^{-1} \cdot \text{моль}}{\text{с}^{-1}} = \text{моль};$$

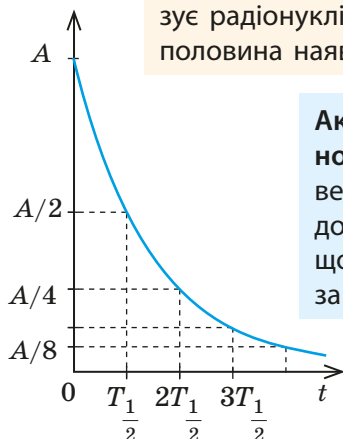
$$v = \frac{5 \cdot 3,7 \cdot 10^{10}}{1,37 \cdot 10^{-11} \cdot 6,02 \cdot 10^{23}} \approx 0,022 (\text{моль}).$$

Відповідь: $v \approx 0,022$ моль.



ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Період піврозпаду $T_{1/2}$ — фізична величина, яка характеризує радіонуклід і дорівнює часу, протягом якого розпадається половина наявної кількості ядер даного радіонукліда.



Активність радіонуклідного джерела — фізична величина, яка чисельно дорівнює кількості розпадів, що відбуваються в джерелі за одиницю часу.

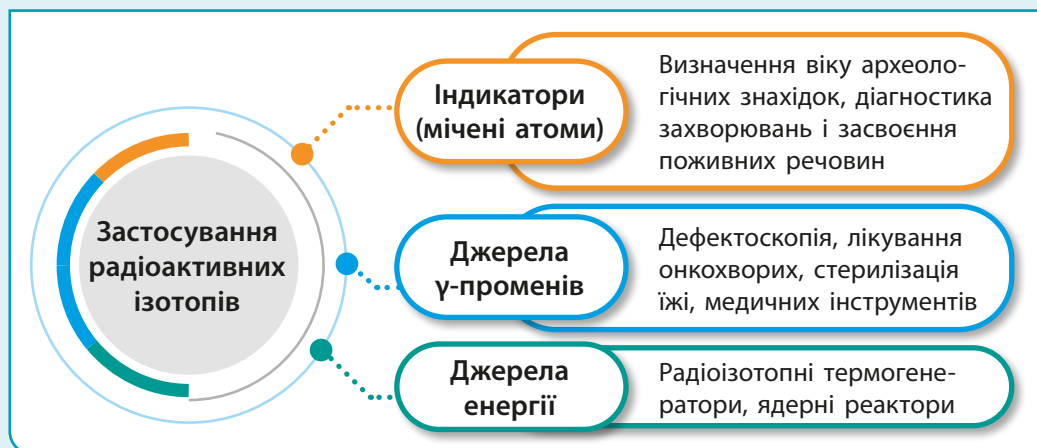
$$[A] = \text{Бк}$$

Активність, Бк

Стала радіоактивного розпаду, с^{-1}

$$A = \lambda N$$

Кількість ядер радіонукліда на даний момент часу



КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Дайте означення періоду піврозпаду. Що характеризує ця фізична величина? 2. Що таке активність радіоактивного джерела? 3. Яка одиниця активності в СІ? 4. Як активність радіонукліда пов'язана з його сталою радіоактивного розпаду? 5. Чи змінюється із часом активність радіонуклідного зразка? Якщо змінюється, то чому і як? 6. Наведіть приклади використання радіоактивних ізотопів.



ВПРАВА № 32

- Є однакова кількість ядер йоду-131, радону-220 і урану-235. Який радіонуклід має найбільший період піврозпаду? Активність якого зразка на даний момент часу є найбільшою? Відповідь обґрунтуйте.
- У зразку міститься $2 \cdot 10^{20}$ атомів йоду-131. Визначте, скільки ядер йоду розпадеться в зразку за наступну секунду. Стала радіоактивного розпаду йоду-131 дорівнює $9,98 \cdot 10^{-7} \text{ с}^{-1}$.
- Період піврозпаду радіоактивного вуглецю-14 становить 5700 років. У скільки разів зменшилася кількість атомів вуглецю-14 у сосні, яку зрубали 17 100 років тому?
- Який період піврозпаду радіонукліда, якщо за інтервал часу 1,2 с кількість ядер, що розпалися, складає 75 % їхньої початкової кількості?
- На даний момент часу в радіоактивному зразку міститься 0,05 моль радону-220. Визначте активність радону-220 у цьому зразку.
- На сьогодні одними з найбільш значущих вважаються дослідження обміну речовин в організмі людини за допомогою радіоактивних ізотопів. Зокрема, виявлено, що за порівняно невеликий час організм майже повністю відновлюється. Скористайтеся додатковими джерелами інформації та дізнайтеся про ці дослідження більше.



TOP SKILLS: РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

Прочитайте текст.

«Вояджер-1» (див. фото на заставці до § 32) — американський космічний зонд, створений для дослідження Сонячної системи. Зонд стартував 5 вересня 1977 р. й досі тримає зв'язок із Землею, хоча, наприклад, станом на 26 січня 2025 р. він перебував на відстані 166 астрономічних одиниць від Сонця. *Астрономічна одиниця (а. о.)* — це середня відстань від Землі до Сонця: 1 а. о. $\approx$ 149,6 млн км.

Електропостачання «Вояджера-1» забезпечують три *радіоізотопні термогенератори*, які за допомогою термопар перетворюють теплову енергію, що виділяється під час розпаду плутонію-238, на електричну. Плутоній-238 — це штучний радіоактивний ізотоп із періодом піврозпаду 87,7 року.

На старті сумарна електрична потужність генераторів зонда становила 470 Вт, зараз вона значно зменшилась і зменшуватиметься далі.

Дайте відповіді на запитання.

1. Який період піврозпаду плутонію-238?
2. Чи існує плутоній-238 у природі?
3. Які перетворення енергії відбуваються в генераторах «Вояджера-1»? Виберіть усі правильні твердження.
 А Електрична $\rightarrow$ теплова В Сонячна $\rightarrow$ електрична
 Б Ядерна $\rightarrow$ теплова Г Теплова $\rightarrow$ електрична
4. Яка потужність кожного радіоізотопного термогенератора на момент старту?
5. Поміркуйте, чому із часом потужність генераторів «Вояджера-1» зменшується.
6. Чому на «Вояджері-1» не працювали б сонячні батареї, навіть якби їх на ньому встановили?
7. Оцініть, за який час радіосигнал, надісланий «Вояджером-1», досягає поверхні Землі.
8. Уявіть, що ви інженер або інженерка, що створює радіоізотопні термогенератори для космічного апарата. Який радіоізотоп ви вибрали б — із більшим чи меншим періодом піврозпаду? Від чого залежатиме ваш вибір?
9. Дізнайтеся: 1) з якою швидкістю рухається «Вояджер-1» і як він зміг набрати таку швидкість; 2) чи досі «Вояджер-1» перебуває в межах Сонячної системи.

Ключові терміни

Період піврозпаду • Активність радіонуклідного джерела • Беккерель • Кюрі



rnk.com.ua/
114246

§ 33. ДІЯ РАДІОАКТИВНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ. ПРИРОДНИЙ РАДІАЦІЙНИЙ ФОН

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Розгляньте рис. 33.1. Які зміни відбуваються з атомом (молекулою) внаслідок дії радіоактивного випромінювання? Чому це випромінювання називають іонізуючим? На заставці до § 33 ви бачите дозиметр. Для чого, на вашу думку, він призначений? Люди якої професії мають обов'язково використовувати цей прилад? Чому?

1. Як і чому іонізуюче випромінювання впливає на організми?

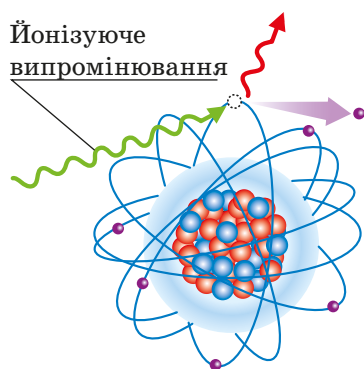


Рис. 33.1. Радіоактивне випромінювання передає атому енергію, унаслідок чого електрон може покинути атом і атом перетвориться на позитивний йон

Іонізуюче випромінювання, як і сонячне, може викликати опіки шкіри. Поміркуйте, чи є щось спільне в причинах виникнення цих опіків.



Потрапляючи в речовину, радіоактивне випромінювання *передає їй енергію та іонізує* деякі атоми й молекули (рис. 33.1).

Через іонізацію *хімічна активність атомів і молекул змінюється*. Оскільки життєдіяльність будь-якого організму забезпечується саме хімічними реакціями, то потужне радіоактивне опромінення призводить до порушень функцій майже всіх органів.

Через енергетичний та іонізаційний вплив *можуть відбутися пошкодження ДНК* та, як наслідок, *виникнення мутацій* (наприклад, нормальні клітини можуть перетворитися на злоякісні).

Ушкодження організмів, зумовлені впливом радіації, мають низку особливостей.

По-перше, найбільш чутливими до радіації є ті клітини, які швидко діляться. Наприклад, першим відчуває дію радіоактивного випромінювання кістковий мозок, унаслідок чого порушується процес кровотворення.

По-друге, наслідки впливу випромінювання залежать від віку організму. Малюки, а особливо ембріони, є найбільш чутливими до радіоактивного випромінювання.

По-третє, різні типи організмів мають різну чутливість до радіації.

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...



Найстійкішими до радіації вважаються *тихоходи* (лат. *Tardigrada*) — схожі на ведмедиків мікроскопічні істоти розміром до 1,2 мм. Завдяки особливому білку тихоходи можуть витримати в 1000 разів потужніше радіоактивне випромінювання, ніж людина. Учені запропонували використати ген, що відповідає за створення цього білка, для захисту пацієнтів під час променевої терапії. Експерименти, проведені на мишах, показали, що використання цієї технології знижує пошкодження ДНК від опромінення на 50 %.



2. Характеризуємо йонізуюче випромінювання

Зрозуміло, що чим більшою є поглинута речовиною енергія випромінювання, тим більший вплив цього випромінювання на речовину.

Відношення енергії йонізуючого випромінювання, поглинутої речовиною, до маси цієї речовини називають **поглинутою дозою йонізуючого випромінювання**.

Одиниця поглинутої дози в СІ — **грей** (на честь англійського фізика Льюїса Грея):

$$[D] = \text{Гр} = \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

Позасистемна одиниця поглинутої дози — **рад** (1 рад = 0,01 Гр).

Біологічний вплив різних видів випромінювання на організми є неоднаковим за однакової поглинутої дози.

Фізичну величину, яка характеризує біологічний вплив поглинутої дози йонізуючого випромінювання, називають **еквівалентною дозою йонізуючого випромінювання**.

Поглинута доза йонізуючого випромінювання

$$D = \frac{W}{m}$$

D — поглинута доза, Гр
 W — енергія, поглинута речовиною, Дж
 m — маса речовини, кг

Еквівалентна доза йонізуючого випромінювання

$$H = KD$$

H — еквівалентна доза, Зв
 K — коефіцієнт якості
 D — поглинута доза, Гр

Одиниця еквівалентної дози в СІ — **зіверт** (на честь шведського вченого *Рольфа-Максиміліана Зіверта*): $[H] = \text{Зв}$.

Позасистемна одиниця еквівалентної дози — **бер** (1 бер = 0,01 Зв).

Коефіцієнти якості деяких видів йонізуючого випромінювання

Вид випромінювання	Коефіцієнт якості (K)
α -випромінювання	20
β -випромінювання	1
γ -випромінювання	1
Рентгенівське випромінювання	1
Нейтрони	5–10
Протони	5

Доза 5700 зівертів знищує 50 % тихоходів, тоді як для людини смертельною є доза 5 зівертів. Про яку фізичну величину йдеться?



Коефіцієнт якості — це фізична величина, яка характеризує небезпечність йонізуючого випромінювання: що більший коефіцієнт якості, то небезпечнішим є випромінювання. Наприклад, за однакової переданої енергії α -випромінювання значно небезпечніше, ніж β - або γ -випромінювання (див. таблицю).

А ЯК НАСПРАВДІ?



— Зовнішнє опромінення є дуже небезпечним. Я читала, що після того, як П'єр Кюрі 10 годин тримав біля плеча пробірку з радієм, на плечі виникла виразка, яка не загоювалася кілька місяців, — розповіла Зоряна.

— А я вважаю, що небезпечнішим є внутрішнє опромінення, адже воно більш тривале! — висловився Тарас. — Уявіть, що хтось випив склянку води з радіоактивно забрудненої річки. Радіонукліди, які потрапили в організм, виводитимуться з нього кілька днів. І увесь цей час вони створюватимуть шкідливе випромінювання, від якого не сховатися.

Хто, на вашу думку, має рацію? Наведіть свої приклади шкідливого впливу зовнішнього та внутрішнього опромінення.

3. Чи може людина зовсім сховатися від радіації?

Усі люди на Землі зазнають впливу радіації, адже в будь-якій місцевості завжди є певний радіаційний фон (рис. 33.2).

Випромінювання природних радіонуклідів і космічне випромінювання створюють **природний радіаційний фон**.

Унаслідок діяльності людини радіаційний фон Землі значно змінився — відбулося *техногенне підвищення радіаційного фону*. Приклад такої діяльності людини — видобування корисних копалин. Наприклад, підвищений уміст природних радіонуклідів є в граніті. А далі будуємо ланцюжок. Гранітний щебінь є складником бетону. Отже, підвищений радіаційний фон треба шукати насамперед усередині будинків із бетону, особливо в закритих приміщеннях, які не провітрюються (концентрація радону в закритих приміщеннях у середньому у 8 разів вища, ніж зовні).

Проаналізуйте рис. 33.2. Від яких джерел людина отримує найбільшу дозу радіації? Чи значним є вплив радіації, пов'язаної з розвитком атомної енергетики?

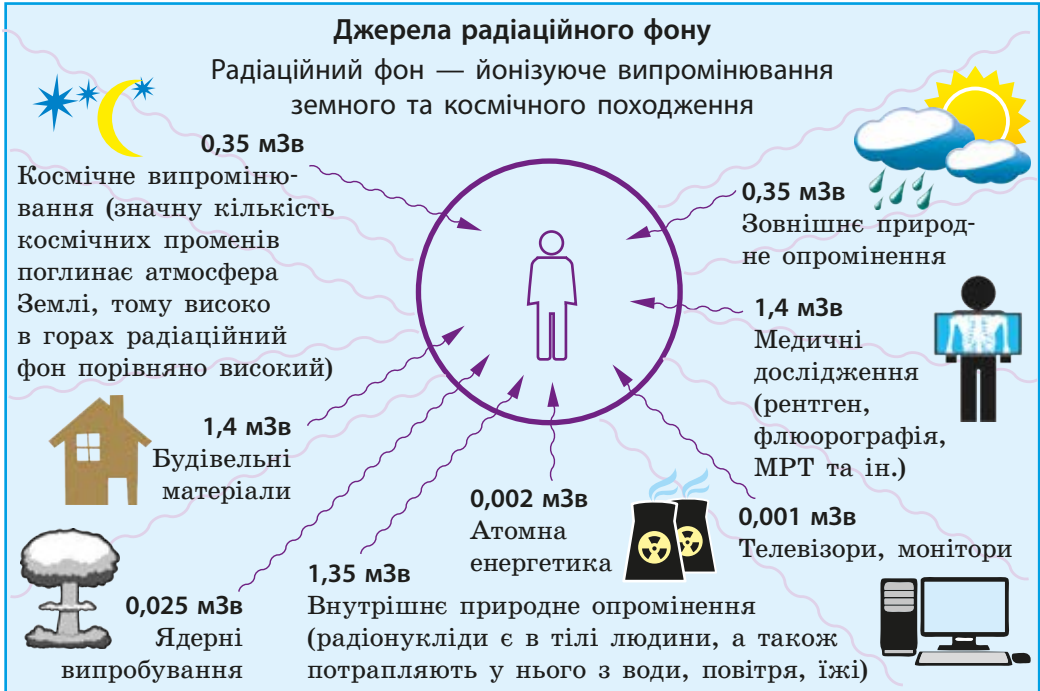


Рис. 33.2. Середні еквівалентні дози йонізуючого випромінювання, які отримує людина протягом року від деяких джерел радіації

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...



У людському організмі міститься близько $3 \cdot 10^{-3}$ г радіоактивного калію та $6 \cdot 10^{-9}$ г радію. Унаслідок цього в тілі людини щосекунди відбувається 6000 β -розпадів і 220 α -розпадів. Ще 2500 β -розпадів за секунду відбувається завдяки радіоактивному вуглецю. Загалом у тілі людини щосекунди відбувається 10 000 актів розпаду.

4. Для чого призначений дозиметр?

Життя на Землі виникло та розвивається в умовах безперервної дії радіації. Тому природний радіаційний фон суттєво не впливає на життя та здоров'я людей. Сучасні радіобіологічні дослідження свідчать, що за тих доз, які відповідають радіаційному фону 2–3 мЗв на рік, дія радіації є безпечною для людини.

Але навіть невелике перевищення допустимого рівня радіації може спричинити генетичні дефекти. Великі дози радіації спричиняють

серйозні ураження тканин. Тому працівники, які мають справу з радіацією або певний час перебувають на радіаційно забрудненій території, обов'язково користуються *дозиметрами*.

Дозиметр — прилад для вимірювання дози йонізуючого випромінювання, отриманого приладом (і тими, хто ним користується) за деякий час, наприклад за час перебування на певній території або протягом робочої зміни.

Прилади для вимірювання інтенсивності радіоактивного випромінювання від певного джерела (рідини, газу, забрудненої поверхні) називають **радіометрами** (або *дозиметрами другого типу*) (рис. 33.3).

Основним складником будь-якого дозиметра є *детектор*. У разі потрапляння йонізуючого випромінювання на детектор виникають електричні сигнали (імпульси струму або напруги), які зчитує *вимірювальний пристрій*. Дані про дозу йонізуючого випромінювання подаються на *вихідний пристрій* (виводяться на дисплей дозиметра); інформація про підвищення радіації може подаватися світінням, звуковим сигналом тощо.

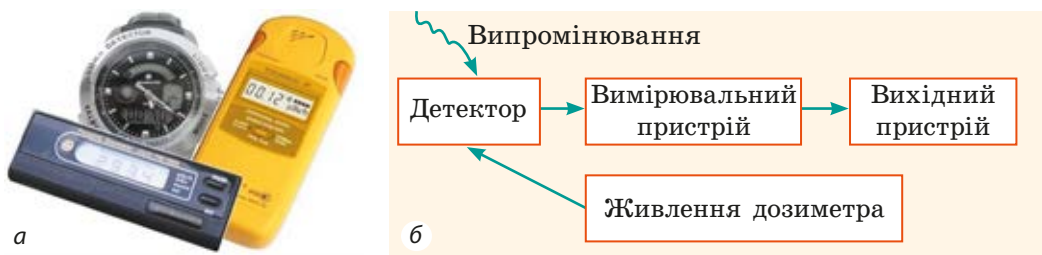


Рис. 33.3. Побутові дозиметри (радіометри): а — вигляд; б — типова блок-схема



ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Вплив йонізуючого випромінювання

Передає енергію

Йонізує атоми і молекули

Біологічний вплив радіації залежить від кількості, тривалості й типу випромінювання, якого зазнає людина.

Дози йонізуючого випромінювання

Поглинута доза

$$D = \frac{W}{m} = \frac{\text{Енергія}}{\text{маса}}$$

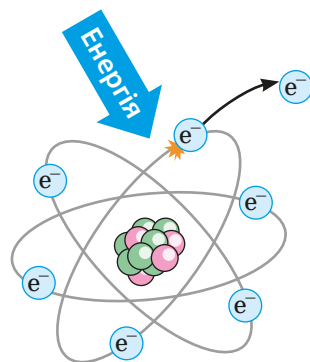
$$[D] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} = \text{Гр (грей)}$$

Еквівалентна доза

$$H = KD$$

$$[H] = \text{Зв (зіверт)}$$

K — коефіцієнт якості



Радіаційний фон Землі складається з космічного випромінювання, випромінювання природних і штучних радіонуклідів.



КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. У чому виявляється біологічна дія радіації? 2. Охарактеризуйте поглинуту й еквівалентну дози йонізуючого випромінювання. 3. Якими є особливості впливу радіації? Чим зумовлена підвищена небезпека радіонуклідів, що потрапили в організм? 4. Чому ви завжди зазнаєте впливу радіації? 5. Що таке радіаційний фон? Із яких компонентів він складається? 6. Назвіть джерела радіаційного фону Землі. 7. Для чого призначені дозиметри?



ВПРАВА № 33

1. Ви перебуваєте поблизу джерела α -випромінювання. Що краще надіти — захисний одяг чи маску? Чому?

2. Під час рентгенівського дослідження ви отримуєте в сотні разів менше енергії, ніж від ковтка гарячого чаю внаслідок його остигання до температури вашого тіла. Чому ж тоді гарячий чай ви можете безпечно пити кілька разів на день, а рентгенівські дослідження рекомендують проходити не частіше, ніж двічі на рік?

3. Унаслідок зовнішнього опромінення співробітник лабораторії щосекунди отримує поглинуту дозу йонізуючого випромінювання $2 \cdot 10^{-9}$ Гр. Яку поглинуту дозу він отримає протягом години?

4. Унаслідок внутрішнього опромінення кожний грам живої тканини поглинув 10^8 α -частинок. Якою є еквівалентна доза йонізуючого випромінювання, якщо енергія кожної α -частинки $8,3 \cdot 10^{-13}$ Дж?

5. Існує гіпотеза, що людство виникло завдяки мутаціям, які відбулися в мавп унаслідок дії радіоактивного випромінювання. Скориставшись додатковими джерелами інформації, дізнайтеся про цю гіпотезу більше. Чи можна з нею погодитися? Обґрунтуйте свою думку.



ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

Якщо є можливість, скористайтесь дозиметром і виміряйте радіаційний фон у різних точках своєї квартири, поблизу гранітної бруківки, в бетонному, цегляному й дерев'яному будинках, у підвалі будинку, на верхньому поверсі. Поясніть результати своїх досліджень.



Ключові терміни

Йонізуюче випромінювання • Поглинута доза йонізуючого випромінювання • Еквівалентна доза йонізуючого випромінювання • Коефіцієнт якості • Грей • Зіверт • Природний радіаційний фон



§ 34. ЛАНЦЮГОВА ЯДЕРНА РЕАКЦІЯ. ЯДЕРНИЙ РЕАКТОР

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Обговоріть вислів Фредеріка Содді, який у своїй книзі «Матерія та енергія» писав: «Попередні епохи отримали назву від певних матеріалів: була доба кам'яна, бронзова, залізна. Але жодної з них не було б, якби людина не знала вогню. Справжнє багатство світу — його енергія». Чи згодні ви із цими словами? Які факти ви можете навести на їх підтримку або спростування? Якби сторіччя називали за видами енергії, то чи можна XX ст. назвати атомним? Чому?

1. Чому в зразку урану може виникати ланцюгова ядерна реакція?

Наприкінці 1938 р. німецькі радіохіміки *Отто Ган* і *Фріц Штрассман* проводили досліди з опроміненням урану нейтронами. На превеликий подив учених, у ході дослідів було виявлено деякі елементи середньої частини Періодичної системи хімічних елементів. Пояснюючи результати дослідів, австрійська вчена *Ліза Мейтнер* і британський фізик *Отто Фріш* дійшли висновку, що ядро урану (*важке ядро*), поглинаючи нейтрон, розпадається (*розщеплюється*) на легші ядра.

Розщеплення ядра — поділ важкого атомного ядра на два (рідше три) ядра, які називають осколками поділу.

Розгляньте заставку до § 34. Які ще частинки, крім осколків поділу, утворюються під час розщеплення ядра урану? Поясніть, чому осколки розлітаються з величезною швидкістю. *Підказка:* ядерні сили (сили притягання, які утримують нуклони всередині ядра) є короткодійними, а от електростатичні (кулонівські) сили — далекодіючими.

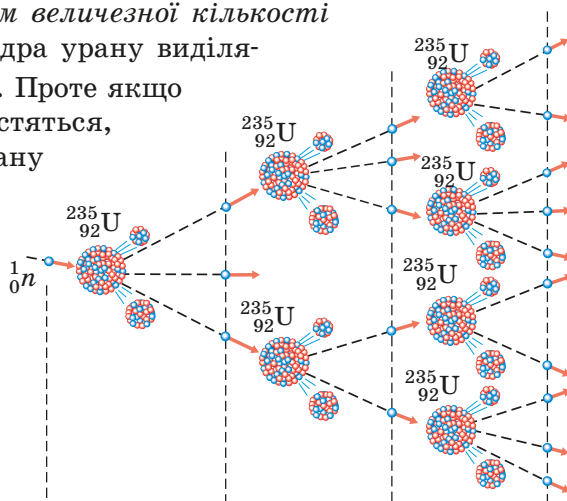


Під час розщеплення ядра атома урану, крім осколків поділу, вивільняються *нейтрони*. Ці *вторинні* нейтрони можуть спричинити поділ інших ядер урану, які також випускають нейтрони, що здатні викликати поділ наступних ядер, і т. д.

Кількість ядер, що розщеплюються, швидко зростатиме — в урановому зразку відбуватиметься **ланцюгова ядерна реакція поділу** (рис. 34.1).

Дуже важливим є той факт, що *ланцюгова ядерна реакція супроводжується виділенням величезної кількості енергії*. Під час поділу одного ядра урану виділяється лише $3,2 \cdot 10^{-11}$ Дж енергії. Проте якщо розщепляться всі ядра, що містяться, наприклад, в одному молі урану (235 г), то виділиться стільки ж енергії, як у разі спалювання 450 т нафти.

Рис. 34.1. Схематичне зображення ланцюгової ядерної реакції: під час одного акту поділу ядра атома урану вивільняються 2 або 3 нейтрони, завдяки яким і розвивається ланцюгова ядерна реакція



2. Чому урановий зразок не вибухає?

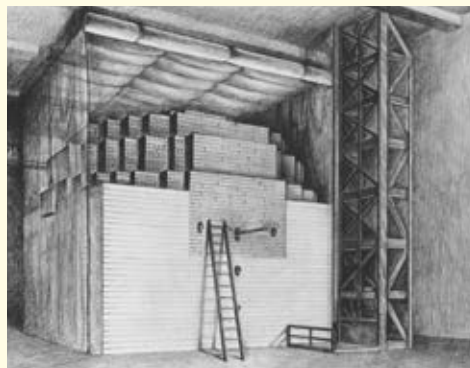
Чому в природному урані не відбувається ланцюгова ядерна реакція?	Що потрібно зробити, щоб ланцюгова ядерна реакція відбулася?
1. Більшість вторинних нейтронів вилітає зі зразка, так і не зіткнувшись із наступним ядром.	✓ Збільшити розмір зразка. ✓ Використати спеціальний екран для відбивання нейтронів.
2. Чотири з п'яти ядер урану-238 захоплюють нейтрон без подальшого ділення, а 99,28 % природного урану — це уран-238 і лише 0,72 % — це уран-235.	✓ <i>Збагачувати уран</i> : спеціальними методами збільшувати відсоток урану-235. У збагаченому урані концентрація урану-235 становить 3–5 %.
3. Ядра урану-235 здебільшого діляться, захоплюючи повільний нейтрон, а більшість нейтронів, вивільнених під час розпаду, є швидкими.	✓ <i>Сповільнювати нейтрони</i> . Зазвичай для цього використовують графіт або важку воду*. Важка вода й графіт добре сповільнюють нейтрони та не захоплюють їх.
Якщо кількість нейтронів, що вступають у ланцюгову ядерну реакцію, збільшуватиметься, то кількість актів поділу зростатиме лавиноподібно — відбудеться <i>ядерний вибух</i>. Якщо кількість нейтронів, що вступили в реакцію, підтримувати на одному рівні, то матимемо справу з <i>керованою ланцюговою ядерною реакцією</i>. Саме така ядерна реакція відбувається в ядерних реакторах.	

* *Важка вода* — це вода, яка має таку саму хімічну формулу, що й звичайна (H_2O), але замість протію (${}^1_1\text{H}$) містить дейтерій (${}^2_1\text{H}$).

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...



Ідея використання ядерної енергії виникла майже відразу після того, як було відкрито розщеплення ядра. У грудні 1942 р. група фізиків Чиказького університету під керівництвом *Енріко Фермі* здійснила першу контрольовану ланцюгову ядерну реакцію. Для проведення експерименту було побудовано перший у світі ядерний реактор, який отримав назву «Чиказька дровитня-1». Реактор являв собою пошарово укладені графітові блоки загальною масою 350 т. Деякі блоки мали порожнини, у які поміщали ядерне паливо (уран і його оксиди). Графіт слугував сповільнювачем нейтронів. Реактор працював 35 хвилин і досяг потужності 200 Вт.



3. Як працює ядерний реактор?

Ланцюгова реакція поділу, яка відбувається в урані-235 і плутонії-239, є основою для перетворення ядерної енергії на теплову й електричну. Згадайте: під час ланцюгової реакції безупинно з'являються нові й нові осколки поділу, які рухаються з великою швидкістю. Якщо урановий стрижень занурити в холодну воду, то осколки зіштовхуватимуться з молекулами води й віддаватимуть їм свою енергію. У результаті холодна вода нагріється. Саме так працює *ядерний реактор*, у якому ядерна енергія перетворюється на теплову.

Ядерний реактор — пристрій, призначений для здійснення керованої ланцюгової ядерної реакції поділу, яка завжди супроводжується виділенням енергії.

У *ядерних реакторах* (рис. 34.2) ядерне паливо (збагачений уран або плутоній) розміщують усередині так званих *тепловидільних елементів* (ТВЕЛів). Продукти поділу нагрівають оболонки ТВЕЛів, і ті передають енергію *теплоносію* (зазвичай важкій воді, яка також слугує сповільнювачем нейтронів). *Отримана від теплоносія енергія* перетворюється далі на *електричну енергію* (рис. 34.3) подібно до того, як це відбувається на звичайних теплових електростанціях.

Щоб керувати ланцюговою ядерною реакцією та унеможливити ймовірність вибуху, використовують *регулюючі стрижні*, виготовлені з матеріалу, що добре поглинає нейтрони. Наприклад, якщо температура

в реакторі збільшується, стрижні автоматично заглиблюються в проміжки між ТВЕЛами, в результаті кількість нейтронів, що вступають у реакцію, зменшується і ланцюгова реакція сповільнюється.

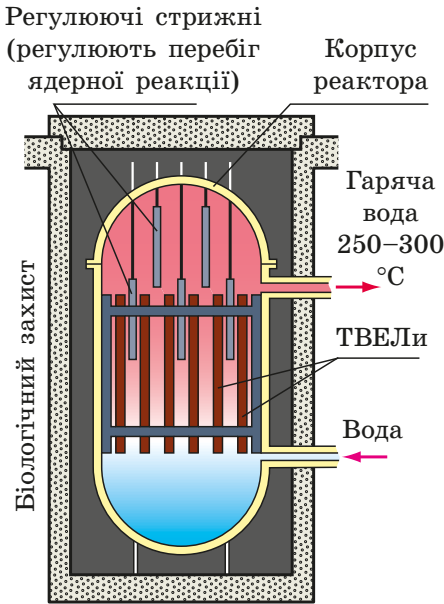


Рис. 34.2. Схема будови ядерного реактора, де теплоносієм є вода

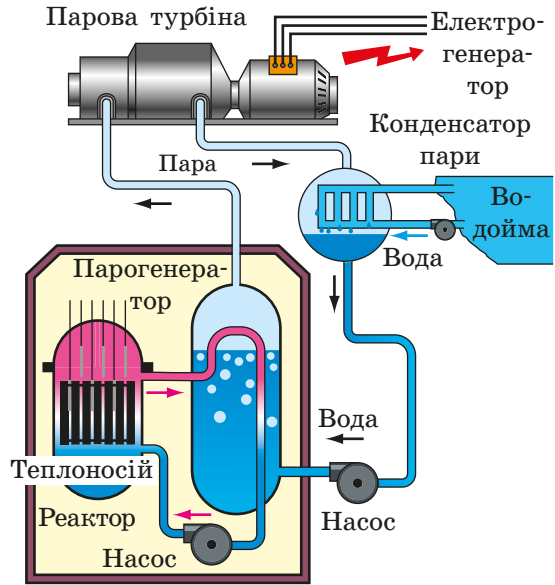


Рис. 34.3. Принцип роботи атомної електростанції

А ЯК НАСПРАВДІ?



— Я уважно розглянув [рис. 34.3](#) і знайшов два способи підвищення ККД атомної електростанції! — радісно звернувся Кирило до тата. — Дивись, якщо теплоносієм є вода, а в більшості АЕС це саме вона, то можна цю воду відразу перетворювати на пару всередині реактора й спрямовувати на лопаті турбіни. Навіщо її тримають під великим тиском і використовують для роботи парогенератора? Це ж втрати енергії! А для чого охолоджувати пару, яка вже відпрацювала в турбіні? Можна її відразу повертати в реактор. Навіщо нагрівати докілька?

— Я дуже задоволений, що ти намагаєшся стати винахідником!

Але, на жаль, ти помилився, оскільки...

Що, на вашу думку, пояснив тато Кирилові?

До яких наслідків призведуть запропоновані юнаком нововведення?



4. Чому реакцію злиття легких ядер називають термоядерною?

На якому фундаментальному законі фізики ґрунтується твердження щодо втрат енергії на з'єднання осколків поділу важких ядер?



Ми з'ясували, що внаслідок поділу *важких* ядер виділяється енергія (рис. 34.4, *a*). Зрозуміло, якби нам спало на думку знову з'єднати осколки поділу, то необхідно було б витратити ту саму енергію.

А от якщо взяти ядра ізоотопів *легких* елементів, наприклад ядро дейтерію і ядро тритію, то внаслідок їх з'єднання енергія буде виділятися* (рис. 34.4, *б*).

Реакцію злиття легких ядер у важчі ядра, яка відбувається за дуже високих температур (понад 10^7 °C) і супроводжується виділенням енергії, називають **термоядерним синтезом**.

Високі температури, тобто великі кінетичні енергії ядер, потрібні, щоб подолати сили електричного відштовхування ядер (однойменно заряджених частинок). Без цього неможливо зблизити легкі ядра на такі відстані, на яких починають діяти ядерні сили притягання.

У природі термоядерні реакції відбуваються в надрах зір, де ізоотопи водню перетворюються на гелій. Наприклад, завдяки термоядерним реакціям, які відбуваються в надрах Сонця, воно *щосекунди* випромінює в космічний простір $3,8 \cdot 10^{26}$ Дж енергії. Це колосальна енергія — щоб стільки її отримати, потрібно спалити в тисячу разів більше вугілля, ніж мають усі відомі запаси на Землі.

Термоядерні реакції — це майже невичерпне джерело енергії. Фізики вже навчилися створювати умови для виникнення таких реакцій, а от їх використання в промисловому масштабі поки що залишається на рівні експериментів.

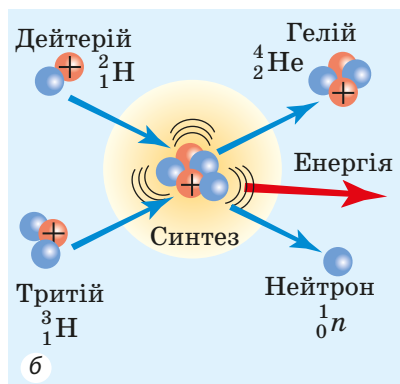
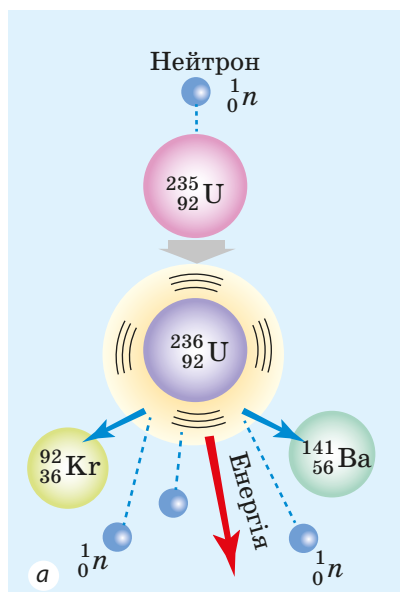


Рис. 34.4. І розпад важких ядер (*a*), і синтез легких ядер (*б*) супроводжуються виділенням енергії

* Ця властивість пояснюється різною питомою енергією зв'язку атомних ядер, про яку ви дізнаєтеся, вивчаючи фізику в старшій школі.

5. Учимся розв'язувати задачі

■ **Задача.** Визначте масу урану-235, яку витрачає за добу реактор атомної електростанції, якщо вихідна електрична потужність відповідного блока електростанції становить 1000 МВт, а його ККД — 30 %. Маса одного ядра атома урану-235 дорівнює $3,9 \cdot 10^{-25}$ кг, а під час кожного поділу виділяється $3,2 \cdot 10^{-11}$ Дж енергії. ■

Аналіз фізичної проблеми, пошук математичної моделі

Скористаємось означенням ККД: $\eta = \frac{E_{\text{кор}}}{E_{\text{повна}}}$. Тут $E_{\text{кор}}$ — електрична енергія, яку виробляє блок атомної електростанції за добу: $E_{\text{кор}} = P_{\text{кор}} \cdot t$ (час t подано в секундах); $E_{\text{повна}}$ — повна енергія, що виділяється в реакторі: $E_{\text{повна}} = E_0 \cdot N$, де E_0 — енергія, яка виділяється під час розпаду одного ядра, N — кількість ядер, які розпалися.

Кількість ядер урану-235 подамо через масу урану-235 (m) і масу одного ядра (m_0): $N = \frac{m}{m_0}$.

Дано:

$$t = 1 \text{ доба} = 1 \cdot 24 \cdot 3600 \text{ с}$$

$$P_{\text{кор}} = 1000 \text{ МВт} =$$

$$= 1 \cdot 10^9 \text{ Вт}$$

$$\eta = 30 \% = 0,3$$

$$m_0 = 3,9 \cdot 10^{-25} \text{ кг}$$

$$E_0 = 3,2 \cdot 10^{-11} \text{ Дж}$$

Знайти:

m — ?

Розв'язання

За означенням ККД: $\eta = \frac{E_{\text{кор}}}{E_{\text{повна}}}$, де

$$E_{\text{кор}} = P_{\text{кор}} \cdot t; \quad E_{\text{повна}} = E_0 \cdot N = \frac{E_0 \cdot m}{m_0}.$$

Підставимо вирази для визначення $E_{\text{кор}}$ і $E_{\text{повна}}$ у формулу ККД. Маємо:

$$\eta = \frac{P_{\text{кор}} \cdot t \cdot m_0}{E_0 \cdot m} \Rightarrow m = \frac{P_{\text{кор}} \cdot t \cdot m_0}{E_0 \cdot \eta}.$$

Перевіримо одиницю, знайдемо значення шуканої величини:

$$[m] = \frac{\text{Вт} \cdot \text{с} \cdot \text{кг}}{\text{Дж}} = \frac{\text{Дж/с} \cdot \text{с} \cdot \text{кг}}{\text{Дж}} = \frac{\text{Дж} \cdot \text{кг}}{\text{Дж}} = \text{кг};$$

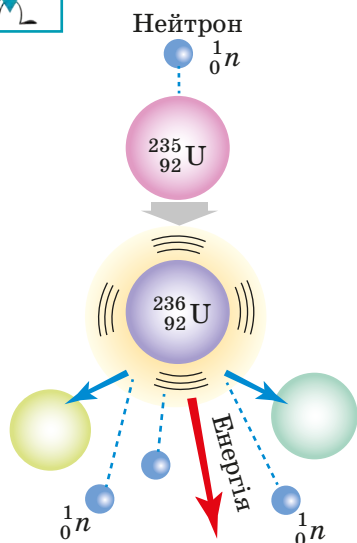
$$m = \frac{1 \cdot 10^9 \cdot 24 \cdot 3600 \cdot 3,9 \cdot 10^{-25}}{3,2 \cdot 10^{-11} \cdot 0,3} = \frac{10^9 \cdot 24 \cdot 36 \cdot 10^2 \cdot 39 \cdot 10^{-25}}{32 \cdot 10^{-12} \cdot 3} = 3,5 \text{ (кг)}.$$

Відповідь: $m = 3,5 \text{ кг}$.

Виходить, що навіть один блок атомної електростанції виробляє енергії більше, ніж споживає велике місто. Дійсно, за добу один блок АЕС виробляє: $E_{\text{кор}} = P_{\text{кор}} \cdot t = 1000 \text{ МВт} \cdot 24 \text{ год} = 24 \text{ 000 МВт} \cdot \text{год}$ енергії, а, наприклад, Київ у літні місяці споживає за добу лише близько $1000 \text{ МВт} \cdot \text{год}$.



ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

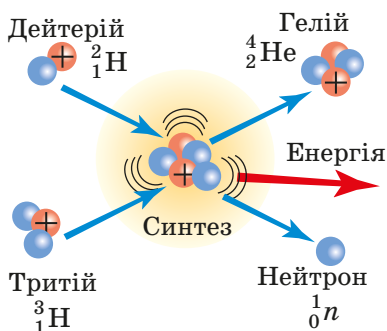


Розщеплення ядра — це реакція поділу важкого атомного ядра на два (рідше три) ядра, які називають осколками поділу.

- ✓ Розщеплення ядра відбувається внаслідок захоплення ядром *нейтрона*.
- ✓ Під час ядерного розпаду, крім осколків поділу, *вивільняються нові (вторинні) нейтрони*.
- ✓ Вторинні нейтрони можуть спричинити поділ інших ядер — відбуватиметься *ланцюгова ядерна реакція*, яка супроводжується виділенням величезної *енергії*.
- ✓ Керована ланцюгова ядерна реакція здійснюється в *ядерних реакторах*.

Термоядерний синтез — це реакція злиття легких ядер у важчі ядра, яка відбувається за дуже високих температур і супроводжується виділенням енергії.

- ✓ Саме завдяки термоядерним реакціям зорі випромінюють енергію.



КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які процеси відбуваються внаслідок поглинення нейтрона ядром урану? 2. Опишіть механізм ланцюгової ядерної реакції.
3. Чому в природному урані не відбувається ланцюгова ядерна реакція? 4. Як працює атомна електростанція? 5. Який процес називають термоядерним синтезом? 6. Звідки «беруть» енергію зорі?



ВПРАВА № 34

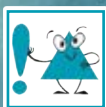
1. Скільки енергії виділяється під час розпаду одного моля урану-235 ($6,02 \cdot 10^{23}$ ядер урану), якщо під час розпаду одного ядра вивільняється $3,2 \cdot 10^{-11}$ Дж енергії?
2. Розташуйте види енергії так, щоб відтворити ланцюжок перетворення енергії на атомних електростанціях.

А Ядерна енергія	Г Внутрішня енергія теплоносія
Б Електрична енергія	Д Внутрішня енергія пари
В Механічна енергія	

3. У сонячний день на кожен 1 м^2 відкритої горизонтальної поверхні щосекунди потрапляє 650 Дж сонячної енергії. Скільки сонячної енергії потрапляє за годину на дах площею 100 м^2 ? Скільки (у кілограмах) сухих дров необхідно спалити, щоб отримати ту саму енергію? Де вам можуть знадобитися подібні розрахунки?

4. Скільки енергії можна отримати від ділення 1 г урану-235, якщо в ході поділу кожного ядра виділяється $3,2 \cdot 10^{-11} \text{ Дж}$ енергії?

5. Дізнайтеся, де й коли на нашій планеті відбувалася природна ланцюгова ядерна реакція.



TOP SKILLS: РОБОТА З ІНФОРМАЦІЄЮ

Прочитайте текст.

Завдяки величезній масі зір у їх надрах виникають умови, необхідні для початку термоядерних реакцій. Сильне гравітаційне притягання стискає речовину в ядрі зорі, створюючи колосальні тиск і температуру. За таких умов ядра атомів можуть долати електричне відштовхування та зближуватися настільки, щоб відбулося їх злиття.

У зір, подібних до Сонця, домінує *протон-протонний цикл* — ланцюжок термоядерних реакцій, результатом яких є утворення ядра гелію-4:

- ✓ два протони зливаються, утворюючи дейтерій і випускаючи позитрон і нейтрино: ${}_1^1\text{p} + {}_1^1\text{p} \rightarrow {}_1^2\text{H} + {}_{+1}^0\text{e} + {}_0^0\nu$.
- ✓ дейтерій захоплює протон, утворюючи гелій-3 і випромінюючи гамма-квант: ${}_1^2\text{H} + {}_1^1\text{p} \rightarrow {}_2^3\text{He} + \gamma$.
- ✓ два ядра гелію-3 зливаються, утворюючи ядро гелію-4 і вивільняючи два протони: ${}_2^3\text{He} + {}_2^3\text{He} \rightarrow {}_2^4\text{He} + 2{}_1^1\text{p}$.

Кожна із цих реакцій супроводжується виділенням енергії — на енергію перетворюється частина маси зорі (відповідно до формули А. Ейнштейна $E = \Delta mc^2$; тут Δm — зменшення маси зорі; c — швидкість поширення світла).

Із часом запаси водню в ядрі зорі вичерпуються й розпочинається синтез важчих елементів. Саме термоядерні процеси є причиною існування світла зір і формування хімічних елементів у Всесвіті.

Дайте відповіді на запитання.

1. Які умови необхідні для перебігу термоядерних реакцій?
2. Чому термоядерні реакції можливі лише в надмасивних об'єктах?
3. Як і чому змінюється маса зорі під час термоядерних реакцій?
4. Що відбувається, коли запаси водню в ядрі зорі вичерпуються?
5. Дізнайтеся, що спільного між позитроном і електроном.
6. Сонце щосекунди випромінює в космічний простір $3,28 \cdot 10^{26} \text{ Дж}$ енергії. Оцініть, на скільки щосекунди зменшується маса Сонця.

Ключові терміни

Розщеплення ядра (ядерний розпад) • Ланцюгова ядерна реакція • Ядерний реактор • Атомна електростанція • Термоядерний синтез



rnk.com.ua/
114248

§ 35. ЯДЕРНИЙ ЦИКЛ. АТОМНА ЕНЕРГЕТИКА УКРАЇНИ

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Ядерне паливо має багато переваг перед традиційним (газ, нафта, вугілля): енергетична ефективність ядерного палива вища в мільйони разів; для його спалювання не потрібен кисень; АЕС майже не випускають парникові гази. Але чому досі існують теплові електростанції? Чому частина країн, серед яких Італія, Австрія, Німеччина, Австралія, узагалі відмовилися від атомної енергії, а частина країн планують відмовитись? Яка ваша думка щодо цього питання?



1. Дізнаємося про ядерний цикл

Щоб отримати паливо з низькою енергетичною ефективністю, наприклад дрова або вугілля, досить сходити до лісу або спуститися в шахту. А от щоб отримати ядерне паливо, необхідно створити цілий технологічний ланцюжок.

Крім того, після згоряння дров попіл можна просто розкидати, а от тепловидільні елементи (ТВЕЛи), які відпрацювали свій ресурс, потрібно ретельно сховати. Адже саме у ТВЕЛах відбувається ланцюгова ядерна реакція, і тому вони містять величезну кількість радіоактивних «осколків» із довгими періодами піврозпаду.

Послідовність усіх процесів, пов'язаних із ядерним паливом, від видобутку сировини до утилізації відпрацьованих відходів називають **ядерним циклом** (рис. 35.1).

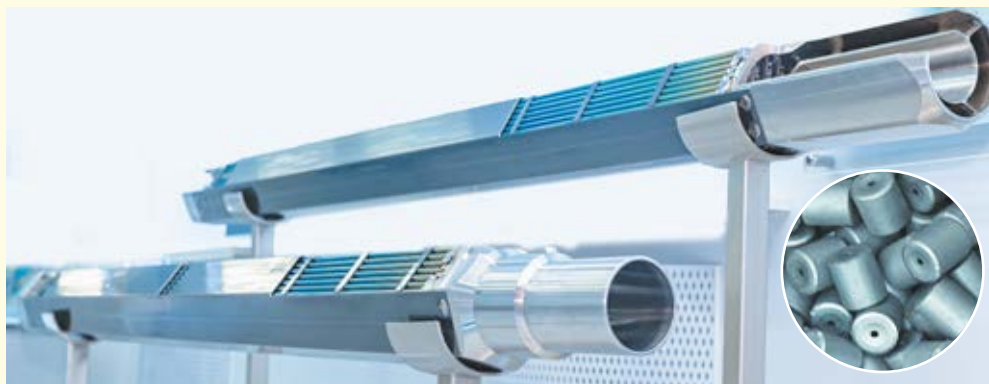
Рис. 35.1. Схема ядерного циклу

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...



ТВЕЛ — головний конструктивний елемент активної зони ядерного реактора. Саме у ТВЕЛах відбувається ядерна реакція поділу, яка супроводжується виділенням енергії. Оболонки ТВЕЛів виготовляють зі сплаву цирконію, сталі та інших металів, адже саме цирконій не захоплює нейтрони. Матеріал оболонки є досить міцним, щоб осколки поділу не потрапили в теплоносії. У середині оболонки міститься ядерне паливо (наприклад, таблетки діоксиду урану).

У більшості сучасних промислових реакторів ТВЕЛом є стрижень, який має діаметр приблизно два сантиметри й довжину в декілька метрів. Для зручності обслуговування та заміни ТВЕЛи збирають у тепловидільні збірки (див. [рисунок](#)).



За запасами уранової руди Україна посідає 11 місце у світі. Цих запасів вистачить на кілька століть. Але щоб переробити руду на ядерне паливо, виготовити ТВЕЛи, необхідна спеціалізована промисловість (ланцюжок взаємопов'язаних виробництв), якої Україна в повному обсязі не має. Для українських атомних електростанцій ТВЕЛи виготовляють за кордоном.

Після того як у ТВЕЛі розпадається певна частина ядерного палива (фізики кажуть: «ТВЕЛ вигорів»), його замінюють новим. ТВЕЛи, які відпрацювали свій ресурс, у спеціальних контейнерах розташовують глибоко під землею, і там вони мають зберігатися протягом сотень років.

На сьогодні в Україні три з чотирьох атомних електростанцій не мають власного сховища для відпрацьованих ТВЕЛів. Із 2021 р. таке сховище працює у Чорнобильській 30-кілометровій зоні. Існує думка надавати місця для сховища й іншим країнам, адже ця територія ще довго не буде придатною для життя людей.

Поміркуйте над аргументами «за» і «проти» надання місць у цьому сховищі іншим країнам.



А ЯК НАСПРАВДІ?



З обговорення на форумі:

— Сьогодні вчитель фізики розповів нам про ядерний розпад, а також що потрібно робити далі (відпрацьований уран закопувати в бетонному саркофагу глибоко під землею). Але ж ми можемо розщеплювати уран доти, доки він не перестане бути радіоактивним.

— А ще можна використовувати радіацію для отримання енергії, адже сонячна енергія та радіація, по суті, те саме, тільки інша частота хвилі.

— Не все випромінювання є електромагнітним, якщо є частинки альфа і бета, а також нейтрони.

— Уран не може розпастися повністю, адже із часом його концентрація зменшується і ланцюгова ядерна реакція припиняється.

Який допис, на вашу думку, є правильним? Складіть свій допис.



Рис. 35.2. Запорізька АЕС — найбільша атомна електростанція Європи, станом на 2021 р. на ній працювало 6 атомних енергоблоків



Рис. 35.3. Рівненська АЕС має 4 атомні енергоблоки

2. Атомна енергетика України

Україна належить до тих країн світу, у яких завдяки наявності високих технологій, висококваліфікованих інженерів і вчених створена й успішно розвивається атомна енергетика. У країні є чотири атомні електростанції: Запорізька, Рівненська, Південно-українська, Хмельницька (рис. 35.2–35.5). Станом на 2021 р. на цих АЕС діяли 15 атомних енергоблоків, загальна потужність яких становила 13 580 МВт. На атомні електростанції припадає близько половини електроенергії, що виробляється в країні.

АЕС обслуговуються багатотисячними колективами висококваліфікованих фахівців. Фактично навколо кожної з українських АЕС виросло невелике місто.

Наявність в Україні джерел електроенергії, які працюють на ядерному паливі, безперечно, пом'якшує дедалі більший дефіцит «звичних» енергоносіїв: газу, нафти, кам'яного вугілля.

Коли йдеться про АЕС, побоювання пересічного громадянина зазвичай пов'язані зі словом «радіація». Але, як показують дослідження, найбільший вплив радіації на людину відбувається від природних джерел радіації, під час медичних досліджень і лікування. Радіація, пов'язана з «нормальним» розвитком атомної енергетики, становить лише малу частину радіації, що спричинена діяльністю людини. Проте, на жаль, історія людства налічує декілька випадків аномального розвитку подій на ядерних реакторах. Наслідки цих випадків були катастрофічними.

3. Чорнобильська трагедія

26 квітня 1986 р. позначене чорними барвами в історії України. Саме того дня стався вибух на 4-му енергоблоці Чорнобильської атомної електростанції (рис. 35.6). Керівництво станції дало згоду на випробування роботи ядерного реактора в режимі змінної потужності, що не було передбачено конструкцією реактора. У результаті відбулося неконтрольоване виділення ядерної енергії всередині реактора й стався вибух.

Вибух призвів до пожежі на 4-му енергоблоці й до катастрофічного викиду радіоактивних речовин. Корпус реактора почав працювати як величезна піч, викидаючи радіоактивний дим в атмосферу. Вітер розніс цей дим на багато сотень і тисяч кілометрів (підвищення рівня радіації було зафіксовано навіть у Швеції).

Особливу роль у зменшенні масштабів трагедії відіграли пожежники. Ціною своїх життів вони запобігли поширенню пожежі на інші реактори Чорнобильської АЕС.



Рис. 35.4. Південноукраїнська АЕС має 3 атомні енергоблоки



Рис. 35.5. Хмельницька АЕС має 2 атомні енергоблоки



Рис. 35.6. Наслідки аварії на Чорнобильській АЕС

З катастрофою таких масштабів людство раніше не стикалося, тому викиди радіоактивних речовин не вдалося зупинити швидко — вони тривали десять діб. У результаті цілі регіони виявилися радіаційно забрудненими, а з 30-кілометрової зони навколо станції було евакуйоване все населення.

Пізніше над зруйнованим реактором було побудовано так званий *саркофаг* — бетонну конструкцію, яка захищає від подальшого поширення радіаційного забруднення (рис. 35.7). Сьогодні всі енергоблоки Чорнобильської АЕС виведено з експлуатації; разом із міжнародними організаціями Україна побудувала ще один саркофаг, досконаліший. Після трагедії минуло вже 40 років, проте наслідки радіаційного забруднення, особливо в зоні Чорнобильської АЕС, відчутні й досі.

Рис. 35.7.

Саркофаг над
4-м енергоблоком
Чорнобильської
АЕС



Подібна за масштабами катастрофа відбулася в Японії у 2011 р. — на АЕС «Фукусіма-1». Унаслідок землетрусу та цунамі припинили дію насоси, що перекачують теплоносії. Відбулися перегрів і пошкодження атомного реактора, і радіаційна речовина забруднила довкілля.

А яка ваша думка щодо цього питання? Поміркуйте над аргументами «за» і «проти».

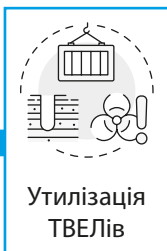
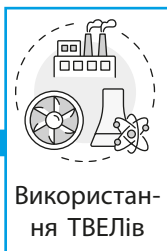
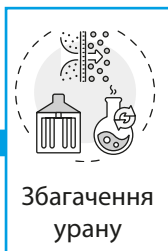
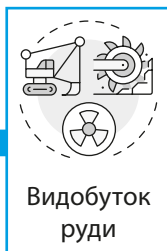


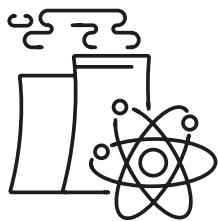
Тож зараз людство опинилося перед дилемою: поступове вичерпання традиційних енергоносіїв нібито підштовхує до розвитку атомної енергетики, але водночас від жахливих аварій не застраховані навіть такі технологічно розвинені країни, як Японія.



ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Ядерний цикл — послідовність усіх процесів, пов'язаних із ядерним паливом, від видобутку сировини до утилізації відпрацьованих відходів.





**АТОМНІ
ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ
УКРАЇНИ**

Запорізька АЕС

6 атомних енергоблоків

Рівненська АЕС

4 атомні енергоблоки

Південноукраїнська АЕС

3 атомні енергоблоки

Хмельницька АЕС

2 атомні енергоблоки

Атомна електростанція майже не чинить радіаційного впливу на довкілля, якщо вжито всіх заходів, передбачених нормативними документами, відпрацьовані ТВЕЛ надійно зберігаються у сховищах, не відбувається збоїв у роботі реактора.



КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Перелічіть переваги й недоліки використання ядерного палива. **2.** Якою є послідовність операцій ядерного циклу? **3.** Назвіть атомні електростанції України. **4.** Що ви знаєте про Чорнобильську трагедію?



ВПРАВА № 35

- На Хмельницькій АЕС встановлено реактори типу ВВЕР-1000 (електрична потужність — 1000 МВт), теплова потужність кожного з яких 3000 МВт. Визначте ККД реакторів цього типу.
- На двох блоках Рівненської АЕС встановлено реактори типу ВВЕР-440 (електрична потужність — 440 МВт), а ще на двох блоках — реактори типу ВВЕР-1000 (електрична потужність — 1000 МВт). Скільки енергії (у кВт·год) може виробити Рівненська АЕС за добу, працюючи на повну потужність?
- Скільки енергії за добу виробляла Запорізька АЕС, якщо один її блок перебував на плановому ремонті, а решта працювали на повну потужність? Теплова потужність кожного реактора — 3000 МВт, ККД — 33,3 %.
- Скільки кілограмів урану-235 щодоби спалюють реактори Південноукраїнської АЕС, якщо теплова потужність кожного реактора дорівнює 3000 МВт? Під час поділу одного ядра урану-235 виділяється $3,2 \cdot 10^{-11}$ Дж енергії, яка повністю передається теплоносію (воді).
- Дізнайтеся про перспективи розвитку атомної енергетики України.

Ключові терміни

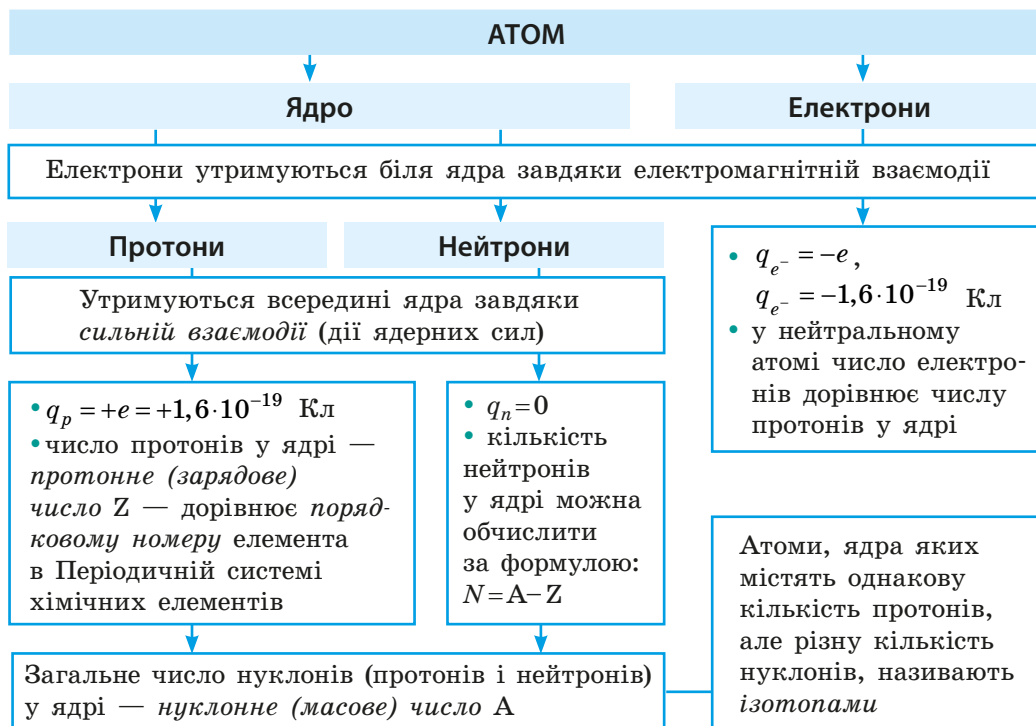
Ядерний цикл • Тепловидільний елемент (ТВЕЛ)



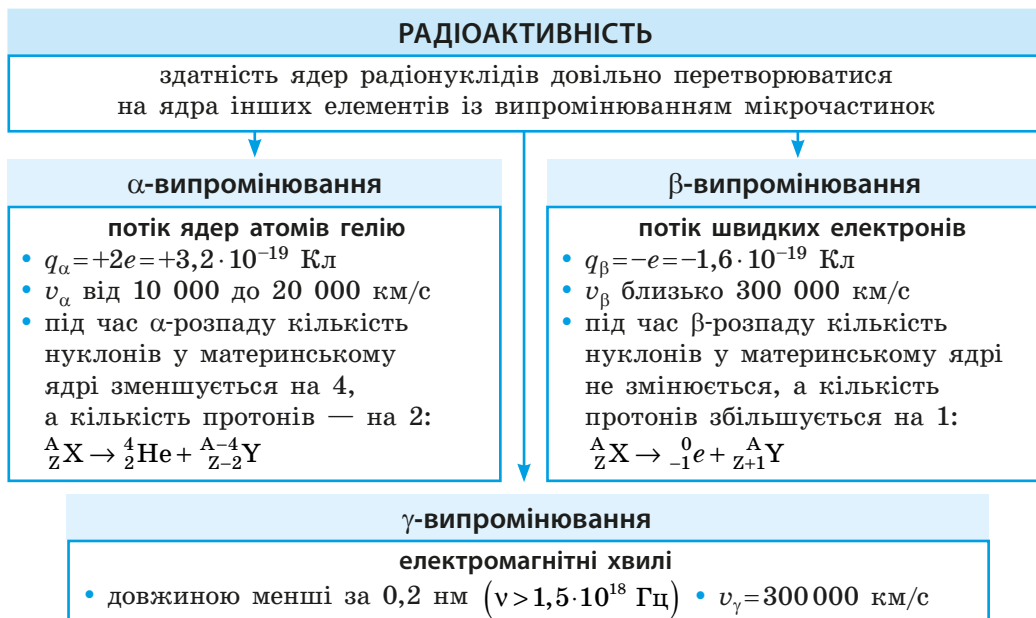
rnk.com.ua/
115315

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ РОЗДІЛУ 5

1. Вивчаючи розділ 5, ви згадали *будову атома й атомного ядра*, довідалися про *ядерні сили*.



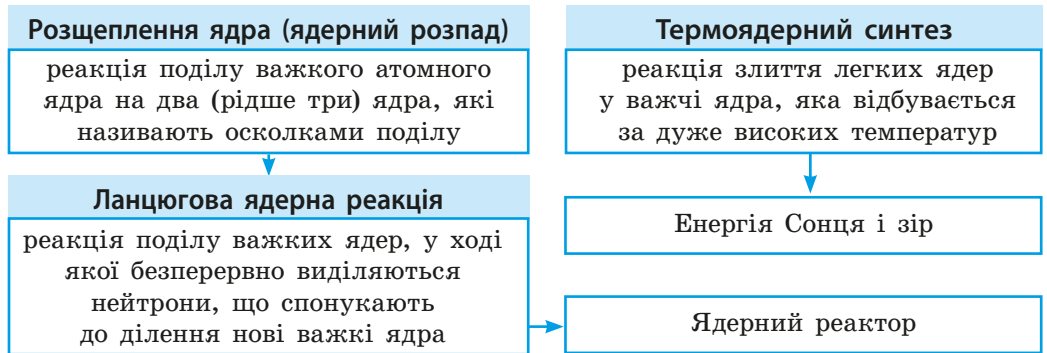
2. Ви дізналися, як було відкрито *явище радіоактивності*, з'ясували *природу радіоактивного випромінювання*.



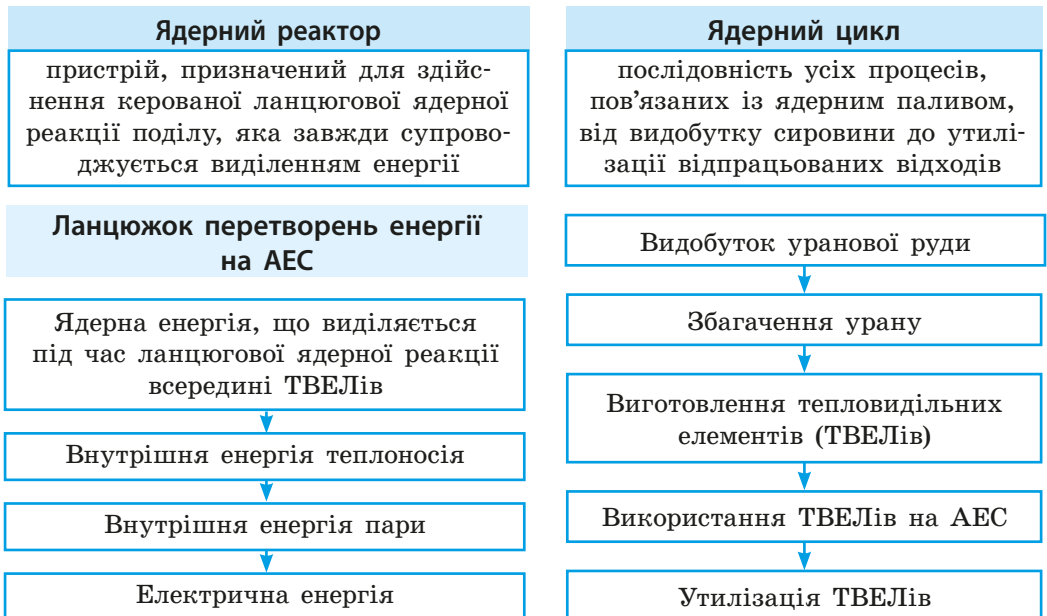
3. Ви ознайомилися з *фізичними величинами*, які характеризують радіоактивне випромінювання, радіонукліди та радіоактивні зразки.

Фізична величина	Формула для обчислення	Одиниця		Співвідношення між одиницями
		у СІ	позасистемна	
Активність зразка	$A = \lambda N$	бекерель (Бк)	кюри (Ки)	1 Ки = $3,7 \cdot 10^{10}$ Бк
Поглинута доза	$D = W / m$	грей (Гр)	рад (рад)	1 рад = 0,01 Гр
Еквівалентна доза	$H = KD$	зіверт (Зв)	бер (бер)	1 бер = 0,01 Зв

4. Ви з'ясували, що реакція *розщеплення важкого ядра*, яка відбувається після захоплення нейтрона, та реакція *синтезу легких ядер супроводжуються виділенням енергії*, та дізналися про умови виникнення *ланцюгової ядерної реакції*.



5. Ви з'ясували, що керована ланцюгова ядерна реакція відбувається в *ядерних реакторах*, і дізналися про *ядерний цикл*.



ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМООЦІНЮВАННЯ ДО РОЗДІЛУ 5



rnk.com.ua/
114249

Група результатів 1. Проводимо дослідження природи

1. (2 бали) Виберіть усі правильні твердження щодо пристрою, зображеного на рис. 1.

А За допомогою цього пристрою Резерфорд запропонував планетарну модель атома.

Б Цифрою 1 позначено свинцевий контейнер з α -радіоактивною речовиною.

В У цьому пристрої Резерфорд спостерігав траєкторії руху частинок.

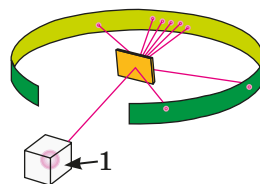


Рис. 1

2. (3 бали) Установіть відповідність між результатом досліду Резерфорда з розсіяння α -частинок (1–3) і науковим фактом (А–В).

1 Більшість α -частинок не змінювала напрямку руху

А Майже вся маса атома зосереджена в невеликому позитивному ядрі

2 Деякі частинки відхилилися

Б Атом усередині в основному порожній

3 Інколи частинки відскакували від фольги

В Усередині атома є частинка, яка має доволі великий заряд

3. (2 бали) Які одержані твердження є істинними?

Пучок радіоактивного випромінювання розділяється, проходячи між зарядженими пластинами (рис. 2). Цей дослід показує, що...

А γ -випромінювання має позитивний заряд

Б α -частинки мають позитивний заряд

В β -частинки мають негативний заряд

Г існують різні види радіації

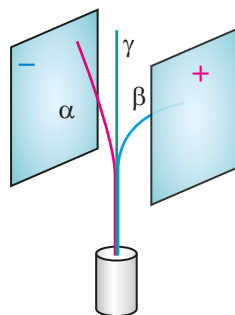


Рис. 2

4. (3 бали) Установіть відповідність між складником ядерного реактора (1–3) та його призначенням (А–Г).

1 Кадмієві стрижні

А Біологічний захист

2 Важка вода

Б Регулювання перебігу ядерної реакції

3 ТВЕЛі

В Теплоносій і сповільнювач нейтронів

Г Тут відбувається ланцюгова ядерна реакція

5. (2 бали) Іванка вирішила перевірити радіаційний фон у різних частинах свого будинку. Який прилад вона має використати?

А Ареометр

Б Барометр

В Дозиметр

Г Мультиметр

Група результатів 2. Здійснюємо пошук та опрацьовуємо інформацію

6. (2 бали) Розподіліть об'єкти на три групи: **група I** — частинки, з яких складається речовина; **група II** — частинки, які входять до складу атома; **група III** — частинки, які входять до складу атомного ядра.

Електрон, протон, атом, йон, атомне ядро, нейтрон, молекула.

7. (5 балів) На рис. 3 зображено графік залежності активності радіонуклідного зразка від часу спостереження.

- 1) Який період піврозпаду цієї речовини?
- 2) Чому активність зразка зменшується?
- 3) Яка активність (у кюрі) зразка через 2 хв 48 с спостереження?

8. (5 балів) Прочитайте текст і дайте відповіді на запитання.

Основною частиною багатьох дозиметрів є лічильник Гейгера — Мюллера (рис. 4). Радіоактивне випромінювання йонізує газ усередині колби. Під дією високої напруги між електродами виникає короточасний газовий розряд — імпульс струму. Імпульс реєструється, переводиться в одиниці дози випромінювання та виводиться на дисплей.

- 1) Яку фізичну величину вимірює дозиметр?
- 2) Заряд якого знака подано на анод?
- 3) Звідки отримує інформацію дослідник?
- 4) Чому після потраплення радіоактивного випромінювання в електричному колі лічильника виникає електричний струм?

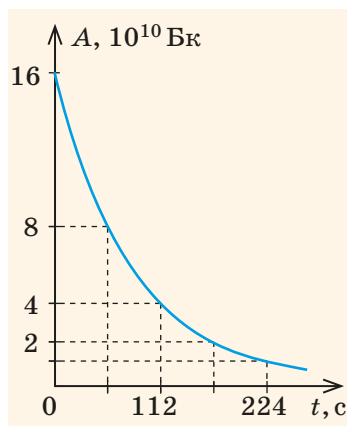


Рис. 3

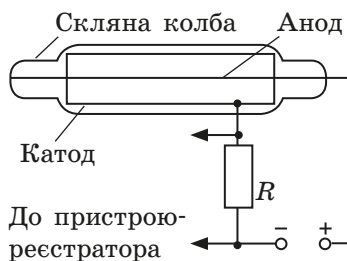


Рис. 4

Група результатів 3. Усвідомлюємо закономірності природи

9. (2 бали) Скільки електронів містить нейтральний атом галію ($^{70}_{31}\text{Ga}$)? Скільки протонів, нейтронів і нуклонів міститься в його ядрі?
10. (2 бали) У зразку є $1,6 \cdot 10^{10}$ ядер бісмуту-83, період піврозпаду якого 20 хв. Скільки ядер бісмуту залишиться в зразку через 1 год?
11. (2 бали) Запишіть рівняння реакції β -розпаду ядра торію $^{234}_{90}\text{Th}$.
12. (3 бали) Радон $^{222}_{86}\text{Rn}$ послідовно зазнав двох α - і двох β -розпадів. Ядро якого елемента є продуктом цієї низки розпадів?
13. (3 бали) Середня доза випромінювання, поглинута працівником, який обслуговує рентгенівську установку, дорівнює 7 мГр за 1 год. Чи безпечно працювати із цією установкою протягом 200 днів на рік по 6 год щоденно, якщо гранично допустима доза опромінення дорівнює 50 мГр на рік? Природний радіаційний фон становить 2 мГр на рік.

Звірте ваші відповіді з наведеними в кінці підручника й оцініть свої результати навчання за кожною групою. Поміркуйте, що вдалося найкраще, над чим треба ще попрацювати. Продовжуйте відкривати для себе світ фізики!

ТЕМИ ПОВІДОМЛЕНЬ

1. Великий адронний колайдер — шлях до вивчення будови Всесвіту.
2. Історія атома: від Демокріта до Резерфорда.
3. Цеглинки матерії, або Що таке кварки.
4. Науковий подвиг П'єра і Марії Кюрі (історія відкриття радію).
5. Жінки — лауреатки Нобелівської премії з фізики.
6. Як Е. Резерфорд установив природу α -частинок.
7. Історія створення ядерного реактора.
8. Перші атомні електростанції.
9. Організація безпеки атомних реакторів.
10. Чорнобиль і Фукусіма — дві величезні ядерні катастрофи: що в них спільного, в чому різниця.
11. Термоядерний реактор — реактор майбутнього або недосяжна мрія?
12. Драма ідей: історія атомної бомби.
13. Історія отримання штучних радіоактивних ізотопів.
14. Де і як застосовують штучні радіоактивні ізотопи.
15. Ядерно-фізичні методи вивчення віку археологічних знахідок.
16. Що таке радонові ванни.
17. Природна радіоактивність — безпечна чи небезпечна.
18. Хронологія атомної ери.
19. Атомні електростанції України.
20. Атомна енергетика світу.

ТЕМИ НАВЧАЛЬНИХ ПРОЄКТІВ

1. Ознайомлення з роботою побутового дозиметра.
2. Складання радіаційної карти регіону.
3. Радіологічний аналіз місцевих харчових продуктів.
4. Екологічні проблеми атомної енергетики.
5. Розщеплення атома: скринька Пандори чи вогонь Прометея?
6. Майбутнє Сонця та інших зір.

Під час роботи над навчальними проєктами радимо ознайомитися з деякими порадами щодо їх створення і презентації («Етапи роботи над навчальним проєктом») в інтерактивному електронному додатку.



rnk.com.ua/
114218

ФІЗИКА В ДІЇ: ЩО ПРИХОВУЄ ЗВИЧАЙНИЙ СМАРТФОН

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Що відбувається всередині смартфона, коли ви слухаєте музику, знімаєте відео або надсилаєте повідомлення? Чи зможете ви впізнати в роботі його складників знайомі з курсу фізики 9 класу явища? Перевіримо це разом, спираючися на знання, здобуті цього року.



Електричний струм у різних середовищах

Електричний струм проходить **металевими провідниками** всередині телефона. У **напівпровідниках мікросхем** його напрямок і сила керовано змінюються, що забезпечує обробку та збереження інформації. В акумуляторі під час заряджання й розряджання відбувається впорядкований рух йонів в **електроліті**.



Магнітні та електромагнітні явища

Динаміки, мікрофон, мікродвигуни працюють завдяки взаємодії електричного струму та магнітного поля. Саме ця взаємодія викликає рух мембрани динаміка.

Механічні та електромагнітні хвилі

Динамік створює **звукові (механічні) хвилі** в повітрі, а мікрофон перетворює звукові коливання на електричні сигнали. Передавання інформації мобільним зв'язком, Wi-Fi, Bluetooth здійснюється за допомогою **електромагнітних хвиль**.



Оптичні явища

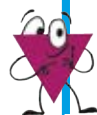
Екран і ліхтарик є джерелами світла. Камера формує зображення завдяки **заломленню світла** в системі лінз і перетворенню світлової енергії на електричний сигнал у світлочутливій матриці.



Будова атома та атомного ядра

Електроенергія для заряджання смартфонів надходить з електромережі; значна кількість електроенергії в Україні виробляється на **атомних електростанціях** під час ядерних реакцій.

Оберіть один із пристроїв: автомобіль, пральну машину, телевізор тощо. На закономірностях яких розділів фізики ґрунтується робота складників цього пристрою?



ДОДАТОК

Таблиця 1. Питомий опір ρ ($\times 10^{-8}$ Ом·м, або $\times 10^{-2}$ Ом·мм²/м) за температури 20 °С і температурні коефіцієнти електричного опору α деяких металів і сплавів

Речовина	ρ	α , К ⁻¹	Речовина	ρ	α , К ⁻¹
Алюміній	2,8	0,004	Ніхром	110	0,0001
Вольфрам	5,5	0,005	Платина	10	0,004
Латунь	7,1	0,001	Свинець	21	0,004
Мідь	1,7	0,004	Срібло	1,6	0,004
Нікелін	42	0,0001	Сталь	12	0,006

Таблиця 2. Електрохімічні еквіваленти k (мг/Кл, або $\times 10^{-6}$ кг/Кл)

Алюміній (Al ³⁺)	0,09	Мідь (Cu ⁺)	0,66	Срібло (Ag ⁺)	1,12
Водень (H ⁺)	0,01	Мідь (Cu ²⁺)	0,33	Хлор (Cl ⁻)	0,37
Золото (Au ³⁺)	0,68	Натрій (Na ⁺)	0,24	Хром (Cr ³⁺)	0,18
Кисень (O ²⁻)	0,08	Нікель (Ni ²⁺)	0,30	Цинк (Zn ²⁺)	0,34

Таблиця 3. Густина ρ деяких речовин у твердому й рідкому станах (за температури 15–20 °С)

Речовина	ρ , кг/м ³	ρ , г/см ³	Речовина	ρ , кг/м ³	ρ , г/см ³
Алюміній	2700	2,70	Платина	21 500	21,50
Залізо	7800	7,80	Свинець	11 300	11,30
Золото	19 300	19,30	Скло	2500	2,50
Лід	900	0,90	Срібло	10 500	10,50
Мідь	8900	8,90	Сталь	7800	7,80
Нікель	8900	8,90	Цинк	7100	7,10
Бензин	710	0,71	Дизельне пальне	840	0,84
Вода чиста	1000	1,00	Ртуть	13 600	13,60

Таблиця 4. Префікси для утворення назв кратних і частинних одиниць

Префікс	Символ	Множник	Префікс	Символ	Множник
тера-	Т	10 ¹²	санти-	с	10 ⁻²
гіга-	Г	10 ⁹	мілі-	м	10 ⁻³
мега-	М	10 ⁶	мікро-	мк	10 ⁻⁶
кіло-	к	10 ³	нано-	н	10 ⁻⁹
гекто-	г	10 ²	піко-	п	10 ⁻¹²
деци-	д	10 ⁻¹	фемто-	ф	10 ⁻¹⁵

ВІДПОВІДІ ДО ВПРАВ І ЗАВДАНЬ ДЛЯ САМООЦІНЮВАННЯ

Розділ 1. Електричний струм у різних середовищах

Фізична база: що вже знаємо з теми «Електрика». 1. Негативний. 2. 1 — негативний, 2 — позитивний. 3. $q_1 = q_2 = 1,1$ нКл. 4. Позитивні — зліва направо, негативні — справа наліво. 5. 3 нКл. 6. 1 — негативного, 2 — позитивного. 7. Гальванічний елемент, резистор, лампи розжарення, ключ, з'єднувальні проводи. 12. 120 Кл. 14. 30 кДж. 15. Так, адже опір дроту 2,2 Ом. 16. $R_2 = 7,5$ Ом, $R_3 = 30$ Ом, $R_4 = 15$ Ом. 17. 3,2 В. 18. $R_1 = 12,5$ Ом, $R_2 = 37,5$ Ом. 19. а) 2,4 Ом; б) $U = U_1 = U_2 = 1,2$ В; в) $I_1 = 0,2$ А; $I_2 = 0,3$ А. 20. а) 6 Ом; 0,2 А; б) $U = 1,2$ В; $U_1 = 1$ В; $U_2 = 0,2$ В. 21. а) 3 Вт; б) 900 Дж. 22. а) 180 Вт; б) 101,25 Вт. № 1. 1. Протилежно напрямку силових ліній поля. 3. Не виділяється. 4. 500 Ом. 5. $0,005 \text{ K}^{-1}$. 6. Збільшиться в 1,19 раза.

№ 2. 1. а) Ліворуч — катод, праворуч — анод; б) катіони міді — до катода, аніони кислотного залишку — до анода. 4. $2 \cdot 10^4$ Кл. 5. ≈ 12 год 24 хв. 6. 0,3 мг/Кл. 7. На катоді 2, срібло.

№ 3. 1. 1-Г, 2-В, 3-А. 2. 3) на катоді; 4) 1,4 А; 5) 8 хв 20 с; 6) 7,7 кДж. 3. 1) 6,48 кг; 2) 25 А; 3) 9,72 кг. 4. ≈ 2 мкм. 5. ≈ 5 год. 6. 32 МДж.

№ 4. 3. Рекомбінація відбувається частіше, ніж йонізація. 4. Електролітична дисоціація не супроводжується виникненням вільних електронів, для її перебігу не потрібен йонізатор; молекула електроліту розпадається на йони, молекула газу лише втрачає або приєднує електрон.

№ 5. 1. Коронний; вогні святого Ельма. 2. Коронний. 3. Коронний. 4. Електрону потрібна більша відстань, щоб розігнатися й набути енергії йонізації електронним ударом.

№ 6. 1. Щоб під час руху електрони не зіштовхувалися з атомами й молекулами. 2. Ліворуч — катод, праворуч — анод. 3. Якщо напруженість напрямлена від анода до катода, то вільні електрони прямують до анода й створюють струм; якщо напруженість напрямлена від катода до анода, електричне поле утримує електрони біля катода й струм не виникає.

№ 7. 1. Германій і кремній. 2. 1-Б, 2-Г, 3-А.

№ 8. 1. А, В. 2. Клема А — до негативного полюса джерела струму, клема В — до позитивного. 3. $I = 8$ А; $I = 0$. 4. До зміни полярності $R = 5$ Ом; після зміни полярності $R \approx 3,33$ Ом.

Завдання для самооцінювання до розділу 1

1. А. 2. Б. 3. 1) 1 — термометр, 2 — нагрівник, 3 — мультиметр (авометр), 4 — штатив; 2) опір мідного дроту зі зростанням температури збільшується, опір напівпровідника зі зростанням температури зменшується. 4. 1) Негативні та позитивні йони; 2) 1, 3 — катоди; 2, 4 — аноди; 3) на катодах із часом побачимо осідання металу, біля анодів майже відразу побачимо бульбашки газу; 4) ≈ 832 мг, мідь. 5. 1-А, 2-Г, 3-Б, 4-В. 6. 1-Д, 2-В, 3-Г, 4-А. 7. 0,66 мг/Кл. 8. На катоді 3, срібло. 9. $0,0033 \text{ K}^{-1}$. 10. 1-Д, 2-Б, 3-А, 4-В. 11. $\approx 0,5$ А. 12. 1) Увесь час збільшується; 2) 2550°C . 13. $I_{\text{заг}} = 1$ А.

Розділ 2. Магнітні та електромагнітні явища

№ 9. 1. Праворуч — N. 2. б. 4. За кімнатної температури відштовхуватимуться; за температури 450°C не взаємодіятимуть. 5. Так.

№ 10. 1. 1) а, б — однорідне, в — неоднорідне; 2) а — в обох точках вертикально вгору, б — в обох точках до нас; в — у точці А вліво вгору, у точці В вправо вгору; 3) а, б — в обох точках магнітна індукція поля є однаковою, в — у точці В. 3. 1) Так; 2) у точці В — вліво вгору, у точці С — горизонтально вліво; 3) у точці С; 4) від S до N.

№ 11. 1. Від С до А. 2. 1) По дотичній до кола, проти ходу годинникової стрілки; 2) від нас; 3) а — однакове, б — сильніше в точці А. 3. Південним; так. 4. Магніт втягуватиметься в котушку. 5. Ліворуч — «плюс», праворуч — «мінус».

№ 12. 1. а) Угору; б) зліва направо; в) зліва направо; г) $F_A = 0$. 2. 1,08 Н; 0. 3. а) Униз — північний; б) ліворуч — позитивний. 4. а) 1,2 м; б) 30 мДж. 6. а) Зліва направо; б) 0,25.

№ 13. 1. Наприклад, зі сталі. 2. Сильно притягуватися, незначно притягуватися, незначно відштовхуватися. 3. Магнітожорстка. 4. а) Парамагнетик; б) феромагнетик. 5. Б, Г. 6. Незначно зменшилося.

№ 14. 1. А. 2. А. 3. Він залишається намагніченим після вимкнення струму; витрачатиметься додаткова енергія на перемагнічення. 4. Ліворуч — північний полюс. 7. Збільшиться.

№ 15. 2. 1–В, 2–Д, 3–А, 4–Б. 3. За ходом годинникової стрілки. 4. Зміниться. 5. Прилад вийде з ладу. 6. $\approx 4,2$ А.

№ 16. 1. А, Б, В. 2. А, Б.

Завдання для самооцінювання до розділу 2

1. Б, В, Д, Ж. 2. Залізний — так; мідний — ні. 3. *Вказівка до відповіді.* Орієнтовний план дій: 1) пошук інформації; 2) формування команди; 3) добір обладнання; 4) створення речовини; 5) проведення випробувань; 6) підготовка звіту; 7) презентація. 4. 1) Електромагнітна індукція; 2) віддаляти магніт від котушки; швидше рухати магніт; зупинити магніт; 3) генератор індукційного струму; 4) явище лежить в основі роботи найпоширеніших джерел електричної енергії. 5. Дія електровимірювальних приладів магнітоелектричної системи; ліворуч «–», праворуч «+». 6. Група А — 1, 3, 4; група Б — 2. 7. 1) На явищі електромагнітної індукції; 2) магніт, котушка; 3) механічна енергія → електрична; 4) і електродинамічний мікрофон, і динамік мають майже однакову будову, але в динаміку котушка зі струмом коливається в магнітному полі магніту, змушуючи коливатися мембрану, яка створює звук; у мікрофоні, навпаки, звукова хвиля змушує коливатися мембрану, яка коливається разом із котушкою в магнітному полі, завдяки чому в котушці виникає струм. 8. 1) Котушка А від 0 до t_1 рухалася повільно в напрямку котушки В; від t_1 до t_2 не рухалася; від t_2 до t_3 швидко віддалялася від котушки В; 2) А, В; 3) від t_2 до t_3 . 9. В. 10. А. 11. Котушка: праворуч — північний, ліворуч — південний; напрямок струму: по ближчій до нас частині витка вниз; джерела струму: праворуч «+», ліворуч «–». 12. Униз — південний, угорі — північний. 13. $\approx 0,7$ Н.

Розділ 3. Механічні та електромагнітні хвилі

№ 17. 1. а) 2,5 см; б) 4 см. 2. 20 м/с. 3. Не виникають сили пружності. 4. Ні. 5. 45 км. 6. а) Вліво; б) вправо. 7. Для рис. а: 1) 40 см, $\approx 0,067$ с, 1,6 м; 2) А і С — угору, В — не рухається; 3) 450. Для рис. б: 1) 20 см, 0,05 с, 2 м; 2) А — угору, В — униз, С — не рухається; 3) 600. 8. 3,2 м/с.

№ 18. 1. Частота помахів крил метелика менша від 20 Гц. 2. 8,5 см; 37,5 см; 1,25 м. 4. 3 км. 5. 1700. 6. На $\approx 2,6$ с.

№ 19. 1. 1) а, б, в; 2) а, б. 2. Провід: $\lambda = 6000$ км, $v = 3 \cdot 10^8$ м/с; радіопередавач: $\nu = 3 \cdot 10^9$ Гц; $v = 3 \cdot 10^8$ м/с; випромінювач: $\nu = 2 \cdot 10^{14}$ Гц; $v = 3 \cdot 10^8$ м/с. 3. а) 750 нм, 400 нм; б) ≈ 457 нм, ≈ 240 нм.

№ 20. 1. 4, 2, 1, 3. 2. 1-Г, 2-Б, 3-В, 4-А. 3. $\approx 5,3 \cdot 10^{14}$ Гц. 4. 100 мкм; оптичний діапазон (інфрачервоне випромінювання).

№ 21. 1. 3 км. 2. 0,5 м. 3. $t \approx 2,6$ с. 4. $S_{\min} = 1,5$ км.

Завдання для самооцінювання до розділу 3

1. А, В. 2. Г. 3. А, В, Г. 4. Вертикально вгору. 5. 10,2 км; 3,4 км. Так, адже гроза швидко наближається. 6. А. 7. 1-Г, 2-Б, 3-В, 4-А. 8. Г, Б, А, В. 9. 1-В, 2-Б, 3-Г. 10. $\approx 0,42$ Гц; 48 м. 11. А. 12. Б. 13. У повітрі — 4 м; у воді — ≈ 18 м. 14. Вище, коли бджола повертається. 15. $\nu = 50$ МГц; $\lambda = 4$ м.

Розділ 4. Світлові явища

№ 22. 3. 8 хв 20 с. 5. $9,46 \cdot 10^{12}$ км.

№ 23. 2. А — тінь, В — півтінь, С — півтінь, D — світло. 5. Повне сонячне затемнення. Затемнення в той самий проміжок часу в інших частинах світу не було. 6. ≈ 67 см.

№ 24. 1. 3 м. 4. 40° . 5. 60 см; 80 см. 6. 8 км/год; на 4 м.

№ 25. 2. $\approx 1,24 \cdot 10^8$ м/с; $\approx 2,26 \cdot 10^8$ м/с; $\approx 3 \cdot 10^8$ м/с. 3. 40° . 5. ≈ 4 мкс.

№ 26. 1. Синього; усі, окрім синього. 2. Чорними; зеленим. 3. Фіолетового. 4. Червоного.

№ 27. 1. Перша. 2. Перша лінза розсіювальна, друга — збиральна. 3. $-62,5$ см, розсіювальна. 5. Розсіювальна; $-0,025$ м; -40 дптр.

№ 28. 2. 40 см. 3. -3 дптр, розсіювальна. 5. 1) 5 дптр; 2) 10 см. 7. 25 дптр.

№ 29. 1. -40 см, короткозорість. 2. 12,5 см. 4. -1 дптр.

Завдання для самооцінювання до розділу 4

1. А, В, Д, Е. 2. А, В. 3. 1) Фокусну відстань, оптичну силу; 2) $F = 12$ см, $D \approx 8,3$ дптр. 4. Розсіювальну; Б, В, Г, Є. 6. А. 7. Б. 8. В. 9. А. 10. В. 11. В око риби світло потрапляє з води, тому заломлюється менше. 12. Г. 13. Б. 14. В. 15. 4 м/с. 16. $\approx 1,4$. 17. 1 м.

Розділ 5. Будова атома та атомного ядра

№ 30. 1. $Z = 18$, $N = 22$. 2. Кількістю нейтронів. 3. 5; 11. 4. Sb. 5. $2 \cdot 10^4$ Н.

№ 31. 3. $12 \cdot 10^{18}$ Гц. 5. На ядро ${}_{89}^{228}\text{Ac}$. 7. Два α -розпади, один β -розпад.

№ 32. 1. Уран-235; радон-220. 2. $\approx 2 \cdot 10^{14}$. 3. У 8 разів. 4. 0,6 с. 5. $3,7 \cdot 10^{20}$ Бк.

№ 33. 1. Маску. 2. Рентгенівське випромінювання не лише передає енергію, а й чинить йонізаційну дію. 3. 7,2 мкГр. 4. 1,66 Зв.

№ 34. 1. $\approx 19,3 \cdot 10^{12}$ Дж. 2. $A \rightarrow \Gamma \rightarrow D \rightarrow B \rightarrow B$. 3. 234 МДж; 23,4 кг. 4. 82 ГДж.

№ 35. 1. 33 %. 2. $69 \cdot 10^6$ кВт·год. 3. 432 ТДж. 4. $\approx 9,5$ кг.

Завдання для самооцінювання до розділу 5

1. А, Б. 2. 1-Б, 2-В, 3-А. 3. Б, В, Г. 4. 1-Б, 2-В, 3-Г. 5. В. 6. І: атом, йон, молекула; ІІ: електрон, атомне ядро; ІІІ: протон, нейтрон. 7. 1) 56 с; 2) адже зменшується кількість ядер, що не розпалися; 3) $A = 2 \cdot 10^{10}$ Бк $\approx 0,54$ Кі. 8. 1) Дозу випромінювання; 2) позитивний; 3) із дисплея пристрою; 4) за звичайних умов газ не є провідником; унаслідок йонізації в газі з'являються вільні заряджені частинки. 9. 31 електрон, 31 протон, 39 нейтронів, 70 нуклонів. 10. $2 \cdot 10^9$ ядер. 11. ${}_{90}^{234}\text{Th} \rightarrow {}_{-1}^0\text{e} + {}_{91}^{234}\text{Pa}$. 12. Ядро полонію-214 (${}_{84}^{214}\text{Po}$). 13. 10,4 мГр — безпечно.

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

- А** Адаптація 220
Акомодація 221
Активність
радіонуклідного
джерела 247
Анод 22
- В** Вакуум 47
Випромінювання
— інфрачервоне 150
— радіоактивне 241
— — альфа 241
— — бета 241
— — гамма 151, 241
— рентгенівське 148, 151
— ультрафіолетове 150
Відлуння 137
- Г** Газовий розряд 36
— несамотійний 36
— самотійний 37
— — дуговий 44
— — іскровий 41
— — коронний 43
— — тліючий 45
Гальваноопластика 29
Гальваностегія 28
Генератор
індукційного
струму 111
Гіпотеза Ампера 94
Гучність звуку 136
Гучномовець
електродинамічний 109
- Д** Далекозорість 223
Джерело
— звуку 134
— світла 166
Джерела енергії 113
Дисперсія світла 200
Діамагнетики 92
Діод
— вакуумний 48
— напівпровідниковий 58
Діоптрія 207
Довжина хвилі 130
- Доза йонізуючого
випромінювання
— еквівалентна 255
— поглинута 255
Дозиметр 258
Домішка
— акцепторна 57
— донорна 57
Дослід
— Ерстеда 71
— Резерфорда 234
— Стюарта — Толмена 13
— Фарадея 110
- Е** Електродвигун 105
Електроліз 24
Електроліти 21
Електролітична
дисоціація 21
Електромагніт 97
Електромагнітна
індукція 111
Електронно-дірковий
перехід (*p-n*-перехід) 58
Електрохімічний
еквівалент 24, 280
Ехолокація 139
- З** Закон
— відбивання світла 180
— заломлення світла 190
— прямолінійного
поширення світла 173
— Фарадея для електролізу 24
Заломлення світла 189
Затемнення
— місячне 175
— сонячне 174
Звук 134
Зв'язок стільниковий 154
Зображення уявне 181, 209
- І** Ізотоп 236
Індукційний струм 111
Інфразвук 138
- Й** Йонізація 36

- К** Камертон 135
Катод 22
Колектор 104
Короткозорість 223
- Л** Ланцюгова ядерна реакція 260
Лінза 204
— збиральна 205
— розсіювальна 205
Лінії магнітної індукції 76
- М** Магніт постійний 70
Магнітна індукція 75
Магнітний полюс 70
- Н** Надпровідність 15
Нуклід 236
Нуклон 236
- О** Оптична густина середовища 190
Оптична сила лінзи 207
- П** Парамагнетики 92
Період піврозпаду 246
Півтінь 173
Плоске дзеркало 180
Показник заломлення 191
Поле
— електромагнітне 141
— Землі 78
— магнітне 72
— однорідне 77
Правило
— лівої руки 88
— свердлика 83
Правила зміщення 243
Приймач
— звуку 135
— світла 169
Природний радіаційний фон 256
Провідність напівпровідників
— власна 53
— домішкова 56
Промінь світловий 172
- Р** Радіоактивність 240, 242
Радіолокація 156
Радіохвилі 148, 149, 154
Рафінування 28
Розщеплення ядра 260
Ротор 105, 112
- С** Світлодіод 59
Сила Ампера 87
Спектр 199
Статор 106, 112
- Т** Температурний коефіцієнт електричного опору 14, 280
Термоелектронна емісія 47
Термометр опору 18
Термоядерний синтез 264
Тесла 75
Тінь повна 173
Тон звуку 136
- У** Ультразвук 138
- Ф** Феромагнетики 92
Фокусна відстань 206
Формула тонкої лінзи 213
Формула хвилі 130
- Х** Хвиля
— електромагнітна 142
— звукова 134
— механічна 126
— поздовжня 127
— поперечна 127
- Ч** Частота хвилі 129
- Ш** Швидкість поширення
— звуку 135
— електромагнітної хвилі 144
— світла 166
Шкала електромагнітних хвиль 148
- Я** Ядерний
— реактор 262
— цикл 268
Ядерні сили 237

ЗМІСТ

Вступ	3
-------------	---

Розділ 1. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ У РІЗНИХ СЕРЕДОВИЩАХ

Фізична база: що вже знаємо з теми «Електрика»	6
§ 1. Електричний струм у металах	12
<i>Лабораторна робота № 1</i>	19
§ 2. Електричний струм у розчинах і розплавах електролітів	21
§ 3. Застосування електролізу	27
<i>Лабораторна робота № 2</i>	33
§ 4. Електричний струм у газах	35
§ 5. Види самостійних газових розрядів	40
§ 6. Електричний струм у вакуумі	47
§ 7. Електричний струм у напівпровідниках. Власна провідність напівпровідників	51
§ 8. Домішкова провідність напівпровідників. Електронно-дірковий перехід	56
<i>Лабораторна робота № 3</i>	62
Підбиваємо підсумки розділу 1	64
Завдання для самооцінювання до розділу 1	66
Теми повідомлень. Теми експериментальних досліджень.	
Теми навчальних проектів	68

Розділ 2. МАГНІТНІ ТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ЯВИЩА

§ 9. Магнітні явища. Дослід Ерстеда. Магнітне поле	70
§ 10. Індукція магнітного поля. Лінії магнітної індукції. Магнітне поле Землі	75
§ 11. Магнітне поле струму. Правило свердлика	82
§ 12. Сила Ампера	87
§ 13. Магнітні властивості речовин. Гіпотеза Ампера	92
§ 14. Електромагніти та їх застосування	97
<i>Лабораторна робота № 4</i>	102
§ 15. Дія магнітного поля на рамку зі струмом	103
§ 16. Явище електромагнітної індукції. Промислові джерела електричної енергії	110
<i>Лабораторна робота № 5</i>	118
Підбиваємо підсумки розділу 2	120
Завдання для самооцінювання до розділу 2	122
Теми експериментальних досліджень.	
Теми навчальних проектів	124

Розділ 3. МЕХАНІЧНІ ТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ХВИЛІ

§ 17. Виникнення та поширення механічних хвиль	126
§ 18. Звукові хвилі. Інфразвук і ультразвук	134
§ 19. Електромагнітне поле та електромагнітні хвилі	141
§ 20. Шкала електромагнітних хвиль	148
§ 21. Принципи стільникового зв'язку та радіолокації	154
Підбиваємо підсумки розділу 3	160
Завдання для самооцінювання до розділу 3	162
Теми повідомлень. Теми експериментальних досліджень.	
Теми навчальних проєктів	164

Розділ 4. СВІТЛОВІ ЯВИЩА

§ 22. Джерела та приймачі світла. Швидкість поширення світла	166
§ 23. Поширення світла в однорідному середовищі	172
§ 24. Відбивання світла	179
<i>Лабораторна робота № 6</i>	187
§ 25. Заломлення світла	189
<i>Лабораторна робота № 7</i>	197
§ 26. Дисперсія світла. Кольори	199
§ 27. Лінзи. Оптична сила лінзи	204
§ 28. Побудова зображень у лінзах. Деякі оптичні пристрої.	
Формула тонкої лінзи	209
<i>Лабораторна робота № 8</i>	217
<i>Лабораторна робота № 9</i>	218
§ 29. Око як оптична система	220
<i>Лабораторна робота № 10</i>	225
Підбиваємо підсумки розділу 4	227
Завдання для самооцінювання до розділу 4	229
Теми повідомлень. Теми експериментальних досліджень.	
Теми навчальних проєктів	232

Розділ 5. БУДОВА АТОМА ТА АТОМНОГО ЯДРА

§ 30. Моделі атома та атомного ядра. Ядерні сили. Ізотопи	234
§ 31. Радіоактивність. Види радіоактивних випромінювань	239
§ 32. Активність радіоактивної речовини. Застосування радіоактивних ізотопів	246
§ 33. Дія радіоактивного випромінювання.	
Природний радіаційний фон	254
§ 34. Ланцюгова ядерна реакція. Ядерний реактор	260
§ 35. Ядерний цикл. Атомна енергетика України	268
Підбиваємо підсумки розділу 5	274
Завдання для самооцінювання до розділу 5	276
Теми повідомлень. Теми навчальних проєктів	278

Фізика в дії: що приховує звичайний смартфон	279
Додаток	280
Відповіді до вправ і завдань для самооцінювання	281
Алфавітний покажчик	284

Відомості про користування підручником

№ з/п	Прізвище та ім'я учня/учениці	Навчальний рік	Стан підручника	
			на початку року	у кінці року
1				
2				
3				
4				
5				

Навчальне видання

БАР'ЯХТАР Віктор Григорович
БОЖИНОВА Фаїна Яківна
ДОВГИЙ Станіслав Олексійович
КІРЮХІН Микола Михайлович
КІРЮХІНА Олена Олександрівна

«ФІЗИКА»

Підручник для 9 класу закладів загальної середньої освіти
За редакцією Довгого Станіслава Олексійовича

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України

Видано за рахунок державних коштів.

Продаж заборонено

Підручник відповідає Державним санітарним нормам і правилам
«Гігієнічні вимоги до друкованої продукції для дітей»

Провідний редактор *І. Л. Морєва*. Редактор *О. В. Костіна*.

Технічний редактор *А. В. Плisko*.

Художнє оформлення *В. І. Труфена, Т. В. Задорожної*.

Комп'ютерна верстка *О. А. Песнін*.

Коректор *В. П. Нестерчук*.

Підписано до друку 15.05.2026. Формат 70×100/16.

Папір офсетний. Гарнітура Шкільна. Друк офсетний.

Ум. друк. арк. 23,66. Обл.-вид. арк. 27,40.

Наклад 404 944 прим. Зам. № ВЕ-000991.



Служба підтримки:
rnk.com.ua/107946

ТОВ Видавництво «Ранок», пр. Незалежності, 5, Харків, 61022;
вул. Деревлянська, 13, Київ, 04119. E-mail: office@ranok.com.ua

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 8348 від 02.06.2025.

Надруковано у друкарні ТОВ «Вісник України».

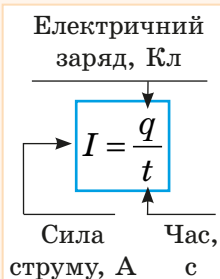
01014, Україна, м. Київ, вул. Бойчука Михайла, буд. 41-Б, оф. 2020.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 8117 від 24.06.2024

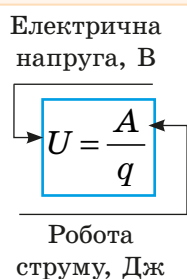
Тел.: +38 050 459 79 82. E-mail: sales@visnyk.com.ua

ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ

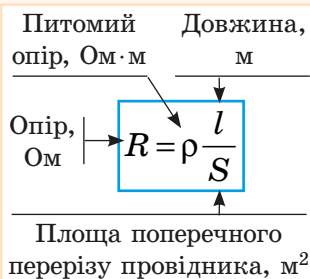
Сила струму



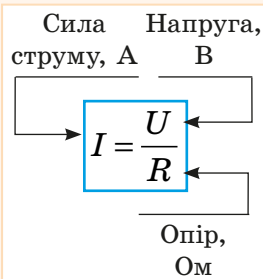
Напруга



Опір

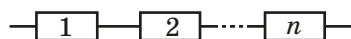


Закон Ома



Види з'єднання провідників

послідовне

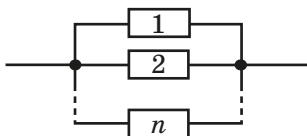


$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n$$

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$$

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$$

паралельне

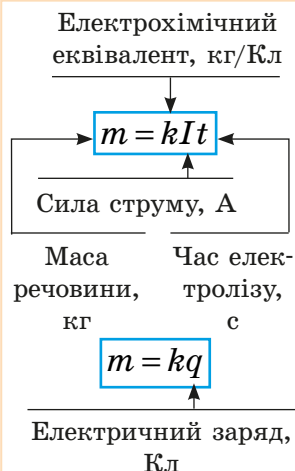


$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$$

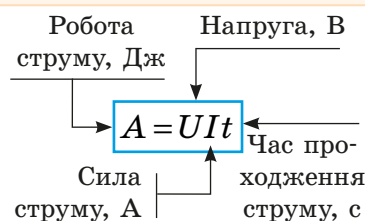
$$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

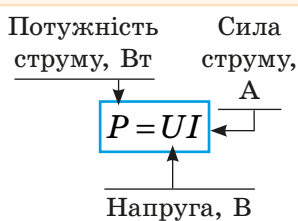
Закон Фарадея



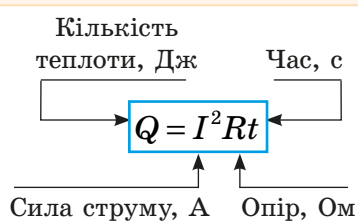
Робота струму



Потужність струму

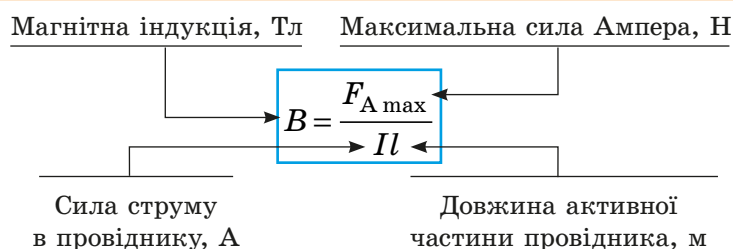


Закон Джоуля — Ленца

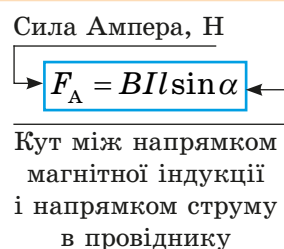


МАГНІТНІ ТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ЯВИЩА

Магнітна індукція



Сила Ампера



МЕХАНІЧНІ ТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ХВИЛІ

Період коливань

Період коливань, с

Час коливань, с

$$T = \frac{t}{N}$$

Кількість коливань

Частота хвилі

Частота хвилі, Гц

Кількість коливань

$$\nu = \frac{N}{t}$$

Час коливань, с

Довжина хвилі

Довжина хвилі, м

Період коливань, с

$$\lambda = \nu T$$

Швидкість поширення хвилі, м/с

Формула хвилі

Швидкість поширення хвилі, м/с

Частота хвилі, Гц

$$\nu = \lambda \nu$$

Довжина хвилі, м

Ехолокація

Швидкість поширення звуку, м/с

Час проходження сигналу, с

$$s = \frac{\nu t}{2}$$

Відстань до об'єкта, м

Радіолокація

Швидкість поширення світла у вакуумі, м/с

Час проходження імпульсу, с

$$s = \frac{ct}{2}$$

Відстань до об'єкта, м

ОПТИЧНІ ЯВИЩА

Показник заломлення

Кут падіння

Швидкість поширення світла в середовищі 1, м/с

Швидкість поширення світла в середовищі 2, м/с

$$n_{21} = \frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = \frac{v_1}{v_2}$$

Відносний показник заломлення

Кут заломлення

Лінзи

Формула тонкої лінзи

Фокусна відстань, м

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$$

Відстань від зображення до лінзи, м

Відстань від предмета до лінзи, м

Оптична сила лінзи

$$D = \frac{1}{F}$$

Оптична сила лінзи, дптр

РАДІОАКТИВНЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ

Активність

Активність, Бк

Стала радіоактивного розпаду, с⁻¹

$$A = \lambda N$$

Кількість ядер радіонукліда на даний момент часу

Доза йонізуючого випромінювання

поглинута

Поглинута доза, Гр

$$D = \frac{W}{m}$$

Маса, кг

Енергія випромінювання, Дж

еквівалентна

Еквівалентна доза, Зв

$$H = K \cdot D$$

Коефіцієнт якості

Поглинута доза, Гр

ФІЗИКА

підручник для 9 класу
закладів загальної середньої освіти

9

Підручник вирізняє наявність таких матеріалів:

- ▶ тексти та ілюстрації для мотивації навчальної діяльності
- ▶ алгоритми розв'язування основних типів фізичних задач
- ▶ приклади практичного застосування фізики
- ▶ покрокові описи лабораторних робіт
- ▶ експериментальні завдання і дослідження
- ▶ завдання для розвитку критичного мислення
- ▶ вправи для групової роботи й самостійного опрацювання
- ▶ тематичне узагальнення та систематизація матеріалу
- ▶ теми експериментальних досліджень і проєктів
- ▶ відомості про досягнення фізики і техніки в Україні

Інтерактивний електронний додаток дозволить:

- ▶ здійснити онлайн-тестування за кожною темою
- ▶ унаочнити фізичний дослід або процес за допомогою навчальних відео
- ▶ використати інформаційні картки для ефективного повторення
- ▶ ознайомитися з відомостями, що розширюють уявлення про природу



Інтерактивний
електронний додаток
до підручника
доступний за QR-кодом
або посиланням
rnk.com.ua/111358