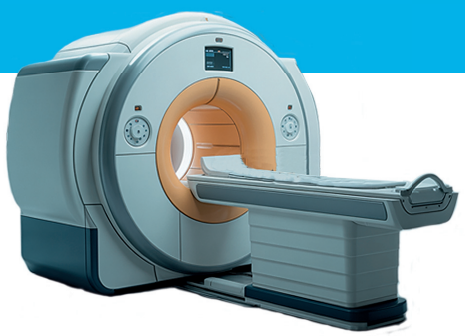
НОВА УКРАЇНСЬКА ШКОЛА

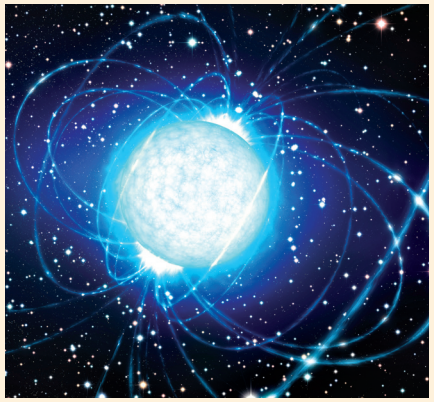
Фізика

ПІДРУЧНИК 9 клас



академія

ЗІРКА-ЗОМБІ — НАЙПОТУЖНІШИЙ МАГНІТ У ВСЕСВІТІ



У нашій Галактиці виявлено астрономічне диво — SGR 0501+4516, магнетар, який проноситься крізь Чумацький Шлях зі швидкістю, що перевищує 177 000 км/год. Магнетари — це зірки, які згасли та вибухнули. Цей загадковий об'єкт, якби опинився поблизу Землі, міг би знищити все живе. Його надпотужне магнітне поле здатне зруйнувати атомну структуру людського тіла, мов справжній космічний «промінь смерті».

ГІГАНТСЬКІ ХВИЛІ НАЗАРЕ — СИЛА ОКЕАНУ

На узбережжі португальського містечка Назаре Атлантичний океан «створює» справжнє диво природи. Узимку тут виникають гігантські хвилі заввишки понад 30 метрів! Їх підсилює особливий підводний каньйон, який спрямовує енергію океану прямо до берега. Сюди з'їжджаються найсміливіші серфери світу, щоб підкорити ці водяні гори. Але Назаре — не лише про екстрим: це жива лабораторія природи, де виконуються закони руху та збереження енергії. Ці хвилі свідчать про те, наскільки могутня природа і як цікаво досліджувати її закономірності.

АСТРОНОМІЧНИЙ МАЯТНИКОВИЙ ГОДИННИК ПАССМАНА

Справжнє диво техніки XVIII ст. створив французький інженер Клод-Симон Пассман, а майстри Луї Дотіо та брати Кафф'єрі втілили задум у життя. Годинник заввишки понад два метри показує час, дату, фази Місяця, рух планет, схід і захід Сонця. Усередині розміщений бронзовий глобус із вигравіруваними назвами країн та міст — справжня модель Землі. Це перший прилад, що визначав офіційний час у Франції. Його маятниковий механізм настільки точний, що може рахувати дні до 9999 р.! З 1754 р. він прикрашає Салон маятника у Версалі.

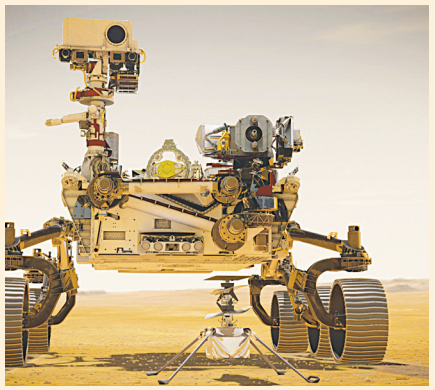
БРОКЕНСЬКИЙ ПРИВИД УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ

У жовтні 2025 р. на горі Графа в Карпатах мандрівник Ігор Романів зафіксував рідкісне явище — Брокенський привид. Це оптичне диво, оточене яскравим райдужним ореолом, виникає тоді, коли тінь людини падає на хмари або густий туман. Явище відбувається лише за особливих умов освітлення та вологості повітря. Тінь начебто оживала на фоні туману, рухаючись разом із спостерігачем. Видовище тривало довго і було настільки динамічним, що мандрівник устиг зробити унікальні світлини.

ПАПЕРОВИЙ МІКРОСКОП FOLDSCOPE

Інженер Ману Пракеш зі Стенфордського університету, перебуваючи на польовій станції в Таїланді, зазначив, що доводилося працювати з дуже дорогим мікроскопом. Він поставив собі за мету створити доступний мікроскоп, який би був універсальним і достатньо міцним для роботи в польових умовах. Перший прототип інженер розробив у 2014 р. Його можна сконструювати, використавши папір, лінзу та маленький світлодіод, гальванічний елемент. Вартість такого мікроскопа — менше одного долара, але він дає збільшення в 140 разів.

РАДІОАКТИВНА ЕНЕРГІЯ, ЩО ЖИВИТЬ МІСІЮ НА МАРСІ



Коли марсохід Perseverance вирушив у 2020 р. до червоної планети, його «серцем» став радіоізотопний термоелектричний генератор — невелика енергосистема, яка працює завдяки енергії від розпаду Плутонію-238. Це джерело енергії не потребує сонячного світла, тому робот може працювати навіть під час пилових бур або холодних ночей. Завдяки цій «радіоактивній батареї» Perseverance живить свої прилади, керує камерами, пересувається і надсилає дані на Землю.

Фізика

ПІДРУЧНИК

для 9 класу
закладів загальної
середньої освіти

За редакцією
ЗОРЯНИ МАКСИМОВИЧ

РЕКОМЕНДОВАНО
Міністерством освіти
і науки України

Київ
Видавничий центр «Академія»
2026

УДК 37.016:53(075.3)
Ф50

Авторський колектив:
З. Максимович, Л. Варениця, Г. Коваль,
О. Микитеєк, М. Ординович, В. Шевців

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

Видано за державні кошти. Продаж заборонено

Підручник створено за модельною навчальною програмою «Фізика. 7—9 класи» для закладів загальної середньої освіти (авт. Максимович З. Ю., Білик М. М., Варениця Л. В., Коваль Г. С., Микитеєк О. М., Ординович М. Б., Созанський А. В., Шевців В. Ф.) (2023 р.).

Наукові консультанти: О. Бовгира, О. Паска

е-додаток (інтерактивний електронний додаток):
https://lms.e-school.net.ua/courses/course-v1:Academia+f9+14.08.2024/course/

Фізика : підруч. для 9 кл. закл. заг. серед. освіти / [Зоряна Максимович, Ліана Варениця, Галина Коваль та ін.] ; за ред. Зоряни Максимович. — Київ : ВЦ «Академія», 2026. — 224 с. : іл.

Ф50

ISBN 978-966-580-828-2

УДК 37.016:53(075.3)

ISBN 978-966-580-828-2

© Максимович З., Варениця Л., Коваль Г., Микитеєк О., Ординович М., Шевців В., 2026
© Штогрин В., дизайн книжки, 2026

Шановні дев'ятикласники та дев'ятикласниці!

Вітаємо вас у захопливому світі фізики — науки, що ґрунтується на дослідженнях, експериментах і логічному аналізі. У 9 класі ви продовжите вивчати закони природи, фізичні явища, їх вплив та роль у повсякденному житті.

У процесі навчання будете проводити експерименти, здійснювати вимірювання, будувати графіки, розв'язувати задачі. Усе це допоможе вам краще зрозуміти навколишній світ. Ви дізнаєтесь, як працюють магніти й чому намагнічена стрілка компаса завжди показує на північ; як лінзи та дзеркала використовують для отримання зображень в оптичних приладах; чому звук у різних середовищах поширюється по-різному і в чому принципова помилка звукорежисерів фільму «Зоряні війни»; яку користь чи небезпеку для людства несе використання атомної енергетики.

Матеріал підручника поділено на розділи та параграфи, які містять приклади життєвих ситуацій, історичні факти, інформацію про різні фізичні явища, процеси, закони, приклади застосування фізичних знань у побуті, завдання для проведення експериментів у школі та вдома, приклади розв'язування задач.

Для кращого сприйняття фізичних явищ та законів, розуміння роботи приладів та пристроїв пропонуємо відеоматеріали, над якими працювали команди учнів-експериментаторів.

Доступ до завдань для самоперевірки можна отримати через QR-коди та покликання. Параграфи, до яких розроблено відеоматеріали, позначені піктограмою «Скануйте», а всі QR-коди та покликання зібрано в таблиці «Відеоматеріали» (с. 219).

Для зручності в користуванні матеріалами підручника запропоновано рубрики з умовними позначеннями.

Умовні позначення рубрик

Мотивація

Дізнайтеся про…

Поміркуйте і дайте відповідь

Запам'ятайте

Перевірте себе

Обдумайте, змоделюйте, зробіть…

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Скануйте

Пригадайте вивчене

До підручника на платформі ВШО створено е-додаток (https://lms.e-school.net.ua/courses/course-v1:Academia+f9+14.08.2024/course/ — з реєстрацією), на якому розміщено підручник в електронному вигляді, тестові завдання для самоперевірки, діагностувальні роботи до кожного розділу, відеоматеріали, матеріали для вчителя. Деякі матеріали з нього розміщені на https://9klas.academiabook.club/fizyka (у вільному доступі).

е-додаток

Сподіваємося, що наш підручник буде для вас доступним, цікавим і легким у сприйманні. А здобуті знання ви зможете застосувати в повсякденному житті.

Пам'ятайте, що знання — це не просто інформація, це інструмент для пізнання і розуміння світу.

З повагою
авторський колектив

ІНСТРУКЦІЯ
З БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ
під час проведення навчальних занять у кабінеті фізики

1. Загальні вимоги безпеки

1.1. Перебувати учням / ученицям у приміщенні кабінету (лабораторії) фізики можна лише в присутності вчителя / вчительки фізики або лаборанта / лаборантки.
1.2. Будьте уважні й дисципліновані, точно виконуйте вказівки вчителя / вчительки.
1.3. Не починайте виконувати роботу без дозволу вчителя / вчительки.
1.4. Розміщуйте матеріали, обладнання на своєму робочому місці так, щоб запобігти їх падінню або перекиданню.

2. Вимоги безпеки перед початком роботи

2.1. Ознайомтеся з описом роботи і продумайте послідовність її виконання.
2.2. Приберіть усе зайве зі столу.
2.3. Перевірте наявність приладів та матеріалів, необхідних для виконання роботи, їхню справність.
2.4. Будьте уважні та дисципліновані, не розпочинайте виконання роботи без дозволу вчителя / вчительки.
2.5. Не залишайте своє робоче місце без дозволу вчителя / вчительки.

3. Вимоги безпеки під час роботи

3.1. Не переходьте від одного робочого місця до другого без потреби.
3.2. Не допускайте падіння штатива, щоб не заподіяти собі травм.
3.3. Склавши коло, уважно перевірте надійність кріплень провідників.
3.4. Правильно вмикайте прилади: амперметр — послідовно, вольтметр — паралельно, дотримуйтеся полярності («+», «–»), указаної на них. Джерело струму вмикайте в електричне коло в останню чергу.
3.5. Не доторкайтеся до елементів кола, що перебувають під напругою і не мають ізоляції.
3.6. Не виконуйте перемикань у колі, коли ввімкнене джерело живлення.
3.7. Виявивши несправність в електричних пристроях, що перебувають під напругою, негайно вимкніть джерело струму й повідомте про це вчителя / вчительку.
3.8. Дотримуйтеся правил експлуатації вимірювальних приладів. Під час проведення дослідів не допускайте граничних навантажень вимірювальних приладів. Користуйтеся приладами лише за їхнім призначенням.

3.9. Під час користування реостатом не виводьте повзунок у положення короткого замикання.
3.10. Працюючи з приладами зі скла, будьте особливо обережні. Користуйтеся мензурками, колбами, які мають оплавлені краї. Перевірте, чи немає тріщин на пробірці, мензурці. Не допускайте механічних ударів скляного посуду.
3.11. У разі пошкодження скляного посуду не збирайте уламки скла незахищеними руками. Користуйтеся щіткою і совком.
3.12. Не пробуйте на смак рідини, які використовуєте в дослідах, не допускайте їх розливання на робочий стіл.
3.13. Працюючи із дзеркалами та лінзами, будьте обережні, щоб не розбити їх і не поранитися.
3.14. Обережно поводьтеся із запаленою свічкою як джерелом світла та сірниками, щоб не одержати опіків і не спричинити пожежі.
3.15. Користуючись гострими предметами (голкою, шпилькою, циркулем), уникайте ушкодження рук або інших частин тіла.
3.16. Дотримуйтеся правил експлуатації цифрових засобів.
3.17. Обережно поводьтеся з камертоном, уникайте його падіння.
3.18. Дотримуйтеся правил безпеки в роботі з екранними пристроями.

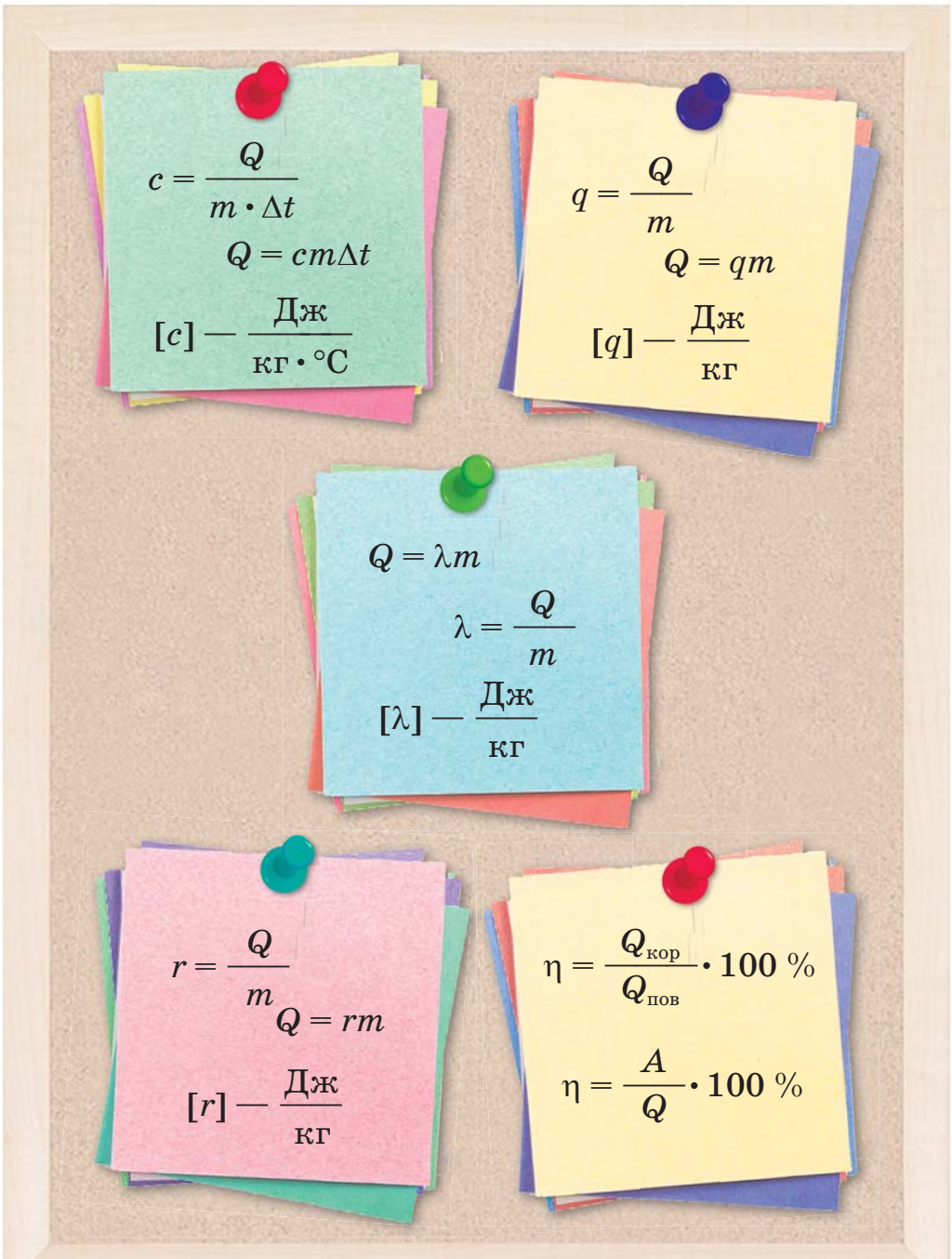
4. Вимоги безпеки після закінчення роботи

4.1. Повідомте вчителя / вчительку про закінчення роботи.
4.2. Розберіть установку.
4.3. Складіть обладнання так, як воно було складене до початку роботи.
4.4. Приберіть своє робоче місце. За потреби витріть стіл чистою ганчіркою.
4.5. Не залишайте робоче місце без дозволу вчителя / вчительки.

5. Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

5.1. Поранивши руку чи інші частини тіла, негайно припиніть роботу, повідомте про це вчителя / вчительку.
5.2. Виявивши несправність в електричних пристроях, що перебувають під напругою, негайно вимкніть джерело електроживлення і повідомте про це вчителя / вчительку.
5.3. Не усувайте несправності в електромережі, електрообладнанні самостійно.
5.4. У разі виникнення непередбачуваного загоряння, пожежі негайно повідомте про це вчителя / вчительку.
5.5. У випадку аварійної ситуації чітко виконуйте розпорядження вчителя / вчительки.

Інформаційна мапа вивченого у 8 класі



$|q| = N|e|$

$e = -1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл

$F = k\dfrac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2}$

$I = \dfrac{q}{t}$

$[I]$ — A

$U = \dfrac{A}{q}$

$[U]$ — B

$R = \rho_{\text{п}}\dfrac{l}{S}$

$I = \dfrac{U}{R}$

$[R]$ — Ом

$A = IUt$

$[A]$ — Дж

$P = IU$

$[P]$ — Вт

$Q = I^2Rt$

$\eta = \dfrac{Q_{\text{кор}}}{Q_{\text{пов}}} \cdot 100\ \%$

АГРЕГАТНІ СТАНИ РЕЧОВИНИ

ТВЕРДИЙ

Плавлення — процес переходу речовини з твердого агрегатного стану в рідкий

Кристалізація — процес переходу речовини з рідкого агрегатного стану у твердий

РІДКИЙ

Пароутворення — процес переходу речовини з рідкого стану в газоподібний

Конденсація — процес переходу речовини з газоподібного стану в рідкий

ГАЗОПОДІБНИЙ

Сублімація — перехід речовини із твердого стану в газоподібний, оминаючи рідкий стан

Десублімація — перехід речовини з газоподібного стану у твердий без конденсації

СПОСОБИ ЗМІНИ ВНУТРІШНЬОЇ ЕНЕРГІЇ

ТЕПЛОПЕРЕДАЧА

Теплопровідність

- Трикамерні склопакети
- Глиняний посуд
- Утеплення на зиму кущів тирсою чи соломою

Конвекція

- Обігрів та провітрювання приміщення
- Використання птахами висхідних потоків теплого повітря під час набирання висоти
- Виверження вулканів

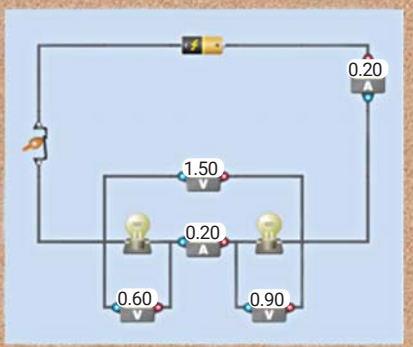
Випромінювання

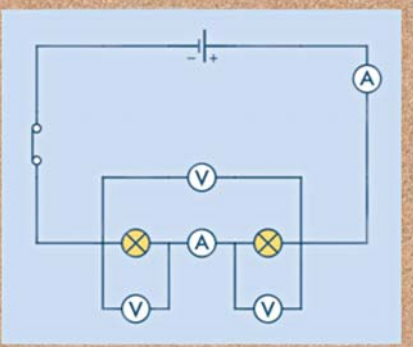
- Нагрівання поверхні Землі сонячним випромінюванням
- Термографічні камери
- Теплові лампи для підігрівання їжі в ресторанах

ВИКОНАННЯ МЕХАНІЧНОЇ РОБОТИ

- Нагрівання шин автомобіля під час різкого гальмування
- Нагрівання рук тертям долонь
- Нагрівання свердла під час роботи
- Локальне нагрівання під час зсуву тектонічних плит
- Нагрівання тіста під час розминання руками
- Нагрівання поверхні льоду під час гри в керлінг

ПОСЛІДОВНЕ З’ЄДНАННЯ ПРОВІДНИКІВ



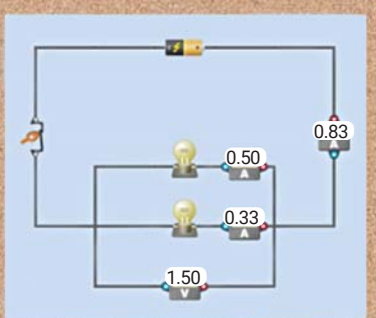


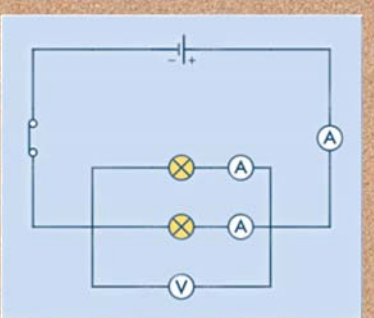
$$I = I_1 = I_2$$

$$U = U_1 + U_2$$

$$R = R_1 + R_2$$

ПАРАЛЕЛЬНЕ З’ЄДНАННЯ ПРОВІДНИКІВ





$$U = U_1 = U_2$$

$$I = I_1 + I_2$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Перевірте себе

I. Оберіть правильну відповідь.

1. Чому борошно «виходить» з-під жорен млина гарячим?
   А) Під час подрібнення зерна його обдають гарячою водою
   Б) Під час розтирання зерна рухомим каменем збільшується внутрішня енергія борошна
   В) Зерно перед подрібненням нагрівають у спеціальних печах
   Г) Під час розтирання зерна рухомим каменем зменшується внутрішня енергія борошна

2. Як впливають на теплопровідність ґрунту оранка й розпушування?
   А) Збільшується теплопровідність ґрунту
   Б) Теплопровідність ґрунту не змінюється
   В) Зменшується теплопровідність ґрунту
   Г) Теплопровідність ґрунту залежить від пори року, а не від розпушування

3. У горнятка з гарячим чаєм однакової температури опустили металеві ложки однакового розміру. В одне горнятко — ложку з міді, в інше — з алюмінію. У якій посудині чай охолоне швидше?
   А) У посудині з мідною ложкою
   Б) У посудині з алюмінієвою ложкою
   В) В обох посудинах чай охолоне через однаковий час
   Г) Процес охолодження рідини в посудині не залежить від матеріалу, з якого виготовлені ложки

4. У чому полягає відмінність між процесами випаровування та кипіння?
   А) Процес випаровування відбувається лише за температури 100 °С, а кипіння — за будь-якої температури
   Б) Процес кипіння відбувається тільки з вільної поверхні рідини, а випаровування — по всьому об'єму
   В) Процес випаровування відбувається з вільної поверхні рідини, а кипіння — по всьому об'єму
   Г) Процеси кипіння і випаровування відбуваються за однакових умов

5. Тостер «нагріває» хліб і робить його хрустким. Яка дія струму при цьому проявляється?
   А) Хімічна
   Б) Теплова
   В) Магнітна
   Г) Світлова

6. У квартирі одночасно світять електричні лампи, працює пральна машина та комп'ютер. Раптом одна лампа перегоряє, але інші пристрої продовжують працювати. Як з'єднані електричні прилади між собою?
   А) Послідовно
   Б) Паралельно
   В) Окремо один від одного
   Г) Ізольовано один від одного

7. Що потрібно зробити насамперед, якщо подовжувач, у який увімкнуто електроприлад, починає іскрити?
   А) Полити водою увімкнений подовжувач
   Б) Вимкнути подовжувач з розетки
   В) Доторкнутися до увімкненого подовжувача й перевірити, чи немає пошкоджень у місці іскріння
   Г) Продовжувати використовувати подовжувач, якщо ще працює електроприлад

8. У квитанції для оплати електроенергії, спожитої за місяць, указані початковий показник лічильника — 5892 кВт·год та кінцевий — 6104 кВт·год. Обчисліть вартість спожитої електроенергії, якщо тариф на неї становить 4,32 грн/кВт·год.
   А) 91 грн 60 коп
   Б) 915 грн 24 коп
   В) 915 грн 84 коп
   Г) 91 грн 58 коп

II. Батьки Сашка та Оксанки давно мріяли про свій куточок у горах, куди можна було б сховатися від міського шуму й насолоджуватися красою природи. І ось після тривалих пошуків вони знайшли таке місце в гірському селі величних Карпат. Старенький дерев'яний будиночок був чарівний. Атмосферу спокою створювали хвойні дерева й тихе дзюрчання гірської річки, що протікає неподалік.

Однак будиночок серед такої неймовірно красивої природи був непридатним для комфортного життя, бо потребував ремонту ззовні та всередині. Батьки вирішили почати з вікон і даху.

- Грошових накопичень вистачало на такі вікна: дерев'яні зі скляними шибами; дерев'яні зі склопакетами; металопластикові зі склопакетами. Які вікна ви порадили б купити, узявши до уваги ваші знання з фізики, екології та фінансової грамотності?

- Коли батьки приїхали в магазин по металочерепицю для перекриття даху, працівник порекомендував купити ще утеплювач. Батьки були здивовані: а навіщо?

Оберіть правильну відповідь:

А) Продавець хотів продати більше матеріалу, щоб одержати премію

Б) Продавець був професіоналом в утепленні будинків і дав корисну пораду

- Чому саме дах цього будинку насамперед потребує утеплення, а не його стіни? Поясніть з погляду фізики.

- Минуло тепле літо, за ним — золота осінь, а там — і дощова пора. У будинку стало холодно, і батько вирішив розпалити камін. Проте йому це не вдалося зробити, бо принесені знадвору дрова не розгорялися.

Чому дрова, принесені знадвору, відразу не горіли?

А) Дрова були дуже трухлявими

Б) Дрова були сирими

В) Дрова не є паливом

Г) Дрова не нагріті до температури, за якої відбувається процес горіння

Щоб якось виправити ситуацію, мама увімкнула в розетку електричний обігрівач потужністю 2,5 кВт, і враз у будинку пропало світло, спрацював автоматичний вимикач (5 А, 220 В).

- На яку потужність розрахований цей автоматичний вимикач?

А) 44 Вт

Б) 5500 Вт

В) 1100 Вт

Г) 2200 Вт

- Чому спрацював автоматичний вимикач і розімкнув електричне коло?

Батькові таки вдалося розпалити камін. Повітря в кімнаті площею 16 $м^2$ і висотою 2,5 м нагрілося на 10 °С.

- Визначте масу дров, які повністю згоріли в каміні й «нагріли» повітря в приміщенні. Тепловими втратами знехтуйте.

Наступного ранку батько купив автоматичний вимикач «25 А, 220 В», замінив старий і дав завдання Сашкові та Оксанці за паспортними даними електричних приладів визначити, які з них можна одночасно вмикати.

- Використавши дані таблиці та характеристики автоматичного вимикача, запропонуйте кілька варіантів одночасного під'єднання до

мережі електричних приладів. Відповідь підтвердьте математичними розрахунками.

Електричний прилад	Потужність
Холодильник	200 Вт
Електричний водонагрівач	2,2 кВт
Електричний чайник	1,6 кВт
Пральна машина	2,5 кВт
Телевізор	170 Вт
LED-лампа (4 шт.)	15 Вт (одна лампа)
Портативна електрична плита з двома конфорками	3,5 кВт
Праска	2 кВт
Мікрохвильова піч	2 кВт
Фен для волосся	1,8 кВт

Електромагнітні явища

§ 1. Магнітні явища. Постійні магніти. Взаємодія магнітів. Магнітне поле. Лінії магнітного поля

Існує китайська легенда, а можливо це й правда, що людина зі зброєю не могла пройти до палацу Ефангун через Ворота материнської любові, виготовлені з чудодійних камінців. А інша оповідка каже, що після чергової подорожі навколо світу один мандрівник придбав п'ять холодильників. І все заради НИХ. Мабуть, ви вже здогадалися, що ці чудодійні камінці — магніти, адже ми всі на згадку про подорож привозимо додому магнітик на пам'ять.

Дізнаймося про...

- постійні магніти та їхні властивості;
- взаємодію магнітів;
- магнітне поле;
- лінії магнітного поля.

1. Постійні магніти та їхні властивості

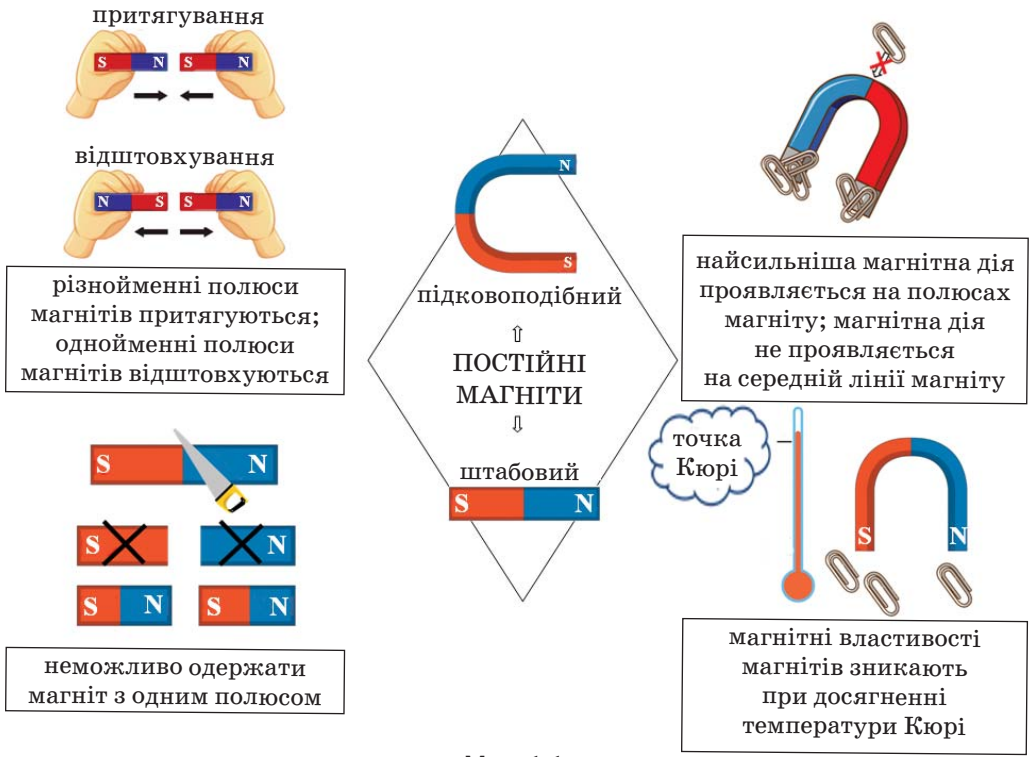
У природі існують речовини, які тривалий час зберігають магнітні властивості. Їх називають **постійними магнітами**.

З давніх-давен люди спостерігали, як шматки незвичного каменю притягують до себе невеликі залізні предмети, а іноді навіть один одного. У давньогрецькому місті Магнесія (на території сучасної Туреччини) таке каміння знаходили просто в землі. Саме від назви цієї місцевості й походить слово «магніт», а камінь називають магнетитом (магнітний залізняк).

Вільям Гільберт

«Батьком магнетизму» називають англійського фізика Вільяма Гільберта, адже він досліджував магніти більше, ніж будь-хто інший. Свою книгу «Про магніт, магнітні тіла й великий магніт — Землю» науковець писав упродовж вісімнадцяти років. У ній сформульовано висновки про найважливіші властивості магнітів (мал. 1.1):

- магніт завжди має два полюси — північний (N) і південний (S);
- не існує магніту з одним полюсом;
- різні частини магніту по-різному притягують залізні предмети: найсильніша магнітна дія проявляється на полюсах магніту, а середня лінія магніту не проявляє магнітної дії;



Мал. 1.1.
Властивості постійних магнітів

- різнойменні полюси магнітів притягуються, а однойменні — відштовхуються;
- у разі нагрівання постійного магніту до певної температури (температури або точки Кюрі) його магнітні властивості зникають.

Якщо тіла, виготовлені із заліза, сталі, чавуну, довго зберігати в магнітному полі постійного магніту, то вони намагнічуються і самі стають магнітами.

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Чому два цвяхи, що притягнулися до північного полюса магніту, розходяться вільними кінцями?
2. Кажуть у народі, що шукати голку в копиці сіна — це марна справа. Чи можна це зробити з погляду фізики?
3. Як за допомогою магнітної стрілки визначити полюси намагніченого сталевого стержня?

2. Магнітне поле та лінії магнітного поля

Взаємодію між магнітами можна пояснити існуванням навколо них магнітних полів. Цих полів ми не бачимо, але їх можна виявити за допо-

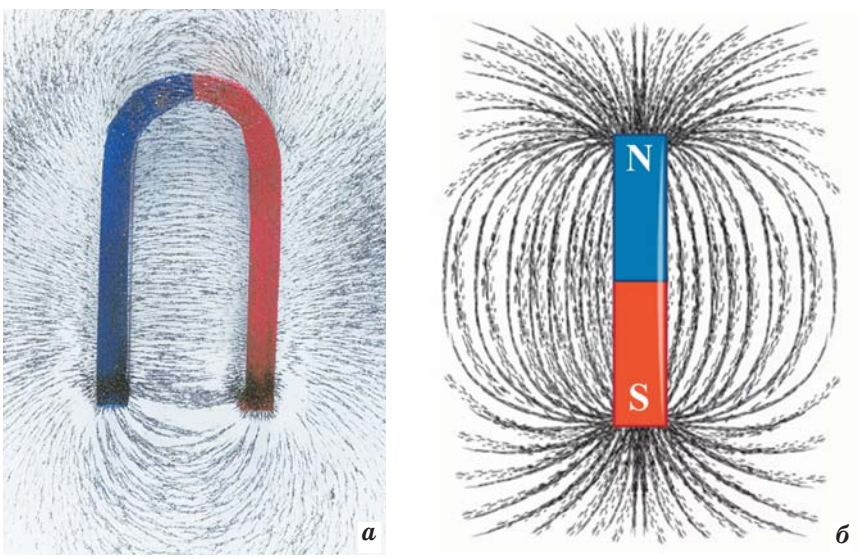
могою різних експериментів. Наприклад, насиплемо на аркуш паперу залізні ошурки (мал. 1.2). Наближаючи до них магніт, спостерігаємо, як ці ошурки починають притягуватися до його полюса навіть без дотику. Це дія магнітного поля. Що ближче магніт до ошурків, то їх притягання сильніше.

Мал. 1.2.
Взаємодія магніту
із залізними ошурками

Отже, ***навколо кожного магніту існує магнітне поле. Що ближче до магніту, то дія поля сильніша.***

Магнітне поле є складовою частиною електромагнітного поля, з властивостями якого ви ознайомитеся в цьому розділі.

Дізнаємося, як це магнітне поле розподілене в просторі. Для цього на аркуші паперу, які вкриті залізними ошурками, покладемо підковоподібний (мал. 1.3, *а*) і штабовий (мал. 1.3, *б*) магніти й легко постукаємо по них олівцем.



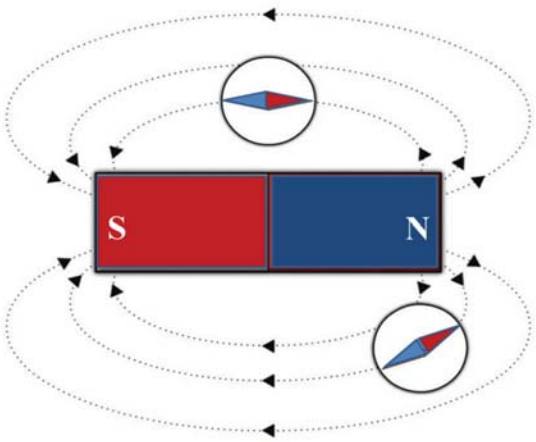
Мал. 1.3.
Лінії магнітного поля підковоподібного (*а*)
та штабового (*б*) магнітів

Бачимо, що ошурки розташовуються не хаотично, а уздовж певних ліній — вони намагнічуються, тобто стають маленькими магнітиками. Так само будуть розташовуватися в магнітному полі легенькі магнітні стрілки. Ці лінії називають **лініями магнітного поля (магнітними лініями).** Вони дають нам уявлення про розподіл у просторі магнітного поля. ***Гус-***

тина цих ліній біля полюсів магніту найбільша, тому дія магнітного поля тут найсильніша.

Лінії магнітного поля мають **напрям.** Його можна встановити експериментально. Для цього використовують легенькі магнітні стрілки, які вільно обертаються на вістрі голки. У магнітному полі штабового магніту (мал. 1.4) їхні осі розташовуються вздовж магнітних ліній поля.

Напрям, який указує північний полюс магнітної стрілки в кожній точці поля, прийнято за напрям магнітної лінії магнітного поля.



Мал. 1.4.
Напрям ліній магнітного поля штабового магніту

Лінії магнітного поля — лінії, уздовж яких у магнітному полі розміщуються осі маленьких магнітних стрілок.

Властивості магнітних ліній:

- поза магнітом вони виходять з північного полюса магніту і входять у південний, а всередині магніту напрямлені від південного полюса до північного;
- вони замкнуті;
- ніколи не перетинаються;
- їхня густина найбільша поблизу полюсів.

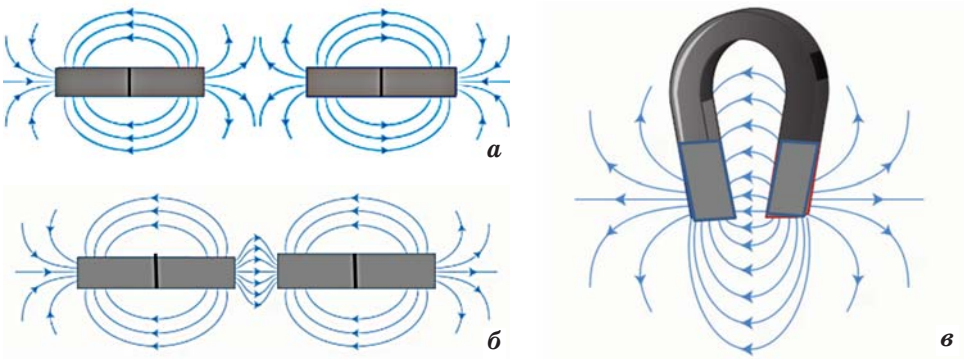
Запам'ятайте

Лінії магнітного поля — лінії, уздовж яких у магнітному полі розміщуються осі маленьких магнітних стрілок.

Перевірте себе

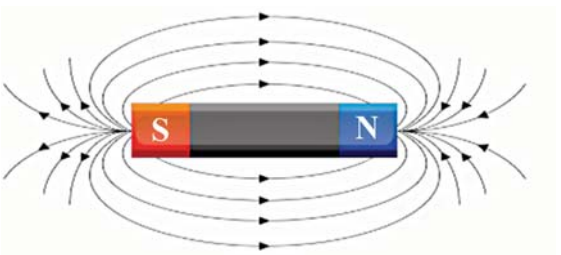
1. Учениця, щоб дістати з коробки невеличку залізну скріпку, скористалася штабовим магнітом. Однак замість однієї скріпки за магнітом потягнувся ланцюжок скріпок. Як це пояснити?

2. На мал. 1.5 зображено лінії магнітних полів постійних магнітів. Визначте їхні полюси.



Мал. 1.5.
Лінії магнітних полів постійних магнітів

3. Учень зобразив лінії магнітного поля штабового магніту, як показано на мал. 1.6. Чи правильно він виконав завдання?



Мал. 1.6.
Лінії магнітного поля штабового магніту

4. Як можна пояснити те, що справний механічний годинник буде показувати неправильний час, якщо до нього кілька разів піднести сильний магніт?
5. Використовуючи різні джерела інформації, підготуйте коротке повідомлення про практичне використання постійних магнітів у побуті.

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Постійний магніт	Permanent magnet
Північний магнітний полюс	North magnetic pole
Південний магнітний полюс	South magnetic pole
Магнітне поле	Magnetic field
Лінії магнітного поля	Magnetic field lines

§ 2. Магнітне поле Землі. Сонячна активність та її вплив на магнітне поле планети Земля. Магнітні явища в атмосфері Землі та космічному просторі

З 28 серпня до 2 вересня 1859 року англійський астроном Річард Керрінгтон спостерігав за Сонцем, яке вкрилося незвично великими плямами. Вони були добре помітні навіть без оптичних приладів. Раптом поверх плям спалахнули дві сліпучі кулі, які швидко збільшувалися. Вони були настільки яскравими, що затьмарювали блиск Сонця. Приблизно за п'ять хвилин кулі зникли.

Через сімнадцять годин ніч над Америкою стала днем. Здавалося, що міста охоплені вогнем. Зелені та малинові спалахи розбудили золотошукачів, які почали готувати сніданок, думаючи, що настав ранок. Телеграфні системи відмовилися працювати по всій Європі й Північній Америці. З апаратів сипалися іскри, жалячи телеграфістів і підпалюючи папір. Що відбувалося у природі, ви дізнаєтеся, прочитавши цей параграф.

Дізнаймося про...

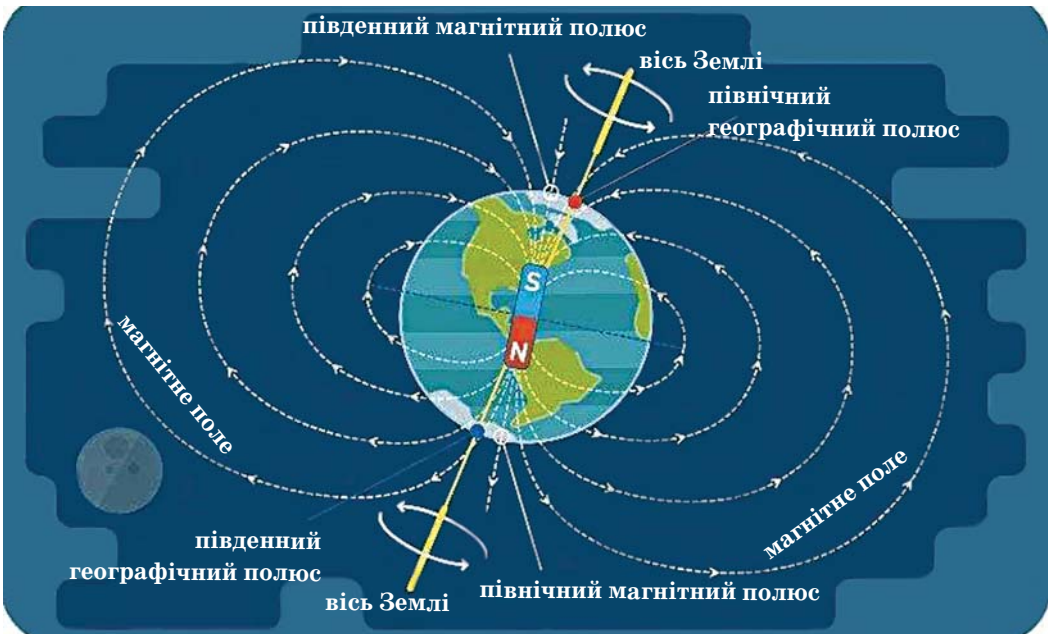
- магнітне поле Землі;
- вплив сонячної активності на магнітне поле Землі;
- прояви магнітних явищ.

1. Магнітне поле Землі

Понад 2000 років тому мешканці Давнього Китаю виявили, що підвішений магнетит, який міг вільно обертатися, завжди встановлювався в певному напрямі. Цей факт свідчив про те, що навколо Землі існує магнітне поле, уздовж ліній якого розміщуються магнітні стрілки, а магнетит виконував їхню функцію. На цьому явищі ґрунтується принцип роботи сучасного компаса. Основною його частиною є магнітна стрілка, яка обертається на вістрі голки (мал. 2.1).

Мал. 2.1.
Компас

Земля має дві пари полюсів: географічні та магнітні. Магнітне поле Землі, яке генерується, зокрема, розплавленим ядром планети, легко уявити, змоделювавши великий штабовий магніт усередині неї (мал. 2.2).



Мал. 2.2.
Магнітне поле Землі

Магнітна вісь відхилена приблизно на 11,5 градуса від географічної так, що ***південний магнітний полюс розміщений поблизу північного географічного і зараз перебуває в Північній Канаді, а північний магнітний полюс — поблизу південного географічного в Антарктиді.***

На відміну від географічних, магнітні полюси Землі не є фіксованими та мають тенденцію до змін.

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Магнітне поле Землі діє на стрілку компаса. А чи створює стрілка компаса магнітне поле навколо себе?
2. Чому корпуси компасів виготовляють з пластмаси, міді, алюмінію та інших матеріалів, а не із заліза?
3. У якому місці Землі магнітна стрілка обома кінцями показує на північ?

2. Магнітні явища в атмосфері Землі й космічному просторі

Наша захисна магнітна «бульбашка», відома як магнітосфера, захищає нас від шкідливого впливу сонячного вітру, який виникає під час підвищеної сонячної активності. У цей час з поверхні Сонця в космічний простір відбувається викид великої кількості заряджених частинок (електронів, протонів тощо). Унаслідок цього змінюється магнітне поле Землі й виникають **магнітні бурі**.

Магнітні бурі — короткочасні сильні збурення магнітного поля Землі, спричинені сонячною активністю.

Під час особливо сильних «космічних погодних явищ» магнітне поле Землі порушується, і це може призвести до широкомасштабних відключень радіо та електроенергії, а також наражати на небезпеку астронавтів і супутники, що обертаються на навколоземній орбіті.

Так, 4 лютого 2022 року компанія SpaceX запустила 49 супутників у рамках інтернет-проєкту Starlink Ілона Маска, більшість із яких згоріла в атмосфері через кілька днів. Причиною цієї невдачі вартістю понад 50 мільйонів доларів стала геомагнітна буря, спричинена Сонцем.

Менш руйнівним і водночас красивим побічним ефектом збурень магнітосфери є **полярне сяйво** над полярними регіонами Землі (мал. 2.3). Це явище відоме як північне сяйво (aurora borealis) у Північній півкулі та південне сяйво (aurora australis) у Південній півкулі. Сліпучі полярні сяйва виникають унаслідок взаємодії йонів космічного випромінювання з атомами кисню та азоту в атмосфері Землі.

Мал. 2.3.
Полярне сяйво

Магнітні бурі — це явище короткочасне. Проте на Землі є місцевості, у яких напрям магнітної стрілки постійно відхилений від напряму магнітної лінії Землі. Такі місцевості називають районами **магнітної аномалії.**

Одна з магнітних аномалій в Україні — Кременчуцька магнітна аномалія (Кременчуцький залізорудний район), розташована на лівому березі річки Дніпро в Полтавській області. Вона спричинена великими покладами залізної руди.

Земля — не єдина планета Сонячної системи, яка має магнітне поле. Науковці та науковиці стверджують, що магнітні поля Юпітера, Сатурна, Урана й Нептуна значно сильніші за магнітне поле Землі, хоча механізм утворення цих полів ще не цілком вивчений.

Є також планети, яким не пощастило мати захисний магнітний шар, — Марс і Венера. Марсу не вистачає внутрішнього тепла та рідкого металічного середовища в ядрі, необхідних для створення магнітного поля. А Венера має рідке металічне середовище в ядрі, але обертається недостатньо швидко, щоб створювати магнітне поле. Дослідження свідчать, що й Місяць не має магнітного поля.

Запам'ятайте

Південний магнітний полюс розміщений поблизу північного географічного полюса.

Північний магнітний полюс розміщений поблизу південного географічного полюса.

Магнітні бурі — короткочасні сильні збурення магнітного поля Землі, спричинені сонячною активністю.

Перевірте себе

1. Чому сталеві віконні ґрати з часом намагнічуються?
2. Чому кораблі для дослідження магнітного поля Землі будують не зі сталі, а з дерева, і для кріплення їхніх деталей використовують шурупи з латуні та бронзи?
3. Туристка знайшла в лісі сталеве полотно ножівки. Як можна його використати для визначення напрямку «північ — південь»?
4. Про що свідчать значні зміни напрямку, на який указує магнітна стрілка, під час подорожі містом Кривий Ріг?
5. Використовуючи різні джерела, підготуйте інформацію на тему «Магнітні бурі та здоров'я людини: наукові факти й міфи».

Обдумайте, змоделюйте, зробіть...

Складіть алгоритм та виготовте модель компаса з підручних матеріалів. Випробуйте його дію.

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Географічний полюс	Geographic pole
Вісь Землі	Earth's axis
Магнітні бурі	Magnetic storms
Магнітні аномалії	Magnetic anomalies

§ 3. Вплив магнітного поля на живі організми

Сучасній людині важко заблукати, бо вона користується мобільним телефоном та GPS-навігатором. А що ж робити комахам, рибам, птахам, тваринам? У них немає ні гаджетів, ні географічних карт, ні компасів. Але...

Дізнаймося про...

- способи орієнтації в магнітному полі Землі представників флори й фауни;
- власне магнітне поле людини;
- використання магнітного поля в медицині.

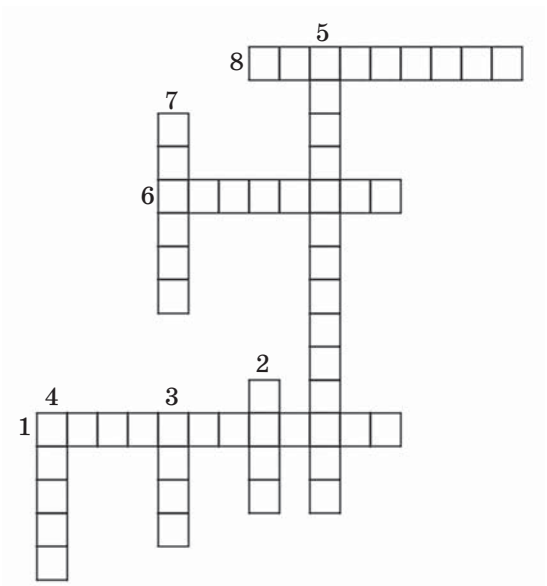
Пригадайте вивчене

За горизонталлю:

1. Як взаємодіють різнойменні полюси магнітів?
6. Як називають камінь, що проявляє природні магнітні властивості?
8. На який географічний полюс завжди вказує північний полюс магнітної стрілки?

За вертикаллю:

2. Прізвище науковця, чиїм іменем названа температура, за якої зникають магнітні властивості речовини.
3. Частина земної кулі, у якій генерується магнітне поле Землі.
4. Ділянка найсильнішої дії магніту.
5. Як взаємодіють однойменні полюси магнітів?
7. Прилад для орієнтування на місцевості.



1. Магнітне поле Землі й живі організми

В організмі багатьох істот, зокрема медоносних бджіл і форелі, дослідники / дослідниці знайшли мікроскопічні кристали магнетиту. Клітини, що містять ці кристали, з'єднані з нервовою системою.

Тому бджоли і форель здатні відчувати магнітні поля. А ще бджоли керуються магнітним полем Землі під час будівництва сот.

До магнітних полів чутливі й інші комахи. У земному магнітному полі орієнтуються молюски, черв'яки й навіть водорості. «Вбудовані» природою для орієнтування магнетити дають змогу птахам не тільки вдень, а й у темну ніч, за великої хмарності, коли абсолютно нічого не видно, пролітати тисячі кілометрів і безпомилково потрапляти в призначений пункт, орієнтуючись по магнітному полю планети (мал. 3.1).

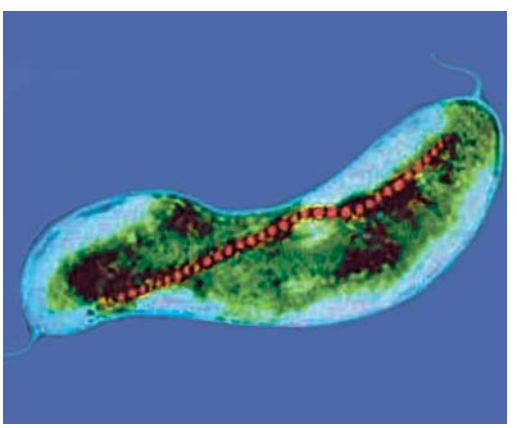
Мал. 3.1.
Орієнтація птахів
у магнітному полі Землі

Однією з причин викидання китів на узбережжя вважають збурення в магнітному полі Землі, зумовлені рухами тектонічних плит на дні океану та змінами в ядрі Землі.

Самець і самка імператорських пінгвінів (мал. 3.2) перебувають у морі досить далеко одне від одного. Проте з настанням гніздового періоду птахи переміщаються в одному напрямку й зустрічаються. Тобто вони здатні «бачити» лінії магнітного поля Землі та використовувати цю інформацію для прокладання курсу.

Дослідники / дослідниці також виявили магнетит в одному з видів бактерій (мал. 3.3), що живуть у відкладеннях на морському дні. Коли з дна піднімається мул, магнітне поле Землі діє на магнетит бактерій, змушуючи їх осідати на дно. Без такого пристосування бактерії не потрапили б «додому» й загинули б.

Мал. 3.2.
Імператорські пінгвіни



Мал. 3.3.
Магнітотоксична бактерія

Людське тіло також має власне магнітне поле, яке впливає на кровоносну систему, ефективність перенесення кисню кров'ю, транспортування поживних речовин, але найчутливішою до магнітного поля є нервова система. На магнітні поля реагують також ендокринна, серцево-судинна, дихальна, кістково-м'язова й травна системи, органи чуття та кров.

2. Використання магнітного поля в медицині

У сучасному світі магніти широко застосовують у медицині — від діагностики, що рятує життя, до нових терапевтичних методів лікування.

Одним з найпоширеніших методів сучасної діагностики є МРТ (магнітно-резонансна томографія). Це метод дослідження, який створює точні зображення органів, кісток та інших тканин людського тіла для медичної діагностики та лікування за допомогою радіохвиль і сильних магнітних полів (мал. 3.4).

Мал. 3.4. Магнітно-резонансний томограф

Використовують МРТ із 70-х років XX ст. Відтоді було врятовано тисячі життів, оскільки аномальні тканини та пухлини можна виявити за допомогою цього методу на ранній стадії.

У 2023 році дослідники / дослідниці розробили мікророботи для «доставляння» ліків у певні органи людського організму. Виготовлені вони з біорозкладного матеріалу й модифіковані за допомогою магнітної металоорганічної основи. Завдяки магнітній навігації та націлюванню ці мікророботи продемонстрували значне покращення ефективності протипухлинного лікування.

Обдумайте, змоделюйте, зробіть...

Напишіть есе-фентезі на тему «Якби Земля втратила своє магнітне поле» та створіть комікс до нього.

§ 4. Дослід Ерстеда. Магнітне поле провідника зі струмом

У книзі «Грім і блискавка» французького науковця Франсуа Араго описано, як у липні 1681 року корабель «Квік» був уражений блискавкою. Мореплавці вміли орієнтуватися по зорях і з настанням ночі з'ясували, що всі три компаси, які були на борту корабля, показували неправильний курс, причому всі — різний. Що з ними сталося?

Дізнаймося про...

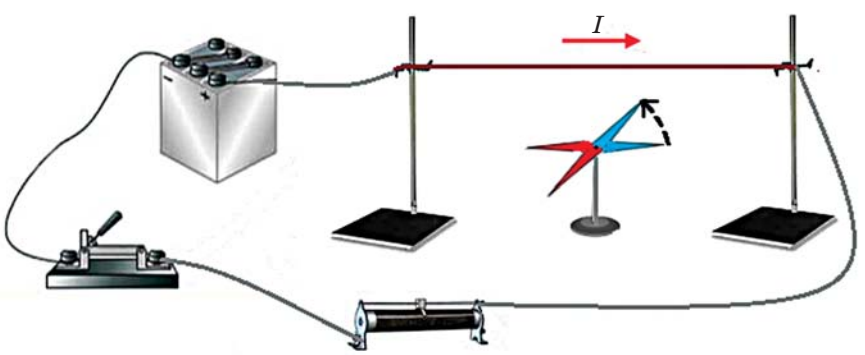
- магнітну дію струму;
- взаємодію прямолінійних провідників зі струмом;
- магнітне поле прямого провідника зі струмом.

1. Дослід Ерстеда

У 1820 році данський фізик Ганс-Крістіан Ерстед експериментально виявив, що навколо провідника зі струмом виникає магнітне поле. Він демонстрував студентам дослід (мал. 4.1), що підтверджував теплову дію струму. Під час експерименту на столі під провідником зі струмом була магнітна стрілка. Один із студентів звернув увагу професора на те, що в момент замикання електричного кола стрілка відхилялася і встановлювалася перпендикулярно до провідника. Це вказувало на те, що між провідником зі струмом та магнітною стрілкою відбувається взаємодія.

Ганс-Крістіан Ерстед

Якщо напрям струму в провіднику змінювався на протилежний, то стрілка поверталася на кут 180°. Так було відкрито орієнтувальну дію провідника зі струмом на постійний магніт.



Мал. 4.1. Схема досліду Ерстеда

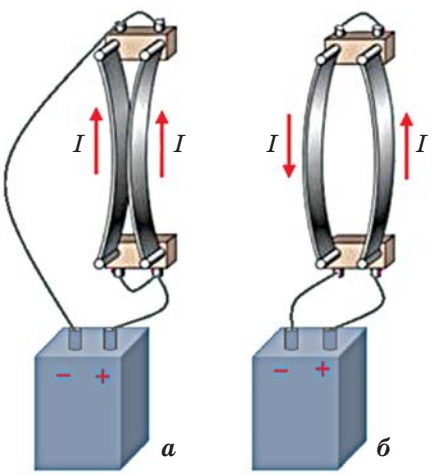
Отже, з досліду Ерстеда можна зробити висновок: ***навколо будь-якого провідника зі струмом (тобто навколо рухомих електричних зарядів) виникає магнітне поле. Воно діє на магнітну стрілку, відхиляючи її. Електричний струм і магнітне поле невіддільні одне від одного.***

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Які дії струму проявляються під час його проходження в провіднику? А яку з них спостерігав Ерстед під час свого експерименту?
2. Як можна дізнатися, чи проходить у провіднику електричний струм, не використовуючи амперметр?

2. Взаємодія прямих провідників зі струмом

Натхненний результатом досліду Ерстеда, французький фізик Андре-Марі Ампер дослідив взаємодію двох паралельно розташованих провідників зі струмом. Він виявив, що якщо провідники з'єднати паралельно (мал. 4.2, *а*), то струми проходять у них в одному напрямку і **провідники притягуються.** А якщо провідники з'єднати послідовно (мал. 4.2, *б*), то струми проходять у протилежному напрямку і **провідники відштовхуються.**



Мал. 4.2.
Схема досліду Ампера

Як відомо, електрична взаємодія виникає за наявності зарядів на провідниках і залежить від цих зарядів. Однак загалом провідники зі струмами електрично нейтральні. Тому взаємодія між провідниками зі струмом має інший, не кулонівський характер. Цю взаємодію назвали **магнітною.** Отже, ***притягання та відштовхування провідників зі струмом є наслідком дії магнітних сил.***

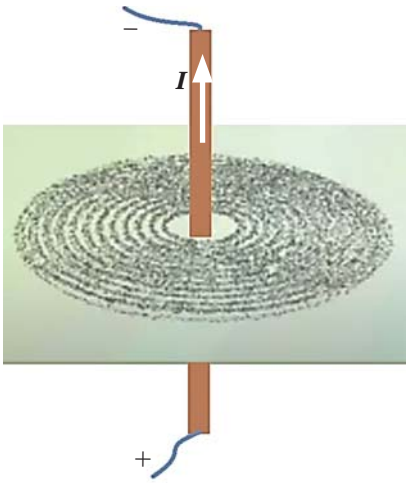
3. Магнітне поле прямого провідника зі струмом

Відомо, що магнітне поле можна зобразити графічно за допомогою магнітних ліній. З'ясуємо, як розташовані магнітні лінії магнітного поля провідника зі струмом. Щоб отримати таку картину, прямий провідник пропускаємо крізь аркуш картону, на який заздалегідь насипаємо залізні ошурки. Під'єднуємо прямий провідник до джерела струму і спостерігаємо, як дрібні залізні ошурки, раніше розташовані хаотично, розміщуються навколо провідника по концентричних колах (мал. 4.3).

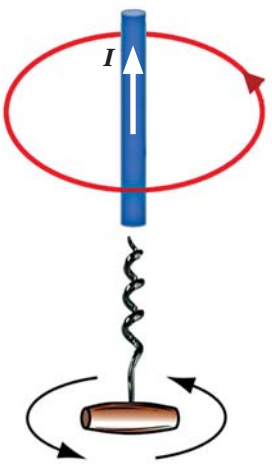
Отже, ***лінії магнітного поля прямого провідника зі струмом*** — це замкнені криві, які охоплюють провідник.

Напрям ліній магнітного поля провідника зі струмом можна визначити за допомогою ***правила свердлика:*** *якщо свердлик закручувати в напрямі проходження струму в провіднику, то напрям обертання його ручки покаже напрям ліній магнітного поля* (мал. 4.4).

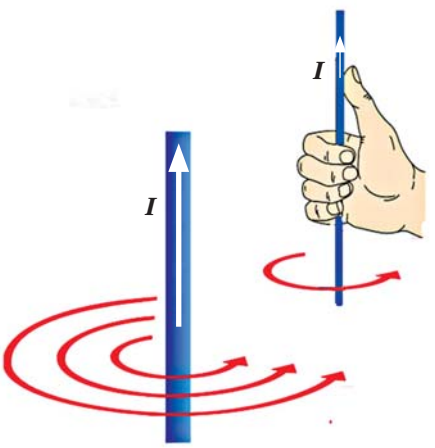
Також для визначення напряму ліній магнітного поля провідника зі струмом використовують ***правило правої руки:*** *якщо правою рукою «обхопити» провідник так, щоб великий палець показував напрям струму в прямому провіднику, то чотири зігнуті пальці вкажуть напрям ліній магнітного поля* (мал. 4.5).



Мал. 4.3.
Графічне зображення магнітного поля прямого провідника зі струмом



Мал. 4.4.
Визначення напряму ліній магнітного поля провідника зі струмом за допомогою правила свердлика



Мал. 4.5.
Визначення напряму ліній магнітного поля провідника зі струмом за допомогою правила правої руки

Примітка

Якщо провідник розташований перпендикулярно до площини малюнка й сила струму в ньому напрямлена **від нас**, то напрям струму в провіднику позначають «✕». Якщо провідник розташований перпендикулярно до площини малюнка й сила струму в ньому напрямлена **до нас**, то напрям струму в провіднику позначають «•».

Запам'ятайте

Якщо у двох паралельних провідниках струми проходять в одному напрямку, то ***провідники притягуються***.

Якщо у двох паралельних провідниках струми проходять у протилежних напрямках, то ***провідники відштовхуються***.

Лінії магнітного поля прямого провідника зі струмом — замкнені криві, які охоплюють провідник.

Правило свердлика: якщо свердлик закручувати в напрямі проходження струму в провіднику, то напрям обертання його ручки покаже напрям ліній магнітного поля.

Правило правої руки: якщо правою рукою «обхопити» провідник так, щоб великий палець показував напрям струму в прямому провіднику, то чотири зігнуті пальці вкажуть напрям ліній магнітного поля.

Перевірте себе

1. Визначте напрям ліній магнітного поля провідника зі струмом (мал. 4.6).

Мал. 4.6. Провідник зі струмом

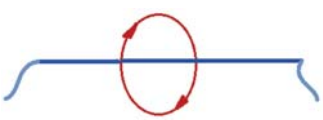
2. На мал. 4.7 зображено напрям ліній магнітного поля провідника зі струмом. Визначте напрям струму в провіднику, що показаний сірим кружечком (переріз провідника).

Мал. 4.7. Лінії магнітного поля провідника зі струмом

3. На мал. 4.8 зображено провідник зі струмом. Як розташується магнітна стрілка, поміщена в точку A? У точку B?

Мал. 4.8. Прямий провідник зі струмом

4. Чи взаємодіють між собою проводи тролейбусної лінії, якщо по них проходить постійний струм? Якщо так, то яким чином? Відповідь обґрунтуйте.
5. На мал. 4.9 зображено напрям лінії магнітного поля прямого провідника зі струмом. Визначте, який кінець провідника під'єднано до додатного полюса джерела струму, а який — до від'ємного.



Мал. 4.9. Лінія магнітного поля прямого провідника зі струмом

§ 5. Дія магнітного поля на провідник зі струмом та рухомі заряди

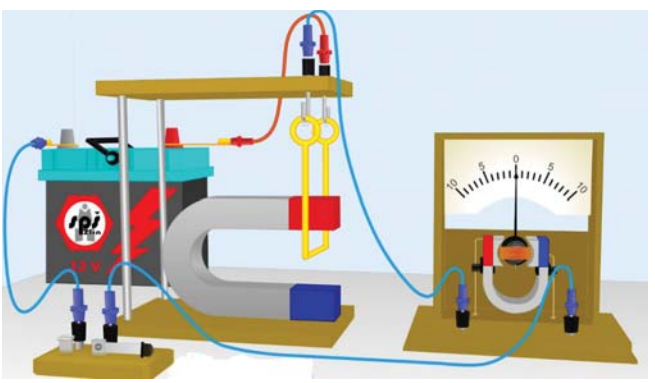
Уявіть, що ви заходите в сучасний трамвай, натискаєте кнопку — і вагон плавно й без гуркоту рушає вперед. Що ж змушує такий важкий транспорт рухатися? В електромоторі всередині — лише мідні дроти та магніти. Але між ними відбувається щось неймовірне: магнітне поле починає «працювати» з електричним струмом і виникає сила, яка приводить у рух цілі механізми.

Дізнаймося про...

- дію магнітного поля на прямий провідник зі струмом;
- силу Ампера;
- дію магнітного поля на рухомі заряди.

1. Дія магнітного поля на прямий провідник зі струмом

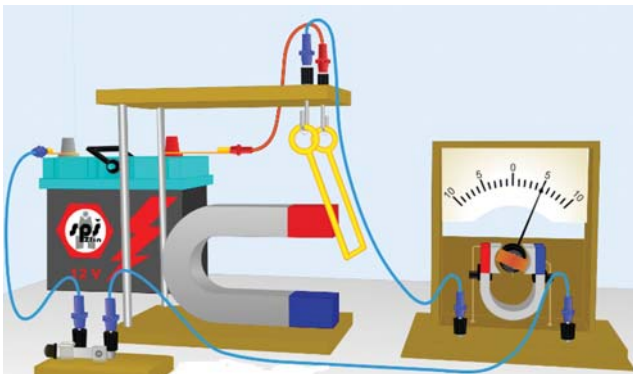
Ви вже знаєте, що навколо провідника зі струмом виникає магнітне поле, яке діє на магнітну стрілку. Воно повертає її так, що стрілка розташовується перпендикулярно до провідника, по якому проходить електричний струм. Дослідимо це явище. Складемо електричне коло із джерела струму, підвішеного на гнучких проводах прямого провідника, гальванометра, ключа та постійного підковоподібного магніту (мал. 5.1).



Мал. 5.1. Провідник у магнітному полі

Провідник уміщений між полюсами підковоподібного магніту, тобто перебуває в магнітному полі. Якщо електричне коло розімкнуте, то через провідник електричний струм не проходить і магнітне поле на нього не діє. Під час замикання кола через провідник проходить електричний струм і провідник починає рухатися (мал. 5.2). Якщо електричне коло розімкнути, то провідник повертається у вихідне положення. Отже, на провідник зі струмом з боку магнітного поля діє сила. Цю силу називають **силою Ампера.**

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



Мал. 5.2.
Провідник
зі струмом
у магнітному полі

Поміркуйте і дайте відповідь

1. У який спосіб можна змінити напрям руху провідника зі струмом в описаному досліді?

2. Сила Ампера

Для характеристики силової дії магнітного поля використовують векторну фізичну величину, яку називають **індукцією магнітного поля** (вектор індукції магнітного поля $\vec{B}$). Одиницею вимірювання індукції магнітного поля в системі СІ є ***тесла*** **(Тл).**

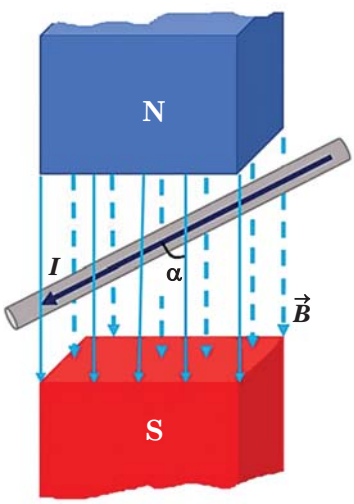
Чим сильніше магнітне поле магніту і більша сила струму в провіднику, тим більшою є сила Ампера. Залежить вона ще від довжини провідника та його розміщення в магнітному полі.

Силу Ампера можна визначити за формулою:

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

де B — індукція магнітного поля (точніше модуль магнітної індукції), I — сила струму в провіднику, l — довжина провідника, на яку діє магнітне поле, α — кут між напрямом вектора магнітної індукції та напрямом струму в провіднику (мал. 5.3).

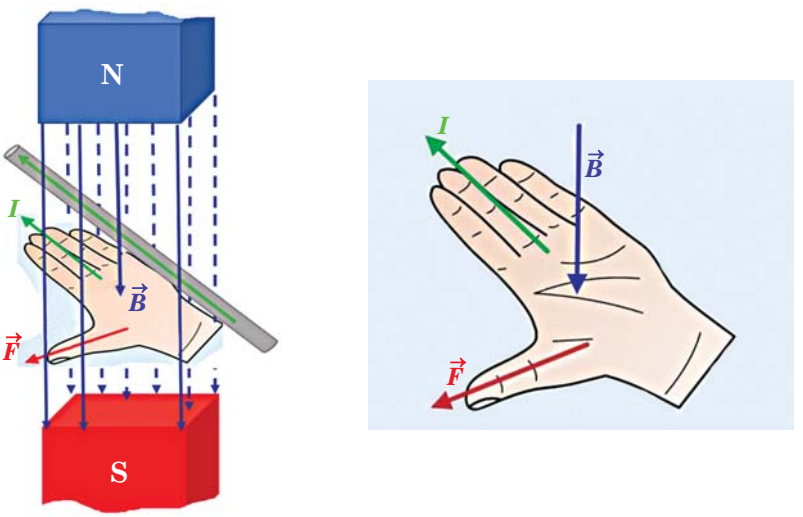
За напрямок вектора індукції магнітного поля приймають напрямок, який вказує північний полюс магніту (тобто лінії вектора магнітної індукції виходять з північного полюса магніту).



Мал. 5.3.
Прямий провідник
зі струмом
у магнітному полі

Якщо провідник зі струмом у магнітному полі розташований перпендикулярно до вектора магнітної індукції, то сила Ампера буде максимальною ($\sin 90° = 1$), а якщо паралельно — дорівнюватиме нулю ($\sin 0° = 0$).

Напрям сили Ампера можна визначити за **правилом лівої руки:** ***якщо ліву руку розмістити так, щоб лінії індукції магнітного поля входили в долоню, чотири витягнуті пальці вказували напрям струму в провіднику, то відведений на 90° великий палець укаже напрям сили, що діє на провідник з боку магнітного поля*** (мал. 5.4).



Мал. 5.4.
Визначення напряму сили Ампера за правилом лівої руки

Поміркуйте і дайте відповідь

1. За допомогою правила лівої руки перевірте, чи в правильному напрямку відхилився провідник зі струмом у магнітному полі (мал. 5.2).
2. На основі здобутих знань поясніть взаємодію двох паралельних провідників зі струмом (мал. 4.2).

3. Дія магнітного поля на рухомі заряди

Оскільки електричний струм зумовлений упорядкованим рухом заряджених частинок, то дія магнітного поля на провідник зі струмом є наслідком дії поля на рухомі заряджені частинки всередині провідника.

Силу, що діє на рухому заряджену частинку з боку магнітного поля, називають ***силою Лоренца*** на честь нідерландського фізика Генріка Лоренца (детальніше про неї ви дізнаєтеся в старших класах). Він досліджував рух заряджених частинок в електричному та магнітному полях.

Силу Лоренца використовують у прискорювачах заряджених частинок — пристроях, за допомогою яких досліджують властивості найдрібніших частинок речовини (мал. 5.5). У сучасних прискорювачах заряджені частинки, розігнані електричним полем до швидкостей, близьких до швидкості світла, рухаються по колу дуже великого радіуса.

Мал. 5.5.
Прискорювач заряджених частинок (Національний музей науки в Лондоні)

4. Приклад розв'язування задачі

Задача. Визначте модуль індукції магнітного поля, що діє на провідник, довжина активної частини якого дорівнює 5 см. По провіднику проходить струм 25 А. З боку магнітного поля на провідник зі струмом діє сила 50 мН. Вектор магнітної індукції перпендикулярний до напряму струму в провіднику.

Дано:	СІ		Розв'язання:
$I = 25$ А		$F_A = BIl\sin\alpha$	$B = \dfrac{0{,}05\ \text{Н}}{25\ \text{А} \cdot 0{,}05\ \text{м} \cdot \sin 90^\circ} =$
$F_A = 50$ мН	0,05 Н	$B = \dfrac{F_A}{Il\sin\alpha}$	$= \dfrac{0{,}05\ \text{Н}}{25\ \text{А} \cdot 0{,}05\ \text{м} \cdot 1} = 0{,}04$ Тл.
$l = 5$ см	0,05 м		
$\angle\alpha = 90^\circ$			
B — ?			

Відповідь: $B = 0{,}04$ Тл.

З робочої формули, отриманої в розв'язанні задачі, бачимо, що

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

Запам'ятайте

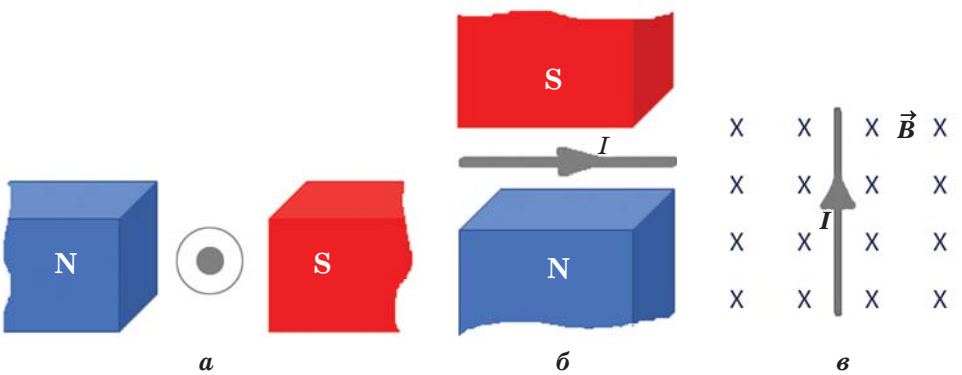
Сила Ампера — сила, з якою магнітне поле діє на провідник зі струмом, уміщений у це поле.

Правило лівої руки: якщо ліву руку розмістити так, щоб лінії індукції магнітного поля входили в долоню, чотири витягнуті пальці вказували напрям струму в провіднику, то відведений на 90° великий палець укаже напрям сили, що діє на провідник з боку магнітного поля.

Сила Лоренца — сила, що діє на рухому заряджену частинку з боку магнітного поля.

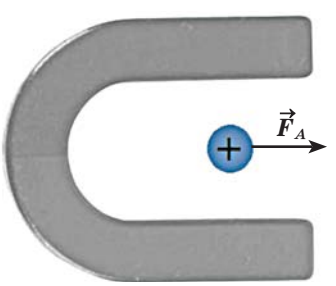
Перевірте себе

1. Розпізнайте неправдиву інформацію.
   На вміщений у магнітне поле провідник зі струмом діє сила Лоренца. Напрям сили Ампера визначають за правилом правої руки. Якщо в магнітному полі розташувати провідник зі струмом перпендикулярно до вектора магнітної індукції, то сила Ампера буде дорівнювати нулю. Якщо змінити напрям струму в провіднику, уміщеному в магнітне поле, то напрям сили Ампера зміниться на протилежний.
2. Визначте максимальну силу, з якою магнітне поле діє на провідник зі струмом, довжина активної частини якого дорівнює 10 см. По провіднику проходить струм 50 А. Індукція магнітного поля дорівнює 10 мТл.
3. Визначте напрям сили Ампера, що діє на провідник зі струмом, уміщений у магнітне поле (мал. 5.3).
4. На мал. 5.6 зображені провідники зі струмом у магнітному полі. Визначте напрям сили Ампера в кожному випадку.



Мал. 5.6.
Провідники зі струмом у магнітному полі

5. На мал. 5.7 зображено прямий провідник зі струмом, уміщений у магнітне поле підковоподібного магніту. Визначте полюси магніту.
6. Провідник довжиною 10 см і масою 2 г розміщений горизонтально в магнітному полі. Сила струму в провіднику дорівнює 10 А. Визначте модуль індукції магнітного поля, у яке треба помістити цей провідник, щоб сила тяжіння врівноважувалася силою Ампера.



Мал. 5.7.
Провідник зі струмом у магнітному полі

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Сила Ампера	Ampere force
Вектор індукції магнітного поля	Induction vector of a magnetic field
Сила Лоренца	Lorentz force

§ 6. Магнітні властивості речовин та їх застосування

У музеї науки проходила інтерактивна виставка. Один із працівників привернув увагу групи дітей дивним експериментом: він підніс магніт до картонної коробочки — і вона раптом прилипла до нього.

— Ого, — здивувалися діти, — як це магніт притягує картон?

Одна з дівчаток, Софія, вирішила перевірити магніт ще раз. Вона взяла той самий магніт і спробувала підняти невеликий блискучий моток дроту, що лежав поруч. Але не вдалося — дріт навіть не ворухнувся. Що сталося? Чому картонну коробку магніт підняв, а металевий дріт — ні?

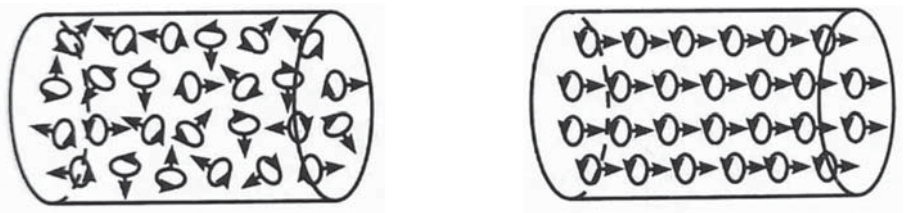
Дізнаймося про...

- гіпотезу Ампера;
- магнітні властивості речовин;
- температуру Кюрі.

1. Гіпотеза Ампера

Французький фізик Андре-Марі Ампер у 1820 році висловив припущення, що магнітні властивості речовини пов'язані з невидимими коловими електричними струмами, які циркулюють усередині речовини. На той час будову атома ще не було досліджено. Нині вже всім відомо, що ці струми виникають під час руху електронів по своїх орбітах.

Якщо площини, у яких циркулюють ці струми, розміщені хаотично (мал. 6.1, *а*), то магнітні дії струмів взаємно компенсуються і речовина магнітних властивостей не проявляє.



а *б*

Мал. 6.1.
Пояснення магнітних властивостей речовини на основі гіпотези Ампера

Якщо ж речовина проявляє магнітні властивості, то напрями струмів орієнтовані так, що їхні магнітні дії додаються (мал. 6.1, *б*).

2. Магнітні властивості речовин

Кожна речовина має власні магнітні властивості, які визначаються особливістю руху електронів в атомах та їх взаємним розташуванням.

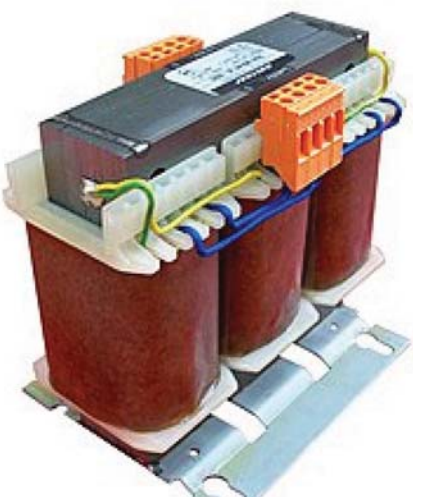
Магнітні властивості речовини проявляються під час вміщення їх у зовнішнє магнітне поле і є результатом взаємодії їхнього власного магнітного поля та зовнішнього магнітного поля.

За дією зовнішнього магнітного поля на вміщені в нього речовини ці речовини можна поділити на діамагнетики, парамагнетики та феромагнетики.

Якщо магнітне поле речовини, уміщеної в зовнішнє магнітне поле, збігається з його напрямом та підсилює його, то таку речовину називають **феромагнетиком**. Феромагнетики тривалий час зберігають свої магнітні властивості без зовнішнього магнітного поля. Зовнішнє магнітне поле буде втягувати феромагнетик, внесений у нього.

До феромагнетиків належать залізо, кобальт, нікель, рідкоземельні речовини та деякі їх сплави. Феромагнетики класифікують на магнітожорсткі та магнітом'які. З магнітожорстких речовин виготовляють постійні магніти, а з магнітом'яких — осердя (мал. 6.2) електромагнітів, трансформаторів та двигунів.

Речовини, які під час вміщення в зовнішнє магнітне поле створюють власне слабке магнітне поле, напрямлене протилежно до зовнішнього поля, і послаб-



Мал. 6.2.
Трансформатор з феромагнітним осердям

люють його, називають **діамагнетиками**. Діамагнетики виштовхуються зовнішнім магнітним полем. До цього класу речовин зараховують золото, срібло, мідь, азот, воду, інертні гази (Гелій, Неон) та ін.

Проміжне місце між феромагнетиками та діамагнетиками займають **парамагнетики**. Це речовини, які під час вміщення в зовнішнє магнітне поле створюють власне слабке магнітне поле, напрямлене в бік зовнішнього магнітного поля, унаслідок чого його незначно посилюють. Парамагнетики також виштовхуються зовнішнім магнітним полем. Перебуваючи в магнітному полі, парамагнетик намагнічується. Після припинення дії зовнішнього поля магнітні властивості зникають. До парамагнетиків належать алюміній, платина, кисень тощо.

3. Температура Кюрі

У середині XIX ст. існувало повір'я, що сила магніту послаблюється від запаху часнику, тому деякі годинникарі, щоб розмагнітити випадково намагнічену годинникову пружину, варили її в часниковому настої.

Чи може речовина втратити свої магнітні властивості? Виявляється, що може. Експериментально встановлено, що під час нагрівання до високих температур феромагнетики втрачають свої магнітні властивості, стають парамагнетиками. Кожен феромагнетик має свою температуру, за якої це відбувається. Її називають **температурою (точкою) Кюрі** на честь французького фізика П'єра Кюрі (табл. 1).

Таблиця 1

Речовина	Температура Кюрі
залізо	770 °C
нікель	358 °C
кобальт	1115 °C
гадоліній	20 °C

Відкриття цієї температурної межі має важливе значення для різних галузей науки й техніки, оскільки допомагає зрозуміти, як поводяться магнітні матеріали за різних умов. Так, щоб зберегти свої магнітні властивості, сталеві компоненти, жорсткі диски й інші магнітні елементи мають працювати за температур, нижчих від температури Кюрі.

Існує ще спосіб розмагнічення феромагнетика — це механічний удар.

Запам'ятайте

Температура (точка) Кюрі — температура, за якої зникають магнітні властивості феромагнетиків.

Перевірте себе

1. Чи можна електромагнітним краном, який не має додаткових захватів, піднімати й переносити розпечені сталеві або чавунні зливки?
2. Нерідко трапляється, що сталеві предмети, коли їх переносить електромагнітний кран, не відпадають від електромагніту навіть після вимикання струму в обмотці. Чим це зумовлено? Що потрібно зробити, аби предмети відпали?
3. У майстерні випадково змішалися мідні та залізні ошурки. Як їх можна відокремити?
4. Чому потрібно враховувати температуру Кюрі при виготовленні магнітних дисків, які використовують для зберігання цифрової інформації в комп'ютерах?
5. Залізо — хороший феромагнетик. Чи може воно стати парамагнетиком?
6. Чи відновлює нагрітий до температури Кюрі постійний магніт свої властивості після охолодження?

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Феромагнетик	Ferromagnet
Діамагнетик	Diamagnetic
Парамагнетик	Paramagnetic
Температура Кюрі	Curie temperature

§ 7. Електромагніти. Магнітна левітація

У 1825 році британський фізик Вільям Стерджен продемонстрував свій винахід — підковоподібний шматок заліза, обмотаний навколо дротом і під'єднаний до електричної батареї. Цей прилад масою лише 200 г був здатний піднімати шматки заліза до 4 кг. Який це винахід? Як ним «керувати»? Чи використовують його сьогодні?

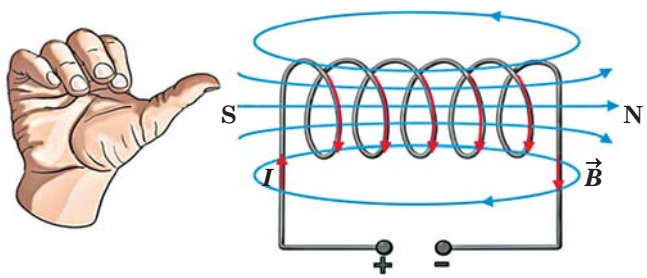
Дізнаймося про...

- властивості котушки зі струмом;
- електромагніти та їх застосування;
- магнітну левітацію, її переваги та недоліки.

1. Властивості котушки зі струмом

Відомо, що навколо прямого провідника зі струмом виникає магнітне поле.

Для підсилення магнітного поля цього провідника можна збільшити силу струму, що проходить по ньому, а також скрутити його в спіраль (створити котушку). ***Що більша кількість витків у котушці, то сильніша дія магнітного поля.*** Якщо таку котушку зі струмом підвісити на тонких і гнучких довгих провідниках, то вона встановиться так, як магнітна стрілка, — буде показувати напрямок «північ — південь». Отже, вона має магнітні полюси, як і постійний магніт. Ці полюси можна визначити **за правилом правої руки:** ***якщо чотири зігнуті пальці правої руки спрямувати за напрямком струму в котушці (умовно охопити котушку на відстані так, щоб чотири пальці були спрямовані за напрямком струму), то відігнутий на 90° великий палець покаже північний полюс котушки*** (мал. 7.1).



Мал. 7.1.
Застосування правила правої руки

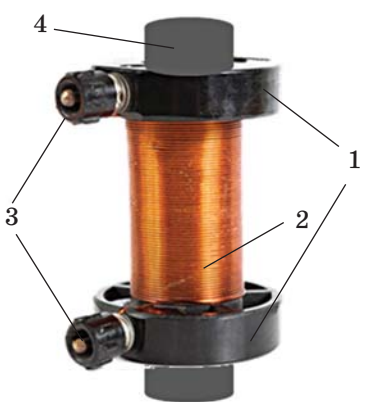
Якщо змінити полярність підключення джерела живлення, то зміниться напрямок протікання струму в котушці й відповідно зміняться полюси котушки.

2. Електромагніти та їх застосування

Якщо в котушку зі струмом вставити осердя з феромагнітного матеріалу, то її магнітне поле підсилиться.

Котушку зі струмом із вставленим у неї залізним осердям називають ***електромагнітом***. Осердя електромагнітів виготовляють з феромагнітних речовин.

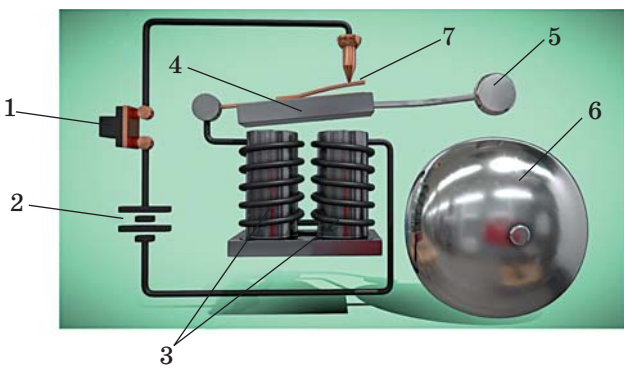
Розглянемо будову електромагніту (мал. 7.2). Він складається з діелектричного каркасу (1), щільно намотаного ізольованого дроту — обмотки (2), клем для під'єднання до джерела струму (3) та осердя з феромагнітного матеріалу (4).



Мал. 7.2.
Будова електромагніту

Електромагніти використовують у багатьох пристроях: підйомних кранах, магнітних сепараторах зерна, електричних дзвінках, реле, телефонах, медичних приладах та ін.

Ознайомимося з принципом роботи електродзвінка (мал. 7.3). У разі натискання на кнопку (1) замикається електричне коло. Унаслідок цього електричний струм протікає від джерела живлення (2) до електромагніту (3) всередині дзвінка. Струм створює магнітне поле навколо котушки електромагніту. Це магнітне поле притягує металеву пластинку (рухому частину) (4), яка закінчується молоточком (5). Молоточок рухається, ударяє по металевій чаші (6), створюючи звук, і відбивається від неї. Контактна пружина (7) розмикає електричне коло. Струм перестає протікати, і магнітне поле електромагніту зникає. Пружина повертає молоточок у вихідне положення. Якщо кнопку дзвінка продовжують утримувати, коло знову замикається, струм знову протікає і весь цикл повторюється, створюючи безперервний звук.



Мал. 7.3.
Модель електродзвінка

Залежно від призначення виготовляють електромагніти різноманітних розмірів, форм та з різною кількістю витків. Вони можуть містити не одну, а декілька котушок (мал. 7.4).

Сучасні електромагніти підіймають вантажі масою декілька десятків тонн (мал. 7.5).

Мал. 7.4.
Електромагніт

Мал. 7.5.
Підіймальний кран з електромагнітом

На початку параграфа ви дізналися, що перший електромагніт міг підняти залізне тіло масою 4 кг. Аж через шість років американцю Джозефу Генрі вдалося створити магніт масою 300 кг, що здатен піднімати вантажі до 1 тонни.

Найбільший у світі електромагніт використовують в експериментах на великому електрон-позитронному колайдері (Швейцарія). Котушка, виготовлена у Швейцарії, має 168 витків, закріплених електрозварюванням на восьмикутній рамі. Вона споживає струм 30 000 А. Розміри електромагніту масою 7810 т перевищують висоту чотириповерхового будинку. На його виготовлення витратили більше металу, ніж на будівництво Ейфелевої вежі.

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Чому в процесі виготовлення електромагніту на осердя намотують ізольований дріт?
2. Як можна регулювати підіймальну силу електромагніту?
3. Які переваги електромагніту порівняно з постійним магнітом?

3. Магнітна левітація та її перспективи

Магнітна левітація (від лат. levitas — легкість) — технологія, за допомогою якої об'єкти утримуються в повітрі лише за підтримки магнітних полів.

Цю технологію застосовують для перевезення пасажирів маглевами (мал. 7.6). ***Маглеви*** — потяги на магнітній підвісці, які, на відміну від традиційних поїздів, під час руху не торкаються поверхонь рейок, уникаючи впливу сили тертя. Оскільки в них використовують потужні магніти або електромагніти для створення магнітного поля, яке піднімає та рухає поїзди вздовж колії без фізичного контакту, це дає можливість розвивати велику швидкість.

Мал. 7.6.
Маглеви

Перша у світі комерційна залізнична лінія на магнітній підвісці — Шанхайський маглев (Китай). Вона працює з квітня 2004 року. Поїздка такою залізницею на відстань 30,5 км триває лише 8 хвилин.

У Японії споруджують високошвидкісну лінію на магнітній подушці протяжністю 515 км. Потяги курсуватимуть з максимальною швидкістю 505 км/год. Тестові запуски заплановано на кінець 2027 — початок 2028 року. Під час перших випробовувань було досягнуто світового рекорду швидкості для залізничного транспорту — 603 км/год.

У США також розробляють високошвидкісний наземний транспорт — поєднання транспорту з лінійним електроприводом і магнітною подушкою. Ідеться про так званий рух у капсулах (мал. 7.7).

Мал. 7.7.
Рух у капсулі

Магнітну левітацію застосовують і в медицині, металургії, космічній галузі, безконтактних системах передавання енергії тощо.

Окрім досягнення великих швидкостей і зменшення до мінімуму впливу сили тертя, магнітна левітація забезпечує комфортну поїздку пасажирам завдяки відсутності вібрацій та шуму, пов'язаних з коченням коліс. Маглеви є екологічно чистим видом транспорту, адже не створюють прямих шкідливих викидів у навколишнє середовище.

Проте використання маглевів має й недоліки. Насамперед це високі витрати на придбання транспортних засобів, будівництво спеціалізованої інфраструктури, адже залізничні колії для звичайних поїздів для них не підходять. А ще маглеви через виникнення сильних магнітних полів створюють загрозу здоров'ю людей, зокрема тих, хто має кардіостимулятори.

Запам'ятайте

Електромагніт — котушка зі струмом із вставленим у неї залізним осердям.

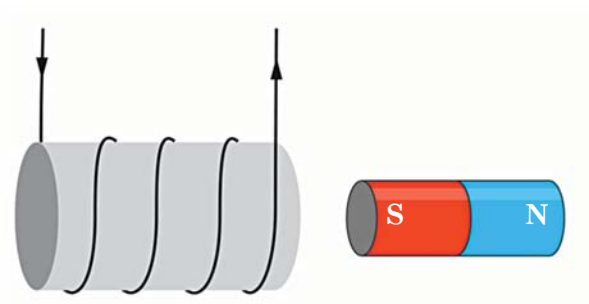
Магнітна левітація — технологія, за допомогою якої об'єкти утримуються в повітрі лише за підтримки магнітних полів.

Перевірте себе

1. Визначте напрям струму в котушці (мал. 7.8).

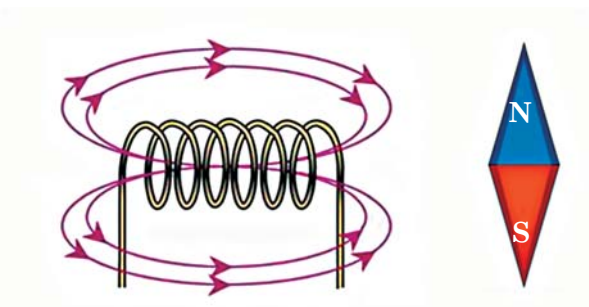
Мал. 7.8.

2. Як будуть взаємодіяти між собою котушка зі струмом та постійний магніт, зображені на мал. 7.9?



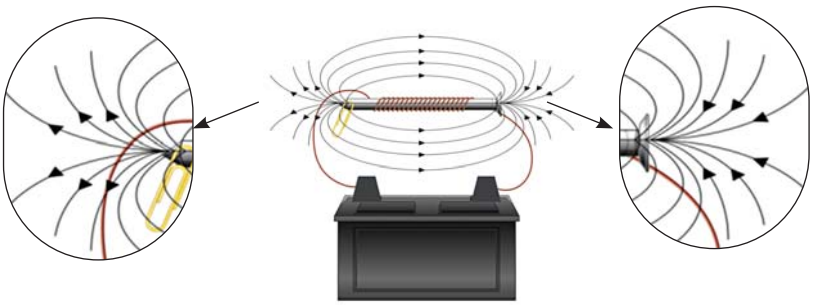
Мал. 7.9.

3. На мал. 7.10 зображене магнітне поле котушки зі струмом. Визначте магнітні полюси котушки та напрямок струму в ній. Установіть розташування магнітної стрілки поблизу правого краю котушки.



Мал. 7.10.

4. На мал. 7.11 зображено котушку зі струмом. Визначте полюси джерела струму.



Мал. 7.11.

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Електромагніт	Electromagnet
Магнітна левітація	Magnetic levitation

Лабораторна робота № 1
СКЛАДАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТУ ТА ВИПРОБОВУВАННЯ ЙОГО ДІЇ

Мета: скласти електромагніт і дослідити його магнітну дію за допомогою компаса.

Обладнання: джерело постійного струму, реостат, ключ, котушка, осердя з феромагнітного матеріалу, з'єднувальні проводи, компас або магнітна стрілка.

Дотримуйтеся правил безпеки життєдіяльності під час роботи!

Хід роботи

1. Накресліть схему електричного кола, що складається з послідовно з'єднаних джерела постійного струму, реостата, ключа й котушки.
2. За схемою складіть електричне коло.
3. Замкніть коло й за допомогою компаса (магнітної стрілки) визначте магнітні полюси котушки.
4. Відсуньте компас уздовж осі котушки на таку відстань, на якій дія магнітного поля котушки на стрілку компаса (магнітну стрілку) незначна.

5. Вставте осердя з феромагнітного матеріалу в котушку і спостерігайте за дією електромагніту на стрілку компаса (магнітну стрілку). Зробіть висновок.
6. За допомогою реостата змінюйте силу струму в колі та спостерігайте за дією електромагніту на стрілку компаса (магнітну стрілку). Зробіть висновок.

Проаналізуйте результати експерименту. Зробіть висновок (що саме досліджували під час виконання лабораторної роботи; у який спосіб можна підсилити магнітне поле котушки зі струмом; де здобуті знання можна використати на практиці).

Додаткове завдання

Чому обмотку котушки електромагніту виготовляють переважно з мідного ізольованого дроту? Запропонуйте спосіб підсилення магнітної дії електромагніту, що використовують на підприємствах для піднімання та перенесення важких металевих предметів. Чи всі металеві предмети можна підняти за допомогою електромагніту?

§ 8. Електродвигуни та їх використання. Електровимірювальні прилади

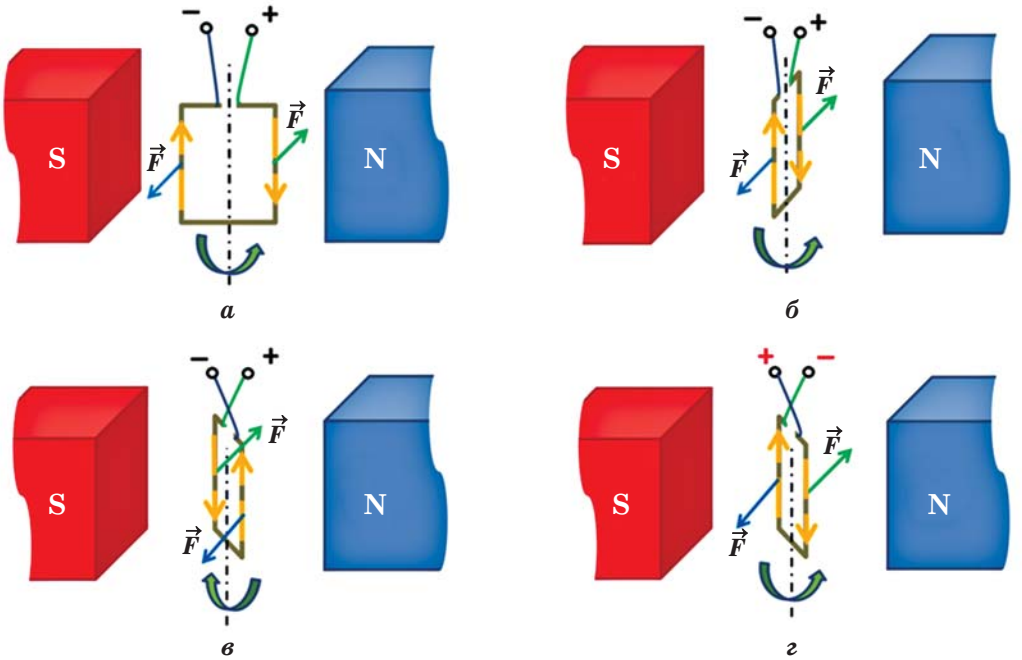
Уявіть свій день без електродвигунів. Не працював би холодильник, не крутився б барабан пральної машини, не їхав би тролейбус, не вмикався б вентилятор чи комп'ютер... Чи вірите ви, що в часи їх винайдення (а це перша половина XIX ст.) електродвигуни вважали неперспективними? Проте вже через декілька десятків років вони практично витіснили парові машини. Чому?

Дізнаймося про...

- обертання рамки зі струмом у магнітному полі;
- будову електродвигуна;
- використання електродвигунів;
- принцип дії амперметра та вольтметра.

1. Рамка зі струмом у магнітному полі

Вам уже відомо, що на прямий провідник зі струмом, розміщений у магнітному полі, діє сила Ампера. Тобто магнітне поле здатне переміщувати такий провідник. А що відбудеться, якщо по підвішеному провіднику, вигнутому у вигляді рамки, пропустити струм і вмістити його в магнітне поле (мал. 8.1)?



Мал. 8.1.
Рамка зі струмом у магнітному полі

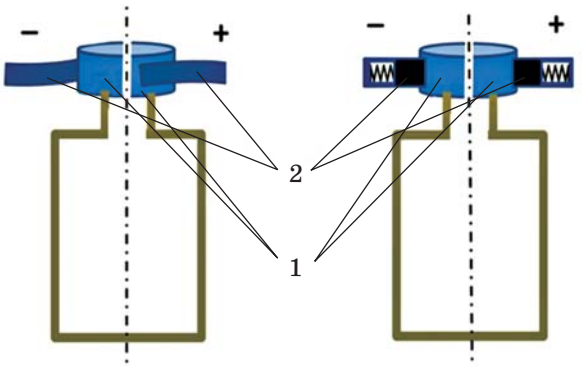
На бічні сторони такої рамки з боку магнітного поля будуть діяти сили Ампера (мал. 8.1, *а*), виникне обертальний момент сил, і рамка повернеться на 90° (мал. 8.1, *б*).

Чи продовжить вона обертальний рух? Ні, бо в разі повертання за інерцією змінюються напрямки сил Ампера, що створює зворотний обертальний момент сил (мал. 8.1, *в*), який поверне рамку в положення, зображене на мал. 8.1, *б*. У такому положенні на всі сторони рамки діють сили Ампера, але їхні моменти відносно вертикальної осі обертання дорівнюють нулю. Магнітне поле тут намагається «розтягнути» рамку.

Що зробити, щоб рамка продовжувала обертатися?

Для цього потрібно, щоб на бічні грані продовжували діяти сили Ампера в тому самому напрямку. А це буде можливим, коли змінити напрямок струму в рамці (мал. 8.1, *г*). Тоді рамка провернеться ще на півоберт. Після цього знову необхідно змінити напрямок струму і цей процес продовжувати з кожним півобертом рамки (перепід'єднувати рамку до джерела постійного струму). Вручну це робити немає сенсу, та й виникне інша проблема — підвідні провідники дуже швидко закрутяться (намотаються один на одного).

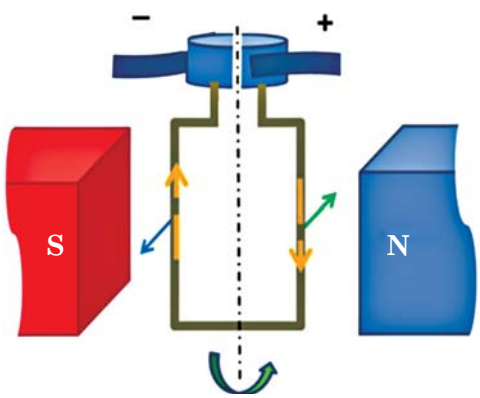
Цю проблему можна подолати за допомогою **колектора** — пристрою, який змінює напрямок струму в рамці. Колектор (мал. 8.2) складається з двох провідних півкілець (1), закріплених на кінцях рамки, і двох



Мал. 8.2.
Колектор

щіток (2) — ковзних контактів, які прилягають до півкілець. Щітки можуть бути у вигляді пружних пластин (мал. 8.2, *а*) або графітних контактів (мал. 8.2, *б*).

Отже, така рамка зі струмом (мал. 8.3) уже може обертатися в магнітному полі доволі тривалий час.



Мал. 8.3.
Рамка зі струмом у магнітному полі

Поміркуйте і дайте відповідь

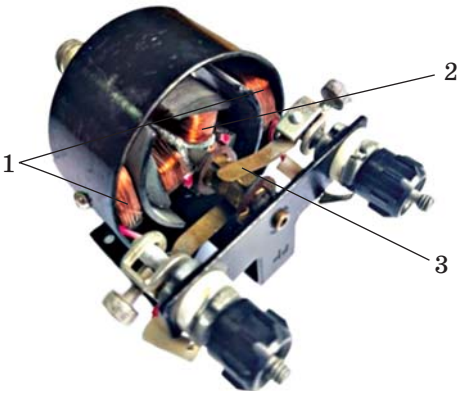
1. Як довго такий пристрій (мал. 8.3) може обертатися? Де на практиці застосовують описане явище?

2. Електричний двигун постійного струму

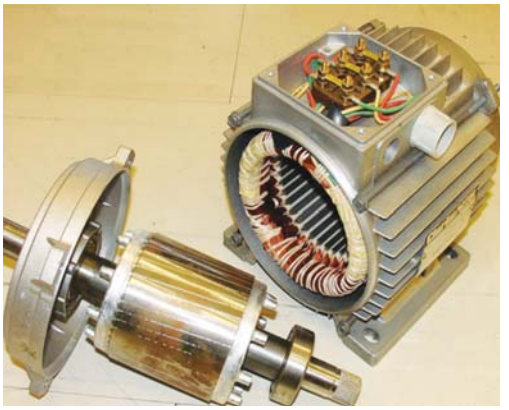
Принцип обертання рамки зі струмом у магнітному полі закладений в основу роботи електродвигуна.

Електричний двигун — пристрій, який перетворює електричну енергію струму на механічну роботу.

На мал. 8.4 ви бачите модель електродвигуна постійного струму. Електродвигун складається зі статора (1), ротора (2) і колектора (3).



Мал. 8.4.
Модель електричного двигуна



Мал. 8.5.
Електричний двигун

Статор створює магнітне поле. Ним може бути постійний магніт, але на практиці для створення магнітного поля використовують електромагніти — нерухомі котушки, по яких пропускають струм (мал. 8.4). **Ротор** — рухома котушка зі струмом. У колекторі цього двигуна роль щіток виконують пружні пластинки, на промислових електродвигунах — графітні ковзні контакти. Колектор сконструйований так, що одна щітка не може одночасно контактувати з обома півкільцями.

На мал. 8.5 зображено промисловий електродвигун. Ротор такого двигуна складається із залізного осердя (якоря) з багатьма пазами, у які вкладено провідники, і статора, що містить багато котушок. Така конструкція ротора сприяє концентрації ліній магнітного поля в ньому, а статора — рівномірному обертанню ротора.

3. Застосування електродвигунів

Електричні двигуни постійного струму широко використовують у різноманітних пристроях, де потрібно електричну енергію струму перетворити на механічну роботу. Вони наявні у всіх сферах нашого життя: від побуту (вентилятори, холодильники, пральні машини тощо) — до транспорту (електровози, тролейбуси, трамваї, електромобілі, електросамокати та ін.).

Це пов'язано з тим, що електродвигуни мають дуже великий коефіцієнт корисної дії — 80–98 %. За такої самої потужності, що й у теплових двигунів, вони мають менші розміри, простіші в обслуговуванні, їх значно легше утилізовувати. До того ж під час роботи вони не забруднюють навколишнього середовища.

Поміркуйте і дайте відповідь

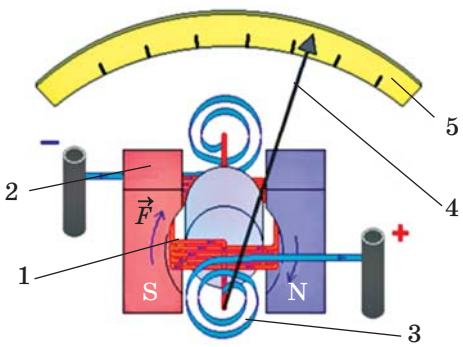
1. Назвіть домашні побутові прилади, які мають електродвигун.

4. Електровимірювальні прилади

Здатність рамки зі струмом обертатися в магнітному полі також покладено в основу роботи електровимірювальних приладів магнітоелектричної системи. До них належать відомі вам з курсу фізики 8 класу гальванометр, амперметр і вольтметр постійного струму.

Електровимірювальні прилади — пристрої для вимірювання характеристик електричного струму.

Розглянемо детальніше будову та принцип роботи гальванометра (мал. 8.6).



Мал. 8.6.
Будова гальванометра

Мал. 8.7.
Демонстраційний гальванометр

Якщо по рамці (1) проходить постійний струм, то вона провертається на певний кут у магнітному полі, створеному постійними магнітами (2). Це відбувається доти, поки сила пружності, яка виникає під час деформації пружин (3), не зрівняється із силою Ампера, що діє на бічні сторони рамки. До рамки прикріплена стрілка (4), відхилення якої від нульової позначки на шкалі (5) вказує на наявність струму в колі. Усі внутрішні частини приладу містяться в корпусі, на який виведено кінці котушки (мал. 8.7).

За таким самим принципом працюють амперметр (мал. 8.8) та вольтметр (мал. 8.9) постійного струму.

Різняться вони лише опором котушок. Оскільки амперметр вмикаємо в коло послідовно, то його опір має бути мінімальним, щоб він не впливав на струм у колі, бо загальний опір при послідовному з'єднанні дорівнює сумі опору кола та опору амперметра. З тих самих міркувань опір вольтметра має бути максимальним, бо його в коло вмикають паралельно, щоб суттєво не зменшувати струм у колі.

Мал. 8.8.
Амперметр постійного струму

Мал. 8.9.
Вольтметр постійного струму

Запам'ятайте

Колектор — пристрій, який змінює напрям струму в рамці.

Електричний двигун — пристрій, який перетворює електричну енергію струму на механічну роботу.

Електровимірювальні прилади — пристрої для вимірювання характеристик електричного струму.

Перевірте себе

1. Як зміниться характер обертання рамки зі струмом у магнітному полі (мал. 8.3), якщо:
   а) поміняти місцями полюси магнітів;
   б) поміняти полюси джерела постійного струму;
   в) поміняти полюси магнітів і джерела постійного струму?
2. Чому в разі вмикання лабораторного амперметра чи вольтметра постійного струму (мал. 8.8, 8.9) потрібно зберігати полярність?
3. Чи потрібно дотримуватися правила збереження полярності, використовуючи демонстраційний гальванометр (мал. 8.7)?
4. Чому під час тривалої роботи електродвигуна його корпус стає гарячим?
5. Як можна охолодити електродвигун?
6. ККД електродвигуна будівельного крана дорівнює 86 %. Скільки електроенергії він споживає, піднімаючи вантаж масою пів тонни на висоту 20 м?

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Електричний двигун	Electric motor

§ 9. Явище електромагнітної індукції. Досліди Фарадея

Українська антарктична станція «Академік Вернадський» — метеорологічна та геофізична обсерваторія, яка працює постійно. До того, як у 1996 році Велика Британія передала її Україні, вона мала ім'я «Фарадей». Чому британці назвали станцію для дослідження Антарктиди іменем свого фізика? Відповіддю на запитання може слугувати вислів відомого німецького фізика Германа фон Гельмгольца: «До того часу, поки люди користуються благами електрики, вони завжди будуть з вдячністю згадувати ім'я Фарадея».

Дізнаймося про...

- Майкла Фарадея;
- електромагнітну індукцію;
- індукційний струм;
- застосування електромагнітної індукції;
- електромагнітне поле.

1. Відкриття явища електромагнітної індукції

Майкл Фарадей

Історія фізики багата на різноманітні відкриття. Але серед них особливе місце належить тим, які дали поштовх розвитку суспільства в період їх відкриття і досі впливають на нього. Саме таким є явище електромагнітної індукції, відкрите Майклом Фарадеєм.

Майкл Фарадей — англійський фізик і хімік, основоположник учення про електромагнітне поле, член Лондонського королівського товариства (1824). Він відіграв визначну роль у розвитку вчення про електромагнітні явища.

Після того як у 1820 році Ганс Ерстед довів, що електричний струм породжує навколо себе магнітне поле, Майкл Фарадей поставив перед собою мету дослідити, чи існує зворотний процес — магнітне поле, здатне створити електричний струм. Пошук доказів тривав ціле десятиліття й увінчався

успіхом у 1831 році. Саме тоді вченому вдалося отримати струм у замкнутій котушці, помістивши її у змінне магнітне поле.

Відкрите явище назвали **електромагнітною індукцією.**

Електромагнітна індукція — явище виникнення струму в замкнутому провіднику, який перебуває у змінному магнітному полі.

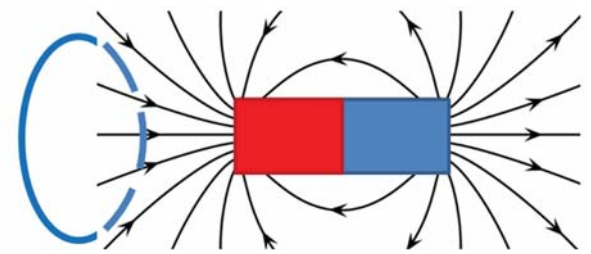
Цей струм ще називають **індукційним.**

2. Досліджуємо характеристики індукційного струму

На основі своїх численних дослідів Фарадей дійшов висновку, що електричний струм виникає в замкнутому провіднику, якщо він перебуває в змінному магнітному полі.

Як отримати змінне магнітне поле, маючи постійний магніт?

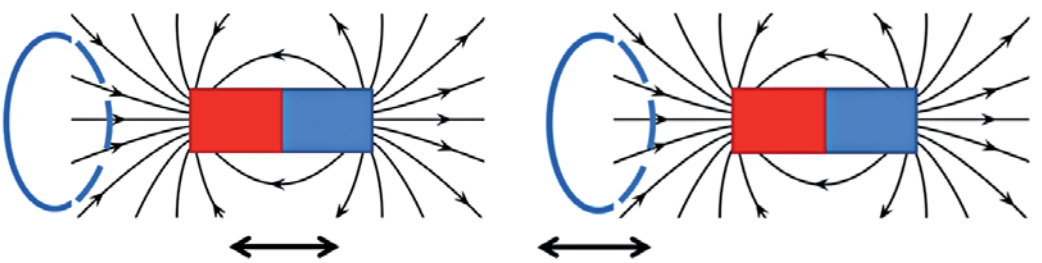
На мал. 9.1 зображено замкнутий провідник у магнітному полі постійного магніту. Для нього це магнітне поле є постійним, тому що кількість силових ліній магнітного поля, які пронизують цей замкнутий контур, є сталою.



Мал. 9.1.
Замкнутий провідник
у постійному магнітному полі

Магнітне поле для цього провідника стане змінним, якщо буде змінюватися (збільшуватися чи зменшуватися) кількість ліній магнітного поля, що його пронизують. Як цього досягти?

Можливі два варіанти: переміщувати магніт відносно замкнутого провідника або переміщувати замкнутий провідник відносно магніту (мал. 9.2). В обох випадках у витку виникне індукційний електричний струм.



Мал. 9.2.
Замкнутий провідник у змінному магнітному полі

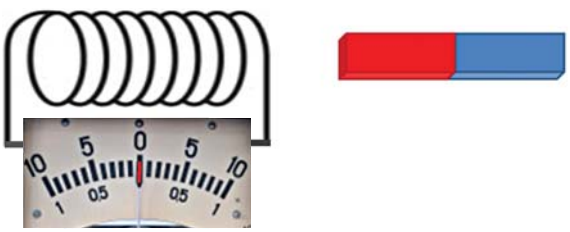
Поміркуйте і дайте відповідь

1. Доки буде існувати струм, що виникає під час переміщення магніту відносно замкнутого провідника? Від чого залежить величина струму і його напрям?

Щоб перевірити правильність ваших міркувань, виконаємо кілька «віртуальних» експериментів.

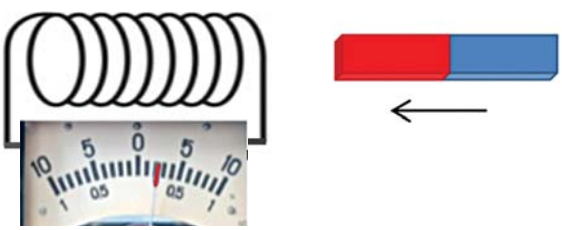
Під'єднаємо котушку з великою кількістю витків до гальванометра. У такий спосіб отримаємо замкнутий контур, а індукційний струм, який виникатиме в ньому, зможе зафіксувати гальванометр.

Якщо магніт нерухомий, то гальванометр показує відсутність струму в котушці (мал. 9.3).



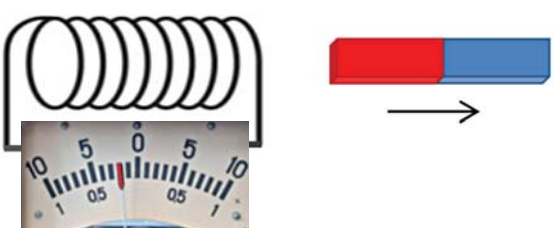
Мал. 9.3.
Магніт нерухомий

Почнемо вводити магніт у котушку. Під час руху магніту виникає електричний струм (мал. 9.4). Коли магніт перестає рухатися, струм зникає.



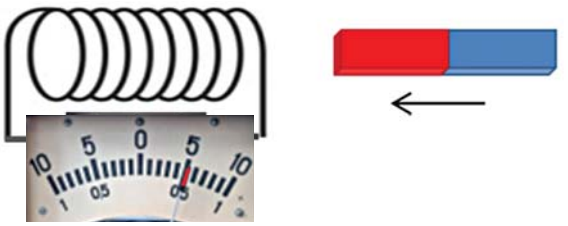
Мал. 9.4.
Магніт повільно вводять у котушку

Виводимо магніт із котушки з такою самою швидкістю — гальванометр показує наявність струму такої самої величини, але протилежного напряму (мал. 9.5).



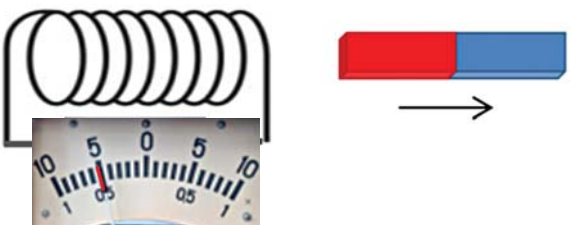
Мал. 9.5.
Магніт повільно виводять із котушки

Вводимо магніт тим самим полюсом з більшою швидкістю — сила індукційного струму більша (мал. 9.6).



Мал. 9.6.
Магніт швидко вводять у котушку

Виводимо магніт із котушки з такою ж швидкістю — сила струму такої самої величини, а напрям змінився на протилежний (мал. 9.7).

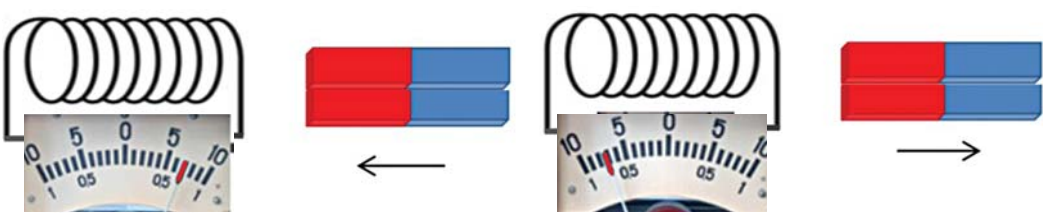


Мал. 9.7.
Магніт швидко виводять із котушки

Як бачимо, чим швидше рухається магніт відносно котушки, тим більший індукційний струм у ній виникає.

Отже, ***величина індукційного струму залежить від «швидкості зміни» магнітного поля.***

Якщо провести такі ж експерименти, але не з одним магнітом, а з двома, складеними однойменними полюсами (мал. 9.8), то все відбудеться так само, тільки струм буде більший.



Мал. 9.8.
Магніти переміщують відносно котушки

Отже, ***величина індукційного струму залежить від величини зміни магнітного поля.***

З напрямом індукційного струму складніше: він залежить від того, як змінюється магнітне поле через котушку (зростає чи спадає), і від

того, який полюс магніту ближче до котушки (від напряму ліній магнітного поля).

Якщо в наших експериментах поміняти полюси магніту, а всі інші кроки залишити без змін, то результати щодо величини струму будуть такими самими, але напрям індукційного струму всюди зміниться на протилежний.

Як видно з описаних дослідів, індукційний струм може мати різні напрямки, які залежать від того, як змінюється магнітне поле — зростає чи спадає.

Якщо до замкнутого підвішеного провідника наближати магніт, то провідник буде відштовхуватись від нього. Індукційний струм, що виникає при цьому в провіднику, має такий напрямок, що породжене ним магнітне поле протидіє магнітному полю магніту.

Якщо ж віддаляти магніт від провідника, то цей провідник буде притягуватися до магніту, оскільки індукційний струм створює магнітне поле, яке підтримує магнітне поле магніту.

Детальніше це будете вивчати в старших класах.

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Якими будуть результати описаних вище експериментів, якщо магніт залишити нерухомим, а котушку наближати чи віддаляти від нього?

3. Практичне застосування електромагнітної індукції

Явище електромагнітної індукції покладено в основу електротехніки.

Завдяки електромагнітній індукції працює:

- ***генератор*** — пристрій, який перетворює механічну енергію на електричну;
- ***трансформатор*** — пристрій, який перетворює (трансформує) змінний струм.

Їхню будову і принцип дії вивчатимете в старших класах.

Явище електромагнітної індукції застосоване в індукційному лічильнику електроенергії, електродинамічному мікрофоні, індукційній плиті, бездротовому зарядному пристрої, жорсткому диску комп'ютера (вінчестері), металодетекторах (металошукачах) та інших пристроях.

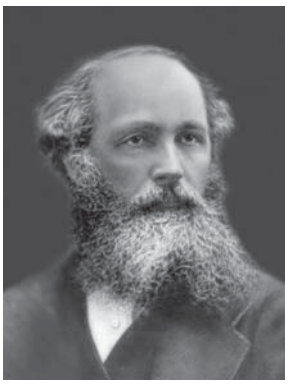
Поміркуйте і дайте відповідь

1. Чи можна в побуті обійтися без приладів, які діють на основі електромагнітної індукції?

5. Електромагнітне поле

Узявши до уваги відкрите М. Фарадеєм явище електромагнітної індукції, шотландський фізик Джеймс-Клерк Максвелл висловив гіпотезу, що повинен існувати симетричний процес — змінне електричне поле має породжувати магнітне поле.

Продовживши свої дослідження, він створив теорію електромагнітного поля і на її основі зробив висновок: змінні електричне й магнітне поля тісно пов'язані одне з одним, утворюючи єдине електромагнітне поле.



Джеймс-Клерк Максвелл

Електромагнітне поле — вид матерії, за допомогою якого здійснюється взаємодія між зарядженими частинками чи тілами і намагніченими тілами.

Воно має дві складові — електричну й магнітну. Зміни в електричному полі зумовлюють зміни в магнітному, і навпаки.

Електромагнітне поле поширюється у вакуумі у вигляді електромагнітних хвиль зі швидкістю світла.

Запам'ятайте

Електромагнітна індукція — явище виникнення струму в замкнутому провіднику, який перебуває у змінному магнітному полі.

Генератор — пристрій, який перетворює механічну енергію на електричний струм.

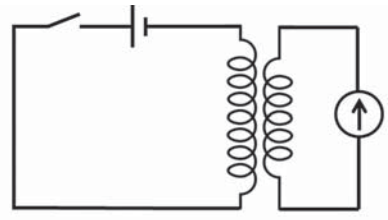
Трансформатор — пристрій, який перетворює (трансформує) змінний струм.

Електромагнітне поле — вид матерії, за допомогою якого здійснюється взаємодія між зарядженими частинками чи тілами і намагніченими тілами.

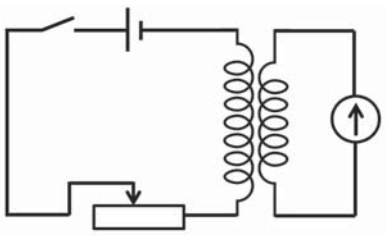
Перевірте себе

1. Розпізнайте неправдиву інформацію.
   Електричний струм виникає в замкнутому провіднику, якщо він перебуває в постійному магнітному полі. Величина індукційного струму залежить від «швидкості зміни» магнітного поля. Індукційний струм завжди має один напрям. Майкл Фарадей витратив десять років на відкриття явища електромагнітної індукції.
2. Для демонстрації електромагнітної індукції Фарадей використав дві розміщені одна біля одної котушки (мал. 9.9). Ліву котушку приєднав до джерела струму, а праву замкнув на гальванометр. Індукцій-

ний струм виникав у момент замикання або розмикання кола лівої котушки. Чому?



Мал. 9.9.
Схема електричного кола



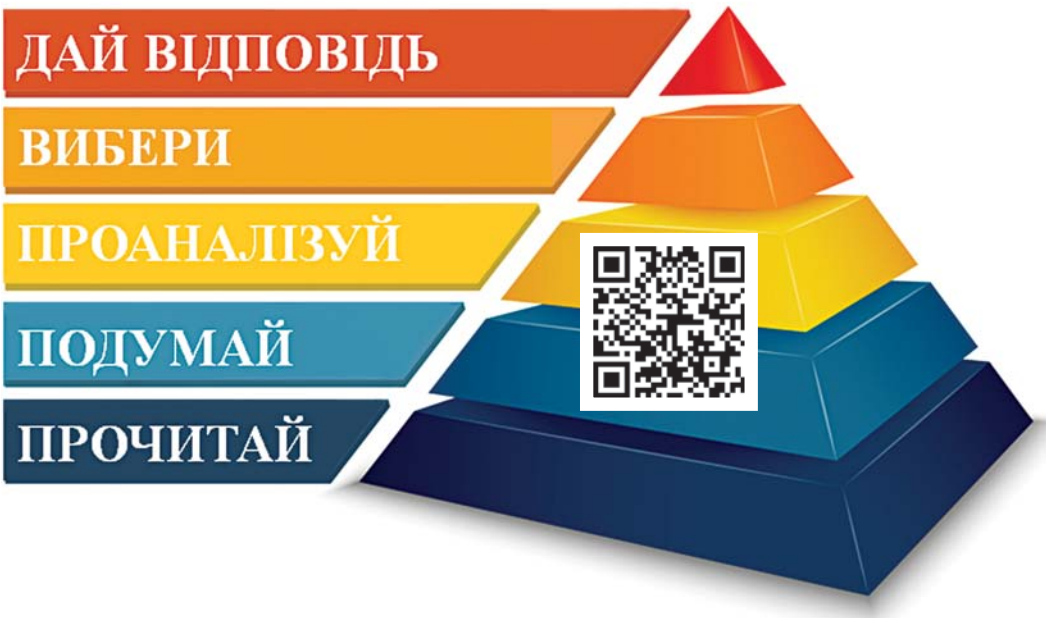
Мал. 9.10.
Схема електричного кола

3. Розгляньте електричну схему (мал. 9.10) і вкажіть чотири способи отримання індукційного струму в правій котушці.

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Електромагнітна індукція	Electromagnetic induction
Генератор	Generator
Трансформатор	Transformer
Електромагнітне поле	Electromagnetic field

Здійсніть самоперевірку
(https://9klas.academiabook.club/fizyka/f-s1)



Виконайте проєкт, дотримуючись алгоритму
(додаток 1)

Орієнтовні теми проєктів:

- Магнітне поле й життя на Землі.
- Магнітні бурі та сучасна техніка.
- Фізика й медицина: як досліджують вплив магнітних полів на людину?
- Магнітні бурі в історії: найпотужніші бурі, які спричинили техногенні аварії.

Механічні коливання

§ 10. Механічні коливання. Характеристики коливань

Світ довкола нас — це постійні рухи. Але придивімося уважніше — дуже багато з них повторюється. Хвилі накочуються на берег і відступають. Вітер розгойдує дерева, і гілки знову й знову повертаються у своє положення. Земля тремтить під час землетрусу, мов натягнута струна. І наш власний організм теж живе в ритмі коливань.

Дізнаймося про...

- механічні коливання;
- характеристики коливань.

1. Механічні коливання

Коливання — це рухи, що повторюються.

Важлива особливість коливальних рухів — їхня **періодичність**, тобто точна або наближена повторюваність руху тіл через рівні інтервали часу.

Коливальні рухи здійснюють **коливальні системи.** Будь-яка коливальна система має положення рівноваги. Нерухома система обов'язково перебуває в такому положенні.

Механічні коливання — рухи тіла (або системи тіл), які відбуваються біля положення рівноваги й точно або частково повторюються через рівні проміжки часу.

Коливальні рухи стосуються не лише фізики, а й нашого повсякденного життя. Їх вивчають геологи, щоб передбачати землетруси, інженери — щоб створювати мости, які не зруйнуються під час вібрацій, музиканти — щоб дарувати нам гармонію звуків. Коливальними системами є органи людського тіла, елементи музичних інструментів, різноманітні пристрої, механізми тощо (табл. 1).

Таблиця 1

Приклади коливальних рухів

Процес	Що коливається	Процес	Що коливається
Землетрус	Тектонічні плити	Гра на гітарі	Струна

Закінчення таблиці 1

Вібрація телефона	Внутрішній вібромотор	Робота пральної машини	Бак пральної машини
Робота швейної машини	Голка	Серцебиття	М’язи серця
Політ птахів	Крила	Сприйняття звуку	Барабанні перетинки

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Для чого в пральних машинах використовують амортизатори?
2. Які органи людини здійснюють коливальні рухи під час роботи дихальної системи та розмови?

2. Характеристики коливань

Щоб описати коливання і зрозуміти їх, використовують **характеристики коливань**. Це фізичні величини, за допомогою яких можна дізнатися, на яку відстань від положення рівноваги відхиляється тіло під час коливального руху; скільки часу триває одне повне коливання; як часто відбуваються коливання.

Завдяки цим характеристикам ми можемо порівнювати різні коливання, передбачати їх і пояснювати багато явищ у природі й техніці. Наприклад, розуміння частоти коливань допомагає налаштовувати музичні інструменти, а маятникові годинники працюють саме завдяки точному періоду коливань.

Ознайомимося детальніше з основними характеристиками коливального руху (схема 1).

Схема 1

ХАРАКТЕРИСТИКИ КОЛИВАЛЬНОГО РУХУ

Фізична величина	⇒	Амплітуда коливань	Період коливань	Частота коливань
Визначення фізичної величини	⇒	Максимальне відхилення тіла від положення рівноваги під час коливань	Час, за який тіло здійснює одне повне коливання	Кількість коливань за одиницю часу (за 1 с)
Символ	⇒	A	T	ν
Одиниця вимірювання в системі СІ	⇒	м (метр)	с (секунда)	Гц (герц)
Формула	⟹		$T = \frac{t}{N}$ t — час коливань, N — кількість коливань	$\nu = \frac{N}{t}$ N — кількість коливань, t — час коливань

У системі СІ одиницею вимірювання частоти є ***герц*** **(Гц).** Її названо на честь німецького фізика Генріха Герца.

$$\mathbf{1\ Гц = \frac{1}{1\ с}.}$$

Проаналізувавши формули для розрахунку періоду та частоти коливань, можна встановити залежність між цими величинами:

$$\boldsymbol{T = \frac{1}{\nu}, \qquad \nu = \frac{1}{T}.}$$

Запам'ятайте

Механічні коливання — рухи тіла (або системи тіл), які відбуваються біля певного положення рівноваги й точно або приблизно повторюються через рівні проміжки часу.

Амплітуда коливань — максимальне відхилення тіла від положення рівноваги під час коливань.

Період коливань — час, за який тіло здійснює одне повне коливання.

Частота коливань — кількість коливань за одиницю часу (за 1 с).

Перевірте себе

1. Виконайте експериментальне завдання на тему «Визначення та порівняння частоти й періоду серцевих скорочень у різних людей», дотримуючись алгоритму. Для виконання завдання використайте секундомір або таймер на телефоні.

   Алгоритм дій:

   - сформулюйте мету експерименту;
   - підготуйте в зошиті таблицю 1 за зразком;

Таблиця 1

Ім'я учасника експерименту	Кількість ударів за 15 с	Кількість ударів за 1 хв	Частота серцевих скорочень, ν, Гц	Період коливань серцевого м'яза, T, с
До фізичного навантаження				
Після фізичного навантаження				

   - після перебування в стані спокою впродовж п'яти хвилин знайдіть власний пульс та пульс сусіда чи сусідки по парті (членів сім'ї) на зап'ясті або на шиї;
   - порахуйте кількість ударів серця за 15 секунд;
   - обчисліть частоту серцевих скорочень за хвилину;
   - визначте період коливань серцевого м'яза;
   - результати вимірювань та обчислень запишіть у таблицю 1;
   - здійсніть 20 присідань і знову виміряйте пульс;
   - розрахуйте частоту серцевих скорочень та період коливань серцевого м'яза;
   - проаналізуйте результати експерименту та зробіть висновки щодо зміни частоти серцевих скорочень після навантаження.

2. Голка швейної машини під час роботи за 1 хв коливається 240 разів. Визначте період і частоту її коливань.
3. Частотний діапазон сейсмічних хвиль змінюється від 0,0001 Гц до 100 Гц. Визначте діапазон періоду коливань цих хвиль.
4. Частота помахів крила білочеревого колібрі-аметиста під час зависання в польоті становить 88 Гц. Скільки помахів крильми зробить птах за 2 хв зависання в польоті?

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Механічні коливання	Mechanical oscillations
Коливальні системи	Oscillating systems
Амплітуда коливань	Amplitude of oscillations
Період коливань	Period of oscillations
Частота коливань	Frequency of oscillations

§ 11. Найпростіші коливальні системи. Маятники. Математичний маятник. Пружинний маятник

У 1583 році Галілео Галілей, перебуваючи на архієрейському богослужінні в Пізанському соборі, звернув увагу на розгойдування повітряними потоками люстри. Він помітив, що час одного коливання люстри залишається сталим (як годинник Галілей використовував удари свого пульсу), хоча амплітуда коливань весь час зменшувалася. Ці спостереження спонукали його дослідити коливання.

Дізнаймося про...

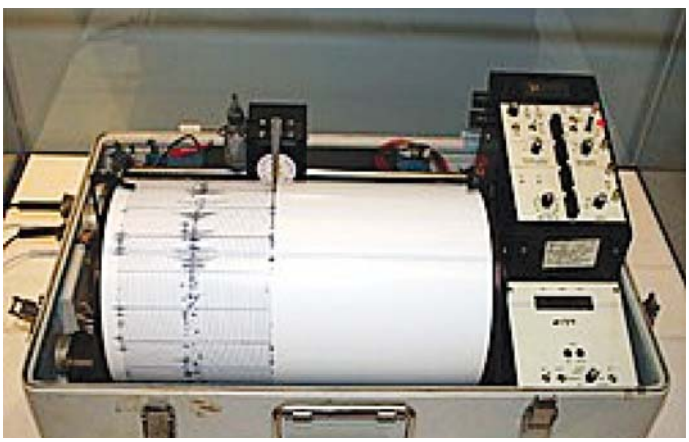
- найпростіші коливальні системи;
- фізичний маятник;
- математичний маятник;
- пружинний маятник.

1. Маятник як найпростіша коливальна система

Для виникнення коливань у коливальній системі необхідно вивести її з положення рівноваги, тобто надати їй енергію. Коливання триватимуть довго, якщо втрати енергії будуть незначними.

Прикладами найпростіших коливальних систем є фізичний маятник, математичний маятник, пружинний маятник та електричний коливальний контур (з коливаннями в цьому контурі ви ознайомитеся в старших класах).

Маятники використовують у різних механізмах, зокрема в механічних годинниках; сейсмографах — приладах для реєстрації коливань земної поверхні (мал. 11.1); гравіметрах — приладах для визначення прискорення земного тяжіння (мал. 11.2).

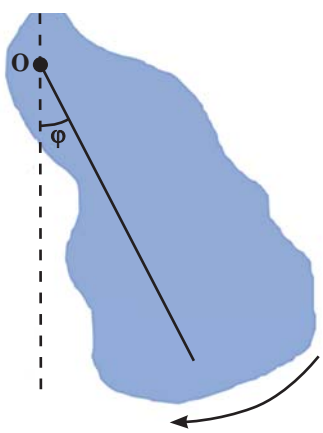


Мал. 11.1.
Сейсмограф

Мал.11.2.
Гравіметр

Фізичний маятник — тверде тіло довільної форми, що має вісь обертання і здатне коливатися завдяки притяганню до Землі.

Відхилений від положення рівноваги на кут φ (мал. 11.3) маятник під дією сили тяжіння повертається до свого положення рівноваги, не зупиняється, а за інерцією проходить його та відхиляється в протилежний бік на такий самий кут φ. Потім знову під дією сили тяжіння та інерції повертається в крайню першу точку. Такий фізичний маятник коливатиметься дуже довго за умови, що тертя в місці підвісу (точка O) мале.



Мал. 11.3.
Модель фізичного маятника

Прикладом коливань фізичного маятника можна вважати коливання гойдалок, гілок дерев унаслідок дії вітру, боксерської груші під час тренувань тощо (мал. 11.4).

Мал. 11.4.
Приклади коливань фізичного маятника

Прикладом фізичного маятника також є ***метроном*** — прилад для визначення темпу шляхом точного відліку нотних тривалостей (мал. 11.5). Зазвичай метроном складається з дерев'яного корпусу пірамідальної форми, одна з граней якого зрізана. У цьому зрізі перебуває маятник із тягарцем. Положення тягарця на маятнику впливає на частоту коливань, що й визначає темп метронома. За маятником розташована шкала, за якою встановлюють частоту ударів. У практиці широко використовують також електронні метрономи.

Мал. 11.5.
Механічний метроном

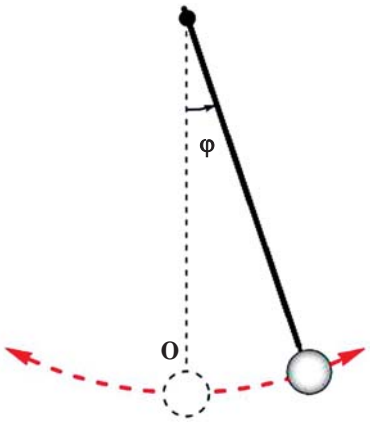
2. Математичний маятник

Для дослідження коливань фізичного маятника використовують ідеалізовану коливальну систему — тіло, підвішене на нитці (мал. 11.6). Щоб у цій системі виникли коливання, розміри тіла мають бути значно менші за довжину нитки (вантаж — матеріальна точка), нитка — нерозтяжною і невагомою, а кут відхилення маятника від положення рівноваги (т. О) — дуже малим. Сили тертя в точці підвісу теж мають бути малими,

а рівнодійна всіх сил, які діють на вантаж, повинна бути напрямлена до положення рівноваги.

Отже, ***математичний маятник*** — фізична модель коливальної системи, у якій матеріальна точка підвішена на невагомій нерозтяжній нитці або стрижні.

Зрозуміло, що в природі немає ні точкових тіл, ні нерозтяжних невагомих ниток, але в багатьох випадках нитяний маятник можна вважати наближеним до математичного.



Мал. 11.6.
Модель математичного маятника

Оскільки коливання математичного маятника — це ще один приклад коливального руху, то всі фізичні величини, які характеризують цей рух, характеризують також коливання маятника. Нідерландський дослідник Християн Гюйгенс у XVII ст. експериментальним шляхом довів, що ***період коливань математичного маятника не залежить від його маси та амплітуди коливань. Проте період коливань маятника залежить від довжини нитки: що більша довжина нитки, то більший період коливань математичного маятника.***

Поміркуйте і дайте відповідь

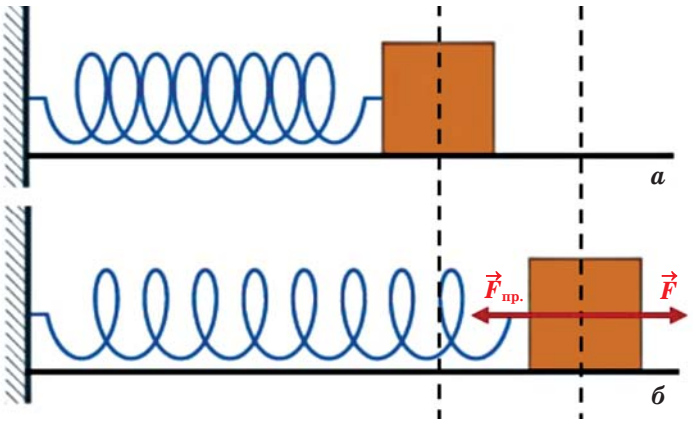
1. На довгій нитці коливається мідна кулька. Чи зміниться період коливань маятника, якщо мідну кульку замінити залізною такого ж об'єму? Чому?
2. Довжину нитки математичного маятника вкоротили. Чи зміниться за цієї умови період коливань маятника? Відповідь обґрунтуйте.

4. Пружинний маятник

Розглянемо рух тягарця, прикріпленого до пружини й розміщеного на горизонтальній поверхні. Вважаємо, що тертя між тягарцем і поверхнею відсутнє або дуже мале. Коли на цей тягарець не діють зовнішні сили, то він перебуває в стані рівноваги (мал. 11.7, *а*). Сила тяжіння, що діє на тягарець, зрівноважується дією сили реакції опори. Щоб тягарець почав рухатися, його потрібно вивести з положення рівноваги (мал. 11.7, *б*).

Унаслідок деформації тіла виникає сила пружності, яка напрямлена протилежно до зміщення частинок тіла (у бік, протилежний до прикладеної сили).

Сила пружності намагається повернути тягарець у положення рівноваги, тобто змушує його коливатися. Таку коливальну систему називають **пружинним маятником**.

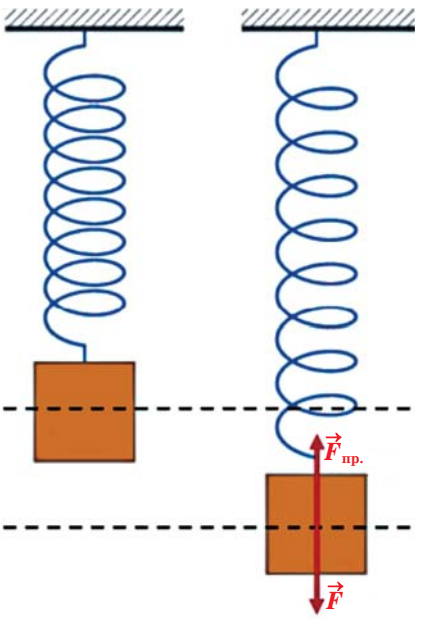


Мал. 11.7. Коливання тягарця на пружині, яка розміщена горизонтально

Пружинний маятник — коливальна система, у якій тягарець, закріплений на пружині, коливається під дією сили пружності.

За такою самою схемою відбуваються коливання тягарця на пружині, що підвішена вертикально (мал. 11.8). У цьому випадку сила тяжіння, що діє на тягарець, розтягує пружину, а сила пружності, що виникає при цьому, намагається повернути тягарець у положення рівноваги, тобто змушує тягарець коливатися.

Період коливань пружинного маятника залежить від маси тягарця, матеріалу пружини, діаметра витка, кроку намотки, площі перерізу матеріалу. Що більша маса тягарця, то більший період коливань маятника; що більша пружність матеріалу пружини, то період коливань маятника менший.



Мал. 11.8. Коливання тягарця на пружині, яка розміщена вертикально

Запам'ятайте

Фізичний маятник — тверде тіло довільної форми, що має вісь обертання і здатне коливатися завдяки притяганню до Землі.

Математичний маятник — фізична модель коливальної системи, у якій матеріальна точка підвішена на невагомій нерозтяжній нитці або стрижні.

Пружинний маятник — коливальна система, у якій тягарець, закріплений на пружині, коливається під дією сили пружності.

Перевірте себе

1. Під час коливань земної кори на сейсмограмі зафіксовано максимальне відхилення стрілки від положення рівноваги, що дорівнює 4 мм. Обчисліть амплітуду коливань стрілки сейсмографа в метрах.
2. Амплітуда коливань математичного маятника дорівнює 3 см. Визначте, який шлях проходить кулька маятника за чотири періоди.
3. Визначте період та частоту коливань маятника метронома, якщо за одну хвилину він здійснює 60 повних коливань.
4. Частота коливань математичного маятника дорівнює 8 Гц. Визначте період коливань маятника. Скільки коливань здійснить цей маятник за 2 хвилини?
5. У пружинному маятнику алюмінієву пружину замінили залізною таких самих розмірів. Чи зміниться період коливань маятника? Частота? Відповіді обґрунтуйте.
6. Однією з найдосконаліших коливальних систем у природі є серце, яке у тварин скорочується по-різному. Порівняйте частоту пульсу кита та синички, якщо в кита серце здійснює 7 скорочень за 1 хвилину, а в синички — 1200 скорочень за той самий час.
7. Те, що Земля обертається навколо своєї осі, вдалося довести за допомогою маятника, який у 1851 році створив Жан-Бернар-Леон Фуко (маятника Фуко). Використовуючи різні джерела інформації, дізнайтеся більше про цей винахід.

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Фізичний маятник	Physical pendulum
Метроном	Metronome
Математичний маятник	Mathematical pendulum
Пружинний маятник	Spring pendulum

Лабораторна робота № 2
ДОСЛІДЖЕННЯ КОЛИВАНЬ НИТЯНОГО МАЯТНИКА

Мета: дослідити коливання нитяного маятника; перевірити, чи залежить період коливань нитяного маятника від амплітуди коливань, маси кульки та довжини підвісу.

Обладнання: штатив, лінійка, секундомір, кульки різної маси на нитках.

Дотримуйтеся правил безпеки життєдіяльності під час роботи!

Хід роботи

І. Дослідження залежності періоду коливань нитяного маятника від амплітуди коливань.

1. Підвісьте кульку на нитці довжиною 1 м до штатива, створивши нитяний маятник.
2. Відхиліть кульку від положення рівноваги на 3 см і виміряйте час 10 повних коливань.
3. Повторіть дослід, відхиливши кульку від положення рівноваги на 6 см.
4. Результати вимірювань запишіть у таблицю 1.

Таблиця 1

№ з/п	Амплітуда коливань, A, м	Кількість коливань, N	Час коливань, t, с	Період коливань, T, с
1				
2				

5. Визначте період коливань нитяного маятника.
6. Результати обчислень запишіть у таблицю 1.
7. Зробіть висновок про залежність періоду коливань нитяного маятника від амплітуди коливань.

ІІ. Дослідження залежності періоду коливань нитяного маятника від його маси.

1. Підвісьте кульку певної маси на нитці довжиною 1 м до штатива, створивши нитяний маятник.
2. Відхиліть кульку від положення рівноваги на 3 см та виміряйте час 10 повних коливань.
3. Визначте період коливань нитяного маятника.
4. Повторіть дослід з кулькою іншої маси за незмінної довжини нитки.
5. Відхиліть кульку від положення рівноваги на 3 см та виміряйте час 10 повних коливань.
6. Визначте період коливань нитяного маятника.
7. Результати вимірювань та обчислень запишіть у таблицю 2.

Таблиця 2

№ з/п	Підвішене тіло	Кількість коливань, N	Час коливань, t, с	Період коливань, T, с
1	кулька меншої маси			
2	кулька більшої маси			

8. Зробіть висновок про залежність періоду коливань нитяного маятника від його маси.

III. Дослідження залежності періоду коливань нитяного маятника від довжини його підвісу.

1. Підвісьте кульку на нитці довжиною 1 м до штатива, створивши нитяний маятник.
2. Відхиліть кульку від положення рівноваги на 3 см та виміряйте час 10 повних коливань.
3. Визначте період коливань нитяного маятника.
4. Повторіть дослід, зменшивши довжину підвісу в 4 рази.
5. Визначте період коливань нитяного маятника.
6. Результати вимірювань та обчислень запишіть у таблицю 3.

Таблиця 3

№ з/п	Довжина нитки, l, м	Кількість коливань, N	Час коливань, t, с	Період коливань, T, с
1				
2				

7. Зробіть висновок про залежність періоду коливань нитяного маятника від довжини його підвісу.

Проаналізуйте результати експерименту. Зробіть висновок (що саме досліджували під час виконання лабораторної роботи; значення якої величини обчислювали та які результати отримали; чи можна вважати результати експерименту абсолютно точними; чи залежить період коливань нитяного маятника від амплітуди коливань, маси кульки та довжини підвісу).

Додаткове завдання

Що, на вашу думку, може вплинути на точність маятникового годинника? Відповідь обґрунтуйте.

§ 12. Енергія коливань. Вільні та вимушені коливання. Автоколивання. Резонанс

Усі ми не раз спостерігали за спортивними змаганнями гімнастів та гімнасток. Однією із вправ, яку вони виконують на перекладині, є «сонце» — колове обертання у вертикальній площині. Виявляється, і тут потрібно знати фізику. Які знання з фізики застосовують гімнасти й гімнастки? Сьогодні це з'ясуємо.

Дізнаймося про...

- енергію коливань;
- види коливань;
- механічний резонанс;
- прояви резонансу.

1. Перетворення енергії під час коливань

Вивчимо різні види механічних коливань, використавши відому нам з дитинства гойдалку (мал. 12.1).

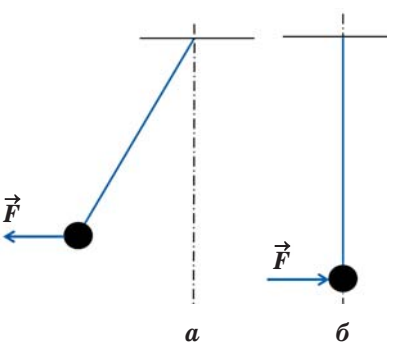
Гойдалка здійснює коливання, подібні до коливань математичного маятника. Для початку коливань маятнику потрібно надати потенціальну енергію, відхиливши його від положення рівноваги (12.2, *а*), чи кінетичну, штовхнувши його (мал. 12.2, *б*).

Якщо нехтувати тертям у точці підвісу та опором повітря, то виконуватиметься закон збереження повної механічної енергії. Такий маятник буде коливатися дуже довго, оскільки коливальна система не втрачає енергії.

За законом збереження енергії:

$$E_{\text{п max}} = E_{\text{п}} + E_{\text{к}} = E_{\text{к max}} = E_{\text{п}} + E_{\text{к}} = E_{\text{п max}}.$$

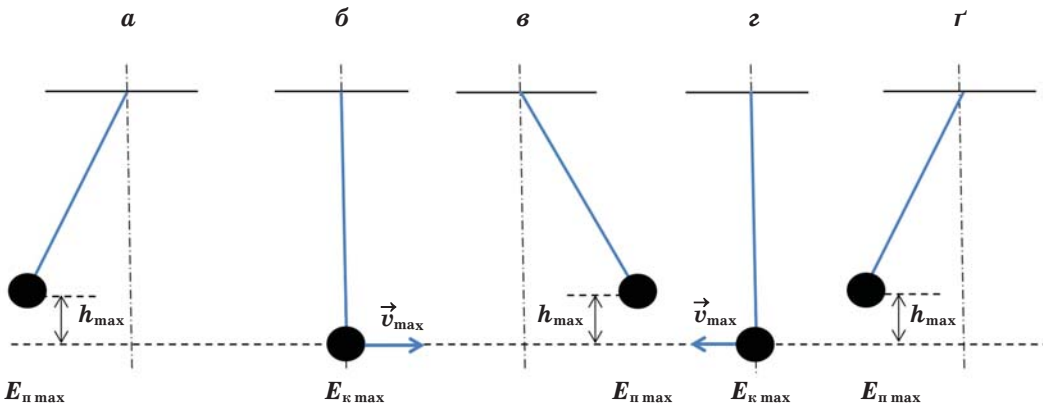
Мал. 12.1.
Гойдалка



Мал. 12.2.
Надання маятнику енергії

Розглянемо, які перетворення енергії в такому випадку відбуваються.

Відхиливши маятник на певний кут від вертикалі, ми надаємо йому максимальну потенціальну енергію: $E_{\text{п max}} = mgh_{\text{max}}$, де h_{max} — максимальна висота підйому (мал. 12.3, *а*). При цьому $E_{\text{к}} = 0$. Тому повна енергія системи дорівнює максимальній потенціальній енергії.



Мал. 12.3.
Коливання математичного маятника

Під час руху до положення рівноваги його повна енергія — це сума кінетичної $E_{\text{к}}$ і потенціальної енергії $E_{\text{п}}$. Потенціальна енергія зменшується, а кінетична — збільшується.

Через чверть періоду коливань, коли маятник проходить через положення рівноваги, його повна енергія перейде в максимальну кінетичну енергію: $E_{\text{к max}} = \frac{mv_{\text{max}}^2}{2}$, де v_{max} — максимальна швидкість тіла, оскільки $h = 0$ і $E_{\text{п}} = 0$ (мал. 12.3, *б*).

За інерцією маятник продовжить рух, і його кінетична енергія буде зменшуватися, а потенціальна — збільшуватися. Поступово повна механічна енергія в момент досягнення максимальної висоти буде дорівнювати максимальній потенціальній енергії $E_{\text{п max}} = mgh_{\text{max}}$ (мал. 12.3, *в*).

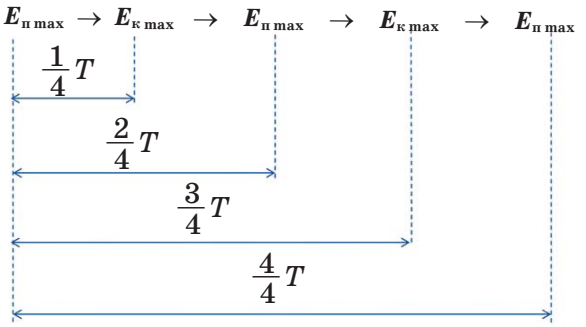
Упродовж наступних двох чвертей періоду коливань буде відбуватися перетворення максимальної потенціальної енергії на максимальну кінетичну (мал. 12.3, *г*) і далі максимальної кінетичної енергії на максимальну потенціальну (мал. 12.3, *ґ*).

З наступним періодом коливань усе повторюється.

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Скільки разів за одне коливання маятник набуває максимальної кінетичної енергії (максимальної потенціальної енергії)?

За один період коливань маятника відбувається чотири перетворення механічної енергії (мал. 12.4).



Мал. 12.4. Перетворення енергії маятника

Два рази максимальна потенціальна енергія переходить у максимальну кінетичну, і два рази максимальна кінетична енергія — у максимальну потенціальну. Якщо знехтувати втратами енергії на подолання тертя в точці підвісу та опору повітря, то в кінці періоду коливань маятник буде мати таке саме значення енергії, як і в момент початку коливань.

2. Вільні та вимушені коливання. Автоколивання

Коливання, які відбуваються зі сталою амплітудою, є **незатухаючими**.

За реальних умов з кожним наступним коливанням повна механічна енергія маятника зменшується. Відповідно зменшується амплітуда коливань, і через певний проміжок часу коливання припиняються — затухають.

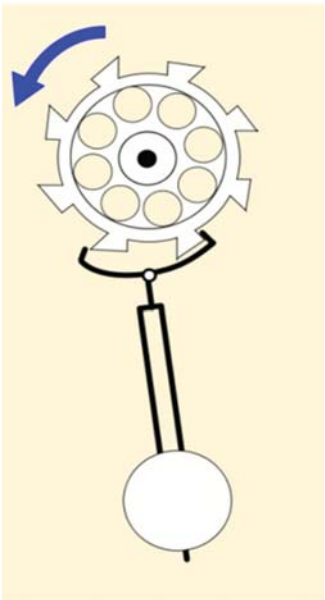
Затухаючі коливання ще називають **вільними,** бо вони відбуваються самі по собі доти, поки коливальна система не вичерпає надану їй енергію. Наприклад, якщо вас на гойдалці підштовхнули лише один раз, то через якийсь час вона перестане гойдатися.

У техніці використовують вимушені коливання та автоколивання, тому що вони відбуваються зі сталою амплітудою і тривають так довго, як потрібно. У такому випадку коливальну систему необхідно поповнювати енергією. Як це відбувається на практиці?

Щоб гойдатися на гойдалці зі сталою амплітудою, можна попросити когось, щоб він час від часу вас підштовхував. Це будуть ***вимушені коливання*** — незатухаючі коливання, які відбуваються під дією зовнішньої періодичної сили.

До того ж ви можете самі себе розгойдувати, підтримуючи незмінною амплітуду коливань. Для цього вам необхідно самостійно відштовхуватися ногами від землі або в певні моменти часу змінювати своє положення на гойдалці (згинати тулуб і ноги чи розгинати їх). Це будуть ***автоколивання*** — незатухаючі коливання, що відбуваються в коливальній системі,

Мал. 12.5.
Механічний годинник



Мал. 12.6.
Анкерний механізм

яка сама регулює надходження в неї енергії. У такому разі ви самі визначаєте, коли необхідно додати енергії.

Прикладом автоколивальної системи є механічні годинники (мал. 12.5).

У настінних чи ручних механічних годинниках є анкерні механізми, які періодично під'єднують годинник до джерела потенціальної енергії — закрученої пружини чи підвішеного тягарця. Вони складаються із шестерні та спеціального перемикача (мал. 12.6).

3. Резонанс

Повернемося до вимушених коливань. Для того щоб амплітуда ваших коливань на гойдалці залишалася незмінною, товариш підштовхує вас, коли бачить, що потрібно додати енергії. Але якщо це робити систематично, з кожним коливанням, то вас буде розгойдувати дедалі більше й більше — амплітуда ваших коливань зростатиме. Таке явище називають **резонансом**.

Механічний резонанс — явище різкого зростання амплітуди коливань, яке відбувається за умови, коли частота зовнішньої періодичної сили збігається з власною частотою коливань.

У нашому випадку частота підштовхувань (зовнішньої сили) збігається з частотою коливань гойдалки. Отже, відбувається резонанс — зростання амплітуди коливань.

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Поясніть, завдяки чому можна високо підстрибувати на батуті (мал.12.7). Яких правил безпеки необхідно дотримуватися?

Мал. 12.7.
Батут

Механічний резонанс може бути корисним або шкідливим.

Явище резонансу є корисним, коли ви гойдаєтеся на гойдалці, підстрибуєте на батуті, використовуєте музичні інструменти (акустичний резонанс), стараєтеся виштовхнути автомобіль із ями.

Резонанс шкідливий:

- під час землетрусів (якщо власна частота коливань земної кори збігається з частотою коливань будівлі, то вона може зруйнуватися);
- коли ідете по підвісному мосту (за збігу частоти кроків із частотою коливань мосту він почне сильно розхитуватися);
- на залізничному транспорті (якщо вагон рухатиметься з такою швидкістю, що частота попадань коліс на стики рейок збігається з власною частотою коливань вагона, його почне сильно розхитувати);
- на автотранспорті (якщо частота коливань двигуна збігається з частотою коливань певних елементів корпусу автомобіля, то їхню вібрацію зможете відчути);
- те ж саме стосується побутової техніки (роботи холодильника, пральної машини тощо).

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Наведіть інші відомі вам приклади корисного і шкідливого прояву резонансу.

Запам'ятайте

Незатухаючі коливання — коливання, які відбуваються зі сталою амплітудою.

Вільні коливання — коливання, які відбуваються в коливальній системі тільки під дією внутрішніх сил.

Вимушені коливання — незатухаючі коливання, які відбуваються під дією зовнішньої періодичної сили.

Автоколивання — незатухаючі коливання, які відбуваються в коливальній системі, яка сама регулює надходження в неї енергії.

Механічний резонанс — явище різкого зростання амплітуди коливань, яке відбувається за умови, коли частота зовнішньої періодичної сили збігається з власною частотою коливань.

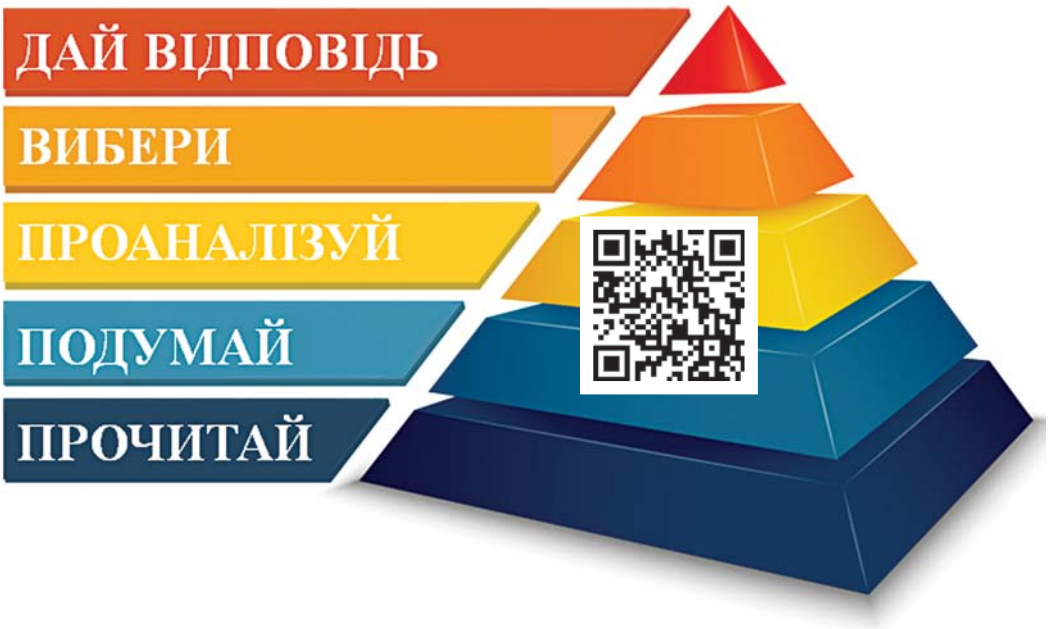
Перевірте себе

1. Вантаж пружинного маятника проходить положення рівноваги. Що ви можете сказати про його швидкість у цей момент?
2. Що можна сказати про швидкість кульки нитяного маятника в точці максимального відхилення від положення рівноваги?
3. Завдяки чому гімнасти / гімнастки (читайте «мотивацію» до параграфа) крутять «сонце» на перекладині?
4. Визначте висоту, на яку підніметься кулька, підвішена на нитці, якщо внаслідок поштовху вона набула швидкості 2 м/с.
5. Сівши на гойдалку, Марко відштовхнувся від землі й піднявся на висоту 50 см відносно положення рівноваги. Визначте швидкість гойдалки на висоті 30 см відносно положення рівноваги.
6. Несучи повне відро з водою, Оля зауважила, що вода вихлюпується з нього, якщо вона робить 2 кроки за секунду. Чому так відбувається? Визначте період коливань відра з водою.
7. Період коливань вантажу, підвішеного на пружині, дорівнює 1,25 с. Визначте частоту, з якою необхідно підштовхувати вантаж, щоб амплітуда його коливань стала максимальною.

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Незатухаючі коливання	Undamped oscillations
Вільні коливання	Free oscillations
Вимушені коливання	Forced oscillations
Автоколивання	Self-oscillations
Механічний резонанс	Mechanical resonance

Здійсніть самоперевірку (https://9klas.academiabook.club/fizyka/f-s2)



Виконайте проєкт, дотримуючись алгоритму (додаток 1)

Орієнтовні теми проєктів:

- Чому уникають резонансу?
- У світі коливань.
- Коливальні системи людського організму.

Механічні та електромагнітні хвилі

§ 13. Поширення механічних коливань у пружному середовищі. Поперечні й поздовжні хвилі. Характеристики хвилі

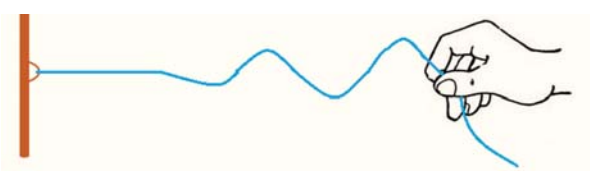
У сонячну літню пору Тарас із друзями відпочивали біля озера. Недалеко від них пропливав катер. Коли він був уже близько, хтось із дівчат вигукнув: «Дивіться, які гарні хвилі за катером!». А що таке хвиля?

Дізнаймося про...

- утворення та поширення механічних хвиль;
- властивості механічних хвиль;
- види механічних хвиль та їхні характеристики.

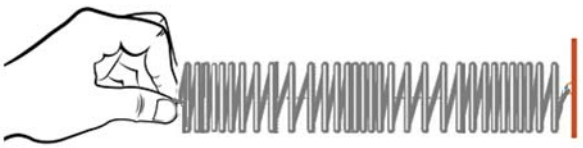
1. Поширення механічних коливань у пружному середовищі

Хвилі утворюються не лише на озері. Їх можна побачити й на полі, коли вітер колише високу траву чи колосся. А ще можна створити власноруч. Для цього достатньо взяти довгу мотузку, закріпити один її кінець, а другий почати коливати (мал. 13.1), швидко рухаючи ним угору-вниз, щоб створити коливання, які переміщуватимуться вздовж мотузки, як **хвиля**. Коливання поширюються від точки до точки, від частинки до частинки. Частинки середовища коливаються навколо положення рівноваги, передаючи коливання іншим частинкам. Усі точки середовища пов'язані між собою пружними силами, тому такі середовища називають **пружними**.



Мал. 13.1. Поширення коливань мотузкою

Коливання можна спостерігати і в горизонтально закріпленій одним кінцем довгій м'якій пружині, коли по вільному її кінцю здійснювати ле-



Мал. 13.2.
Поширення
коливань пружиною

генькі послідовні удари або коли розтягнути пружину й потім відпустити (мал. 13.2).

Механічна хвиля — процес поширення коливань у пружних середовищах.

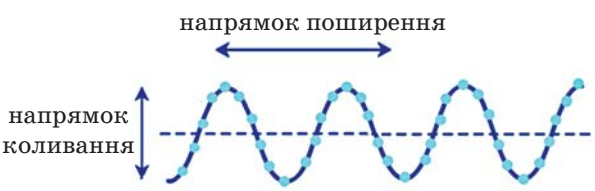
2. Поперечні та поздовжні хвилі

Коливання, описані в попередньому пункті, між собою різняться. Залежно від напрямку коливань частинок відносно напрямку поширення хвилі розрізняють поперечні та поздовжні хвилі.

Пригадайте вивчене

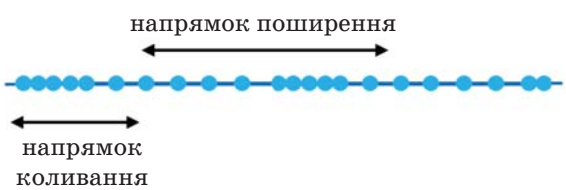
Зміну форми або розмірів тіла під час взаємодії з іншими тілами називають деформацією. Частинки тіла зміщуються одна щодо іншої неоднаково, і тому деформація може бути різною — розтягу, стиску, згину, кручення, зсуву.

Поперечними хвилями називають хвилі, у яких коливання частинок середовища відбуваються перпендикулярно до напрямку поширення хвилі (мал. 13.3). У процесі поширення таких хвиль відбувається зсув одних шарів середовища щодо інших. ***Поперечні хвилі поширюються тільки у твердих тілах.***



Мал. 13.3.
Приклад поперечної хвилі

Хвилі, у яких коливання частинок середовища відбувається вздовж напрямку поширення хвилі, називають ***поздовжніми*** (мал. 13.4). У процесі поширення таких хвиль у середовищі здійснюються деформації



Мал. 13.4.
Приклад поздовжньої хвилі

стиснення та розтягу. Виникають сили пружності, під дією яких частинки повертаються до положення рівноваги. Уздовж напрямку поширення хвилі в середовищах спостерігаються згущення та розрідження. ***Поздовжні хвилі поширюються у всіх пружних середовищах — у твердих тілах, рідинах і газах.***

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Чи можуть поздовжні та поперечні хвилі поширюватися у вакуумі? Відповідь обґрунтуйте.

3. Властивості механічних хвиль

Будь-яка механічна хвиля створюється тілом, яке коливається, — **джерелом хвилі.** Під час поширення механічної хвилі коливальний рух передається від однієї частинки до іншої. Проте ***хвилі переносять тільки енергію, а саму речовину не переносять*** — у цьому полягає основна властивість усіх хвиль.

Механічні хвилі мають й інші властивості:

- поширюються в середовищі зі скінченною швидкістю;
- не поширюються у вакуумі;
- частота коливань кожної частинки середовища дорівнює частоті коливань джерела хвилі.

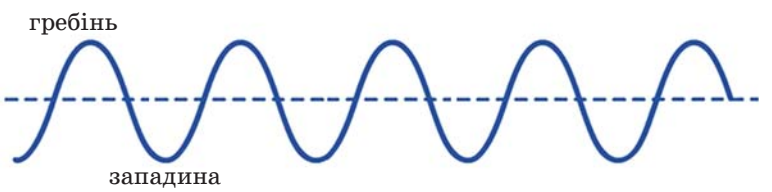
Поміркуйте і дайте відповідь

1. Поясніть прислів'я «Без вітру і билинка не ворухнеться» з погляду утворення механічних хвиль.

4. Характеристики механічних хвиль

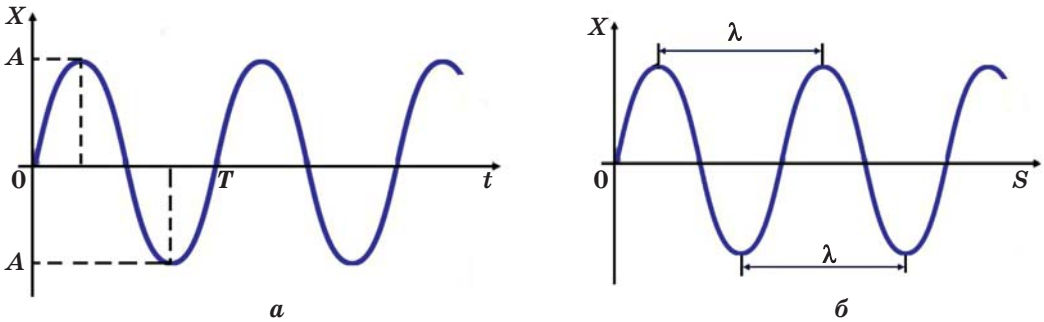
Механічні хвилі можна охарактеризувати за допомогою фізичних величин.

Під час поширення механічної хвилі в середовищі спостерігаються гребені та западини (мал. 13.5).



Мал. 13.5. Механічна хвиля

Амплітуда (A) — максимальне відхилення від положення рівноваги (висота гребеня чи глибина западини, виміряна щодо нульового рівня) (мал. 13.6, *а*).



Мал. 13.6.
Характеристики механічної хвилі

Довжина хвилі — відстань, на яку поширюється механічна хвиля за час, що дорівнює періоду (мал. 13.6, *б*). Можна сказати, що це відстань між двома найвищими точками сусідніх гребенів чи найнижчими точками сусідніх западин. Довжину хвилі позначають грецькою літерою **λ** (читається «*лямбда*»).

Формула для визначення довжини хвилі має вигляд:

$$\lambda = \upsilon \cdot T,$$

де υ — швидкість поширення хвилі.

Одиницею вимірювання довжини хвилі в системі СІ є ***метр*** **(м)**.

За формулою довжини хвилі можна визначити швидкість поширення хвилі:

$$\upsilon = \frac{\lambda}{T}.$$

Під час переходу механічної хвилі з одного пружного середовища в інше змінюються швидкість її поширення та довжина. Однак її частота й період залишаються незмінними.

Запам'ятайте

Механічна хвиля — процес поширення коливань у пружних середовищах.

Поперечні хвилі — хвилі, у яких коливання частинок середовища відбуваються перпендикулярно до напрямку поширення хвилі.

Поздовжні хвилі — хвилі, у яких коливання частинок середовища відбуваються вздовж напрямку поширення хвилі.

Джерело хвилі — тіло, яке коливається.

Амплітуда — максимальне відхилення від положення рівноваги (висота гребеня чи глибина западини, виміряна щодо нульового рівня).

Період хвилі — час, упродовж якого частинка середовища здійснює одне повне коливання.

Довжина хвилі — відстань, на яку поширюється механічна хвиля за час, що дорівнює періоду.

Перевірте себе

1. На середині озера плаває м'яч. Даринка на березі починає водити паличкою по воді, створюючи хвилі, щоб наблизити до себе м'яч. Чи вдасться дівчинці в такий спосіб дістати м'яч з води?
2. Визначте довжину механічної хвилі, що поширюється зі швидкістю 150 м/с. Частота хвилі дорівнює 40 Гц.
3. Довжина хвилі дорівнює 5 м, а частота коливань — 4 Гц. Визначте швидкість поширення хвилі.
4. Поплавець на воді здійснює 30 коливань за 25 с. Від нього поширюється механічна хвиля зі швидкістю 2,4 м/с. Визначте довжину цієї хвилі.
5. Хвиля від катера, що рухається по озеру, дійшла до берега за одну хвилину. Відстань між сусідніми гребенями хвилі дорівнює 1,5 м, а проміжок часу між її послідовними ударами об берег — 2 с. Визначте відстань від катера до берега.
6. На мал. 13.7 зображено поперечну хвилю. Визначте амплітуду та довжину хвилі.

Мал. 13.7.
Поперечна хвиля

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Механічна хвиля	Mechanical wave
Поперечна хвиля	Transverse wave
Поздовжня хвиля	Longitudinal wave

§ 14. Звук. Джерела та приймачі звукових хвиль. Характеристики звуку. Акустичний резонанс

Звук супроводжує нас упродовж усього життя. Ми сміємося, плачемо, зізнаємося в почуттях — усе це передається через звук. І стає зрозуміло, що звук — це не просто комфорт, а фізика в дії, завдяки якій ми чуємо, творимо і навіть зцілюємо. Його хвилі мають свої «закони». І щоб керувати звуком, треба знати його природу.

Дізнаймося про...

- звукові хвилі;
- поширення звукових хвиль;
- характеристики звуку;
- акустичний резонанс.

1. Звукові хвилі. Джерела та приймачі звукових хвиль

Звуки, що оточують нас, поширюються від джерела коливань у повітрі до нашого вуха. Людина сприймає як звук тільки такі коливання, частота яких від 20 Гц до 20 000 Гц.

Джерела звуку дуже різноманітні: голосові зв'язки людини чи тварини, струни музичних інструментів, язички (тростини) духових музичних інструментів, мембрани динаміків, листя, що коливається від вітру, тощо. Їх можна поділити на природні та штучні.

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Наведіть приклади природних і штучних джерел звуку.

Звук (або звукова хвиля) — поширення у пружному середовищі коливань частотою від 20 Гц до 20 000 Гц.

Звукові хвилі — поздовжні хвилі, які поширюються в газоподібному середовищі (ділянки згущень та розріджень, що змінюють одна одну й «несуть» звук до приймача).

Приймачами звуку є органи слуху живих організмів і технічні перетворювачі звукових коливань. Органи слуху перетворюють звукові сигнали на нервові імпульси, а технічні перетворювачі — на електромагнітні коливання.

Звукові хвилі поширюються не тільки в газах, а й у рідинах і твердих тілах. Перебуваючи під водою, можна чути гуркіт від роботи двигунів морських та річкових суден, звуки «спілкування» деяких морських тварин, гул від виверження підводних вулканів. У давнину запорозькі козаки, щоб дізнатися про наближення монголо-татарської орди, часто прикладали вухо до землі й прислухалися, чи не «гуде» вона від тупоту копит коней ворога.

Зрозуміло, що для поширення звуку потрібне пружне середовище, адже це — механічна хвиля.

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Чому кіноепопея «Зоряні війни» належить до жанру фантастики з погляду «фізики звуку»?

2. Характеристики звуку

Спів солов'я, рик лева, удари грому, завивання вітру, дзвін церковних дзвонів, гудок поїзда, свист чайника під час закипання води, ніжні звуки скрипки, гул барабана — це звуки, які викликають неоднакові відчуття, бо вони різняться **тоном і гучністю**.

Сприйняття звуку органами слуху залежить від того, з яких частот складається звукова хвиля. Залежно від частоти людина сприймає звуки як **високі** або **низькі**. Висота тону залежить від його частоти. ***Що вища частота коливань джерела звуку, то вищий тон звуку, і навпаки.***

Звуки навіть одного тону можуть бути різної гучності. Вона визначається **амплітудою** коливань. ***Що більша амплітуда коливань джерела звуку, то гучнішим буде звук, і навпаки.***

Мал. 14.1.
Камертон з резонатором і молоточком

Для настроювання музичних інструментів використовують ***камертони*** (мал. 14.1) — пристрої, що дають так званий чистий тон (звук однієї частоти).

Удар молоточка по камертону спричиняє коливання частинок повітря, до яких дотикаються ніжки камертона. Оскільки площа поверхні цих ніжок мала, то пристрій дає слабкий звук. Щоб підсилити звук камертона, його закріплюють на дерев'яному ящику (резонаторі), підібраному так, щоб частота власних коливань ящика дорівнювала частоті звуку, утворюваного камертоном. Завдяки резонансу стінки ящика починають коливатися з частотою камертона. Амплітуда цих коливань зростає — виникає акустичний резонанс. Звук камертона буде значно гучнішим.

Резонатор відіграє важливу роль у підсиленні звуків музичних інструментів. Підсилювачами є ***деки*** — деталі струнних інструментів, які передають коливання від струн до повітря, роблячи звук значно гучнішим, ніж видає струна сама по собі. Резонатором для підсилення звуків, які утворюють голосові зв'язки людини, є порожнина рота.

Людське вухо сприймає не тільки чисті звуки, а й шуми від роботи різних двигунів, вібрації верстатів, скрипіння старих дерев у бурю, шипіння змії, шелест сухого листя під ногами тощо.

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Хто частіше махає крилами під час польоту — комар, джміль чи муха?
2. Під час суперечки часто підвищують голос. Що змінюється з погляду фізики — амплітуда чи частота звуку?
3. Жаби — тварини дрібні. Завдяки чому вони видають такі гучні звуки?

Одиницею вимірювання гучності є ***децибел*** **(дБ).** Порівнюючи гучність звуку, не можна казати, що вона є більшою в стільки-то разів. Правильно казати так: гучність більша на певну кількість одиниць.

Розглянемо приклади гучності різних звуків (табл. 1).

Таблиця 1

Гучність звуку, дБ	**Відчуття та приклади звуку**
0–10	Практично нічого не чути. Шелест листя
20–30	Шепіт та інші звуки, що ледве розрізняються вухом. Робота внутрішнього блоку кондиціонера
30–40	Звуки тихі, але чітко чутні. Неспішна розмова. Робота холодильника, посудомийної машини
40–45	Нормально чути. Звук кулерів потужного ноутбука
45–60	Звуки не дратують. Рівень шумності відповідає повсякденному життю. Робота кухонної витяжки
60–75	Удома голосно працює телевізор. Шум у торговельному залі магазину
75–90	Від гучної розмови до звуків у вагоні метро. Робота порохотяга, фена, блендера
90–115	Поряд з потужним дизель-генератором, сирена швидкої або іншого спеціального транспортного засобу
120–140	Больовий поріг (індивідуальний для кожної людини)

Звукова хвиля, як і будь-яка хвиля, характеризується швидкістю поширення. У різних середовищах (речовинах) швидкість звуку різна (табл. 2).

Таблиця 2

Середовище (речовина)	**Швидкість звуку, м/с**
Повітря (20 °С)	343
Водень	1284
Вода (20 °С)	1484
Вода морська	1530
Гума	1800
Скло	4500
Сталь	5000

Як видно з таблиці, ***швидкість звуку найменша в газоподібному середовищі, більша — у рідинах, найбільша — у твердих тілах.***

Швидкість звуку зі збільшенням температури середовища зростає.

Запам'ятайте

Звук (звукова хвиля) — поширення у пружному середовищі коливань частотою від 20 Гц до 20 000 Гц.

Що вища частота коливань джерела звуку, то вищий тон звуку, і навпаки.

Що більша амплітуда коливань джерела звуку, то гучнішим буде звук, і навпаки.

Швидкість звуку найменша в газоподібному середовищі, більша — у рідинах, найбільша — у твердих тілах.

Швидкість звуку зі збільшенням температури середовища зростає.

Перевірте себе

1. Дитячий крик частотою 1000 Гц і чоловічий голос частотою 200 Гц сприймаються по-різному, навіть якщо амплітуда їхніх коливань однакова. Чому?
2. Чому, перевіряючи колеса вагонів під час зупинки поїзда, їх обстукують молотком?
3. Чи можуть космонавти / космонавтки, виходячи у відкритий космос, спілкуватися між собою за допомогою звуку?
4. Чому людина не чує звуку від помахів крил метелика під час його польоту?
5. Динамік може створювати звукові хвилі з частотою від 40 Гц до 200 Гц. Визначте, за якої довжини хвилі в повітрі звукова хвиля належить діапазону цього динаміка. Швидкість звуку в повітрі становить 340 м/с.
   А) 0,5 м;
   Б) 1 м;
   В) 5 м;
   Г) 10 м.
6. Довжина звукової хвилі у сталі 11,4 м. Визначте частоту звукової хвилі.
7. Швидкість звуку в повітрі дорівнює 330 м/с, а в сталі — 5 км/с. По одному кінці сталевої залізничної рейки завдовжки 12 м стукнули молотком. Визначте, на скільки пізніше звук від удару дійде до іншого кінця рейки в повітрі, ніж у сталі.
8. Опишіть свій день не через події, а через звуки, які вас супроводжували від ранку до вечора.

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Звук	Sound
Висота тону	Pitch
Гучність звуку	Volume
Камертон	Tuning fork

Лабораторна робота № 3
З'ЯСУВАННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ВИСОТИ ТОНУ ЗВУКУ ВІД ЧАСТОТИ КОЛИВАНЬ ДЖЕРЕЛА

Мета: переконатися на досліді, що висота тону звуку залежить від частоти коливань.

Обладнання: штатив з лапкою, металева лінійка довжиною 25–30 см.

Дотримуйтеся правил безпеки життєдіяльності під час роботи!

Хід роботи

1. Металеву лінійку закріпіть горизонтально в лапці штатива так, щоб вільна частина лінійки становила 20 см.
2. Приведіть у коливальний рух вільний кінець лінійки.
3. Уважно прислухайтеся до звуку, що має виникнути під час коливань.
4. Зменште довжину вільного кінця лінійки до 15 см і приведіть його в коливальний рух. Прислухайтеся знову до звуку, що має виникнути під час коливань.
5. Зменште довжину вільного кінця лінійки до 10 см і приведіть його в коливальний рух. Прислухайтеся знову до звуку, що має виникнути під час коливань.
6. Зменште довжину вільного кінця лінійки до 5 см та приведіть його в коливальний рух. Прислухайтеся знову до звуку, що має виникнути під час коливань.

Проаналізуйте результати експерименту. Зробіть висновок (що саме досліджували під час виконання лабораторної роботи; чи залежить висота тону звуку від частоти коливань джерела).

Додаткове завдання

Чому під час коливань різної довжини вільного кінця металевої лінійки звук змінювався?

§ 15. Луна. Інфра- та ультразвуки в природі та техніці. Екологічні проблеми акустики

У 1883 році в Індонезії вибухнув вулкан Кракатау. Це був один із найгучніших звуків в історії — його почули за 4800 км від епіцентру. Але було дещо більш вражаюче: інфразвукові хвилі від вибуху обійшли Землю щонайменше сім разів. Їх зареєстрували сейсмографи в усьому світі, хоча люди не чули їх вухом. Спробуємо зрозуміти, як цей «безмовний звук» впливає на світ.

Дізнаймося про...

- луну;
- інфразвук;
- ультразвук.

1. Відбивання та поглинання звуку

Звукова хвиля, поширюючись у певному середовищі, частково ним **поглинається**, а коли потрапляє на межу з іншим середовищем (перешкоду), від цієї межі **відбивається**.

Саме з відбиванням звуку пов'язане таке явище, як **луна**. Сутність його полягає в тому, що звук від джерела доходить до перешкоди, відбивається від неї і повертається до того місця, де він утворився. Якщо первинний звук і відбитий звук доходять до слухача не одночасно, то він почує звук двічі (відлуння в горах, у великих порожніх приміщеннях). Звук може відбиватися і декілька разів. Тому ми чуємо гуркотіння грому.

Знання про поглинання та відбивання звуку люди застосовують для створення комфортного середовища. Відомо, що надмірна кількість голосних звуків негативно впливає на їхню роботу та життєдіяльність. Як зменшити цей шумовий вплив? Для цього використовують зовнішні та внутрішні звукоізоляційні матеріали, які послаблюють шумовий ефект.

2. Інфразвук

Ви вже знаєте, що людина сприймає звукові коливання, частота яких від 20 Гц до 20 000 Гц. А що за межами цього діапазону? Хвилі частотою до 20 Гц називають ***інфразвуком***.

Ми живемо у світі інфразвуків, не підозрюючи про це. Інфразвукові хвилі у природі виникають за дуже різноманітних умов: під час обдування вітром будівель, дерев, телеграфних стовпів, металевих конструкцій, руху людей і тварин, грозових розрядів, а також вибухів і пострілів гармат, струсів земної кори.

Розвиток промислового виробництва і транспорту спричинив значне збільшення джерел інфразвуку в навколишньому середовищі та зростання його інтенсивності.

Розглянемо найбільш техногенні джерела інфразвукових коливань у містах (табл. 1).

Таблиця 1

Джерело інфразвуку	**Характерний частотний діапазон інфразвуку**
Автомобільний транспорт	весь спектр інфразвукового діапазону
Залізничний транспорт і трамвай	10–16 Гц
Промислові установки аеродинамічної та ударної дії	8–12 Гц
Вентиляція промислових установок і приміщень; вентиляція метрополітенів	3–20 Гц
Реактивні літаки	до 20 Гц

Основна властивість інфразвуку — незначне поглинання в різних середовищах, унаслідок чого інфразвукові хвилі в повітрі, воді й у земній корі можуть поширюватися на дуже великі відстані.

Цю властивість враховують під час визначення місця сильних вибухів, прогнозування цунамі, землетрусів, виверження вулканів, дослідження верхніх шарів атмосфери та властивостей водного середовища.

Інфразвукові хвилі, що виникають над поверхнею моря під час сильного вітру, називають «голосом моря», який чує чимало морських тварин і птахів. Морські блохи, медузи, кити за багато годин до шторму, почувши його, намагаються відійти на більшу глибину. А в Японії розводять акваріумних рибок, котрі за декілька годин до землетрусу своєю збудженою поведінкою після сприйняття інфразвуку попереджують про наближення стихійного лиха. Інфразвукові хвилі сприймають також коні, коти, собаки, вівці, щурі, миші (мал. 15.1).

Мал. 15.1.
Тварини, які сприймають інфразвукові хвилі

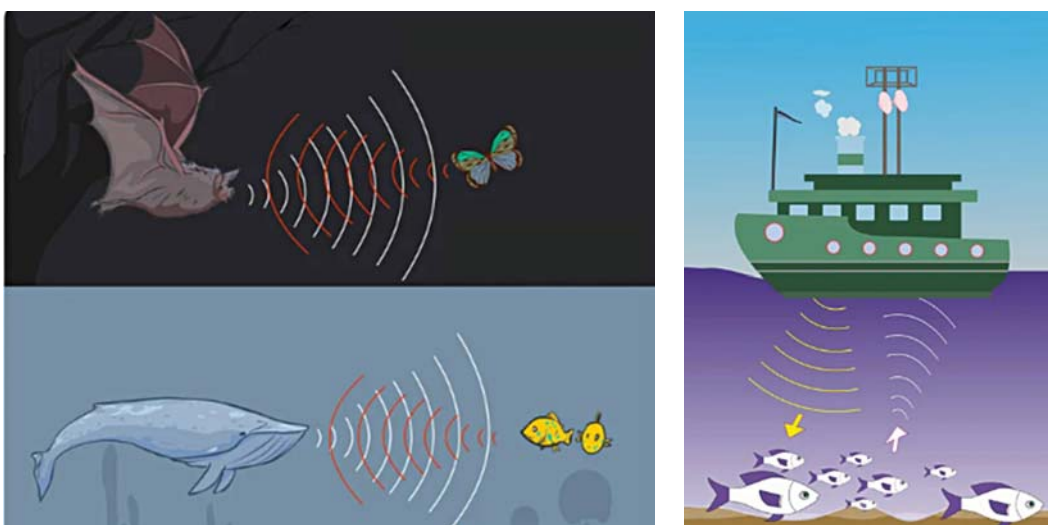
Людина сприймає інфразвук не органами слуху, а всім своїм організмом. Найнебезпечнішими для неї є інфразвукові хвилі частотою від 6 до 9 Гц, які можуть спричинити головний біль, зниження уваги та працездатності, порушення функцій вестибулярного апарату, відчуття тривоги й занепокоєння.

3. Ультразвук

Ультразвук — пружні хвилі високої частоти: від 20 000 Гц і до кількох мільярдів герц.

Людське вухо не сприймає ультразвуку. Але є представники тваринного світу, особливо чутливі до ультразвукових коливань: морські свинки, сови, сірі миші, борсуки, водяні жуки, кішки, собаки, кити, дельфіни, кажани (мал. 15.2, *а*). Дельфіни та кити не лише вловлюють ультразвук, а й використовують його для орієнтування в просторі та добування їжі. За допомогою свого ультразвукового «бачення» кажани виявляють у темряві натягнутий дріт діаметром 0,12–0,50 мм, завдяки чому ці маленькі хижаки вже за 15 хв полювання на комарів, мошок та москітів збільшують масу свого тіла на 10 %. Власники собак використовують ультразвукові свистки для тренувань своїх улюбленців. Згадайте про собак-помічників для людей з обмеженими можливостями. Їх теж тренують за допомогою таких свистків.

Основна властивість ультразвукових хвиль полягає в тому, що їх можна зробити гостронапрямленими і скерувати в певному напрямку



а *б*

Мал. 15.2.
Застосування ультразвуку в природі (*а*) та техніці (*б*)

від джерела. Ця властивість ультразвуку та його здатність відбиватися від об'єктів закладена в основі методу гідролокації (мал. 15.2, *б*): за допомогою спеціальних приладів (сонарів) виявляють на дні моря підводні човни, рифи, підводні частини айсбергів, косяки риб тощо. У медицині ультразвук використовують під час ультразвукової діагностики органів людей і тварин. Унаслідок дії ультразвуку гинуть певні види мікроорганізмів та бактерій.

Запам'ятайте

Луна — явище відбивання звуку від перешкоди.
Інфразвук — хвилі частотою до 20 Гц.
Ультразвук — хвилі частотою понад 20 000 Гц.
Сонар — прилад для виявлення підводних об'єктів за допомогою ультразвуку.

Перевірте себе

1. Чи може виникнути луна в степу? Відповідь обґрунтуйте.
2. Чому в густому лісі важко орієнтуватися за голосом?
3. У природі є нічні метелики, тіло яких покрите спеціальною речовиною, що вбирає ультразвукові хвилі. Чому ця речовина важлива для безпеки метелика?
4. Унаслідок вибуху, здійсненого геологами, у глибину земної кори поширилася ультразвукова хвиля зі швидкістю 4 км/с. Вона відбилася від глибоких шарів атмосфери, і її було зафіксовано через 10 с після вибуху. Визначте глибину, на якій залягає порода, що дуже відрізняється за густиною від земної кори.
5. Турист почув луну в горах через 6 с після вигуку. Визначте відстань між туристом і горою, від якої відбився звук. Швидкість звуку в повітрі дорівнює 340 м/с.
6. Використовуючи різні джерела інформації, підготуйте коротке повідомлення на тему «Ультразвук і його використання в медицині» або «Екологічні проблеми акустики».

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Інфразвук	Infrasound
Ультразвук	Ultrasound
Луна	Echo

§ 16. Електромагнітне поле й електромагнітні хвилі. Швидкість поширення, довжина та частота електромагнітної хвилі

Нам важко уявити своє життя без телевізора, телефону, мікрохвильової печі та інших пристроїв, які роблять його комфортнішим та ефективнішим. Хоча всі ці пристрої необхідні, вони можуть негативно впливати на здоров'я через електромагнітне випромінювання. А що це таке — дізнаємося в цьому параграфі.

Дізнаймося про...

- джерела та властивості електромагнітного поля;
- електромагнітні хвилі та їхні характеристики;
- вплив електромагнітного поля на організм людини.

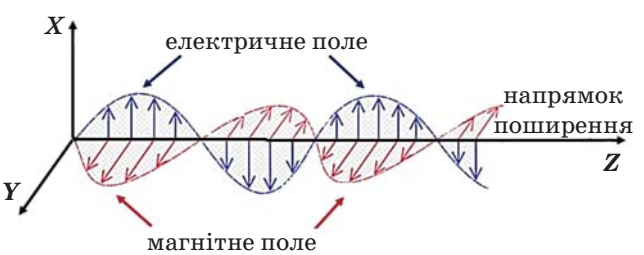
1. Електромагнітне поле та його властивості

У параграфі 9 ви вже дізналися про електромагнітне поле. Згідно з теорією Дж. Максвелла, змінні електричне та магнітне поля тісно пов'язані одне з одним, утворюючи єдине **електромагнітне поле**.

Існують природні та штучні джерела електромагнітного поля. До природних джерел належать Земля, Сонце, швидкі заряджені частинки, що доходять до нас із космосу. До штучних джерел зараховують електромережі (особливо високовольтні лінії електропередач), електроприлади, телекомунікаційне обладнання тощо.

Електромагнітне поле має низку властивостей:

- це особливий вид матерії, за допомогою якої відбувається взаємодія заряджених частинок і магнітів;
- поширюється не тільки в різних середовищах, а й у вакуумі;
- переносить енергію — передає енергію від джерела до приймача;
- поширюється у вигляді електромагнітних хвиль (мал. 16.1).



Мал. 16.1. Поширення електромагнітної хвилі

2. Електромагнітні хвилі та їхні характеристики

Джерелом електромагнітної хвилі може бути або заряджене тіло, що рухається з прискоренням, або провідник, через який тече змінний струм (про змінний струм ви дізнаєтеся в старших класах). Адже навколо них утворюється змінне магнітне поле, що породжує змінне електричне поле, яке знову породжує змінне магнітне поле, і т. д. Необхідно пам'ятати, що потужне змінне електромагнітне поле виникає навколо всіх ліній електропередач. Електромагнітне поле може існувати й поширюватися самостійно навіть після того, як зникли причини, які його зумовили.

Електромагнітна хвиля — поширення у просторі коливань змінного електромагнітного поля.

Електромагнітні хвилі теоретично передбачив Джеймс Максвелл, а експериментально виявив німецький фізик Генріх Герц. Досліджуючи їхні властивості, він установив, що електромагнітні хвилі:

- в однорідному середовищі поширюються рівномірно й прямолінійно;
- відбиваються від провідних предметів;
- заломлюються на межі середовища (діелектрика);
- частково поглинаються речовиною і частково розсіюються нею;
- огинають перешкоди;
- накладаються одна на одну.

На відміну від механічних хвиль, електромагнітні хвилі є тільки поперечними. У них відбуваються коливання змінного електричного поля перпендикулярно до змінного магнітного поля, і вони обидва коливаються перпендикулярно до напрямку поширення (мал. 16.1).

У середовищі електромагнітні хвилі поширюються зі скінченною швидкістю. Швидкість їх поширення у вакуумі дорівнює 300 000 км/с. Майже такою самою, як у вакуумі, є швидкість поширення електромагнітної хвилі в повітрі.

Електромагнітна хвиля, як і механічна, характеризується довжиною та частотою. Ці величини зв'язані формулою:

$$\upsilon = \lambda\nu.$$

Якщо електромагнітна хвиля переходить з одного середовища в інше, то частота хвилі залишається незмінною, але змінюються довжина хвилі та швидкість її поширення.

Електромагнітні хвилі широко застосовують у радіозв'язку, телекомунікації, медицині, астрономічних дослідженнях та різних галузях промисловості.

3. Вплив електромагнітного поля на організм людини

З'ясуємо, як електромагнітне поле впливає на організм людини (мал. 16.2).

Електромагнітні поля негативно позначаються на організмі людини, особливо тієї, котра безпосередньо працює із джерелом випромінювання. Вони завдають шкоди нервовій системі, спричиняють головний біль і сильну втому, зумовлюють розвиток неврозів, безсоння, зниження точності робочих рухів, млявість, порушення в системах та органах травлення.

Мал. 16.2.
Вплив електромагнітного випромінювання на організм людини

Цілком уникнути впливу електромагнітного поля на організм практично неможливо. Однак можна значно зменшити його шкідливий вплив, дотримуючись певних порад:

- обмежити тривалість перебування в місцях сильного електромагнітного поля;
- якщо в приміщенні є розподільні щити чи невідомі кабелі, то відстань від них до меблів має бути якомога більшою;
- безпечнішими є електроприлади з металевим корпусом, бо такий корпус має здатність поглинати електромагнітне випромінювання.

Запам'ятайте

Електромагнітна хвиля — поширення у просторі коливань змінного електромагнітного поля.

Перевірте себе

1. Заповніть таблицю, вважаючи, що хвилі поширюються у вакуумі.

Джерело хвилі	Довжина хвилі	Частота хвилі
Лінії електропередачі		50 Гц
Інфрачервоні обігрівачі	50 мкм	
Магнітно-резонансний томограф		1,5 МГц
Ультрафіолетові лампи в соляріях	311 нм	

2. Скільки часу потрібно радіохвилі, щоб подолати в повітрі відстань 50 км?
3. Під час переходу електромагнітної хвилі з вакууму в інше середовище довжина хвилі зменшилася в 3 рази. У скільки разів і як змінилася швидкість поширення хвилі?
4. У пустелі зняли відео піщаної бурі за допомогою дрона, який передавав зображення у вигляді електромагнітних хвиль із частотою

2,4 ГГц. Відомо, що швидкість поширення електромагнітних хвиль у повітрі приблизно дорівнює 300 000 км/с. Визначте: а) довжину хвилі цього сигналу; б) час, за який сигнал доходить до приймача, що перебуває на відстані 1,5 км до нього.

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Електромагнітне поле	Electromagnetic field
Електромагнітна хвиля	Electromagnetic wave

§ 17. Шкала електромагнітних хвиль. Властивості електромагнітних хвиль. Електромагнітні хвилі у природі й техніці

Наш простір постійно пронизується величезною кількістю різноманітних електромагнітних хвиль. Кожна з них «несе» певну інформацію. Чи багато із цього потоку інформації ми здатні розшифрувати самостійно, через наші органи чуття?

Дізнаймося про...

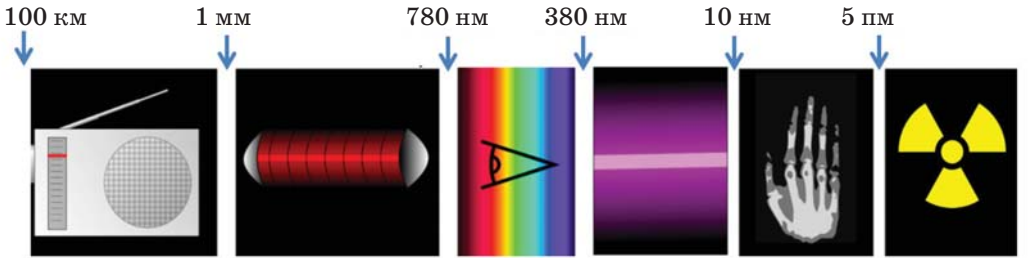
- різноманіття електромагнітних хвиль;
- джерела електромагнітних хвиль різного діапазону;
- властивості електромагнітних хвиль різного діапазону;
- застосування електромагнітних хвиль різного діапазону.

1. Шкала електромагнітних хвиль

Оскільки електромагнітних хвиль є дуже багато (довжиною від десятків кілометрів до мільярдної долі міліметра) і вони мають різні властивості, то класифікують ці хвилі за властивостями, що їх об'єднують. Такою класифікацією є **шкала електромагнітних хвиль** — розміщення електромагнітних хвиль у порядку зростання їхньої частоти (зменшення довжини).

На мал. 17.1 зображено шкалу електромагнітних хвиль.

Першими в шкалі є **радіохвилі**. Їхній діапазон великий: від сотень кілометрів до міліметрів, тому їх поділяють на наддовгі хвилі (більше



Мал. 17.1.
Шкала електромагнітних хвиль

10 км), довгі хвилі (від 10 км до 1 км), середні (від 1 км до 100 м), короткі (від 100 м до 10 м) та ультракороткі (від 10 м до 1 мм).

Наступним є **інфрачервоне випромінювання** — електромагнітні хвилі довжиною від 1 мм до 780 нм.

Далі — **видиме випромінювання:** електромагнітні хвилі, які сприймає наше око у вигляді кольорів світла (від червоного — 780 нм — до фіолетового — 380 нм).

Ще меншу довжину має **ультрафіолетове випромінювання:** від 380 нм до 10 нм.

Рентгенівське випромінювання — діапазон довжин від 10 нм до 5 пм.

І найменшу довжину хвилі (менше 5 пм), а відповідно найбільшу частоту (більше $6 \cdot 10^{19}$ Гц) має **гамма-випромінювання**.

Зауважуємо, що немає чітких меж між різними діапазонами електромагнітних хвиль, як указано вище. Наприклад, хвилю з довжиною 10 нм можна зарахувати й до ультрафіолетового випромінювання, і до рентгенівських променів.

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Які електромагнітні хвилі, на вашу думку, є найбільш проникними й чому?

2. Радіохвилі

Електромагнітні хвилі, що мають довжину, більшу за 1 мм, зараховують до радіохвиль. Використовують їх для радіозв'язку. Оскільки довжини різних радіохвиль суттєво різняться, то вони неоднаково поширюються у просторі й відповідно їх використовують для різного виду зв'язку.

Наддовгі й довгі радіохвилі поширюються вздовж поверхні землі однаково добре і вдень, і вночі, слабко поглинаються водою, тому наддовгі хвилі використовують для зв'язку з підводними човнами. Довгі хвилі застосовують для радіомовлення. Але для того, щоб наддовгі й довгі хвилі поширювалися на велику відстань, необхідно мати потужний радіопередавач.

Середні хвилі використовують для радіомовлення, удень вони сильно поглинаються йоносферою, тому можна чути тільки близькі радіостанції. Уночі — частково відбиваються від йоносфери, тому чути й більш віддалені радіостанції.

Короткі хвилі сильно відбиваються від йоносфери й від поверхні Землі — вони можуть обігнути нашу планету й повернутися до радіостанції, яка їх випромінила. На коротких хвилях працює багато радіостанцій для радіомовлення, їх також використовують для зв'язку з літаками та кораблями.

Ультракороткі хвилі не поглинаються йоносферою і не відбиваються від неї, тому їх застосовують для зв'язку з космічними апаратами, для телебачення, радіолокації, радіомовлення (FM-станції). Такі радіохвилі поширюються в межах прямої видимості: між радіостанцією і радіоприймачем не має бути жодної перешкоди — гір, будинків тощо.

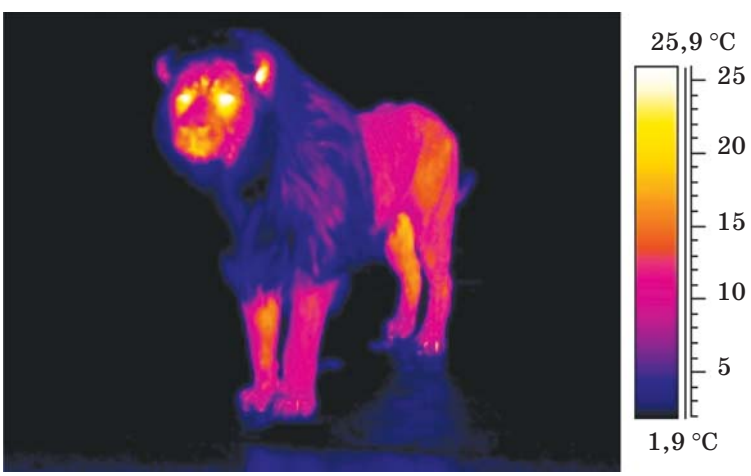
3. Інфрачервоне випромінювання

Інфрачервоне випромінювання ще називають «тепловим» випромінюванням, бо його випромінює будь-яке тіло, що має температуру, вищу за температуру навколишнього середовища. Воно сприймається нашою шкірою як тепло. Деякі тварини (змії, кажани) бачать інфрачервоні промені, завдяки чому краще орієнтуються у просторі.

Найбільшим джерелом інфрачервоного випромінювання для нас є Сонце. У домашніх умовах — це піч, камін, обігрівач, батареї.

Інфрачервоне випромінювання використовують для сушіння лакофарбових поверхонь, стерилізації харчових продуктів, обігрівання приміщень.

Прилади нічного бачення (тепловізори) перетворюють інфрачервоне випромінювання на видиме, тому вночі видно об'єкти, які його випромінюють (мал. 17.2).



Мал. 17.2. Зображення лева в тепловізорі

4. Видиме випромінювання

Цікавий факт: з усіх наших органів чуття найбільше інформації про навколишній світ (понад 90 %) ми отримуємо завдяки світлу — електромагнітним хвилям, які сприймає наше око. А якщо глянути на шкалу електромагнітних хвиль (мал. 17.1), то побачимо, що діапазон видимого випромінювання займає там менше 1 %.

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Чи достатньою мірою наші органи чуття здатні розшифровувати інформацію, яку переносять електромагнітні хвилі?

Наше око формує зображення завдяки паличкам і колбочкам — світлочутливим рецепторам, які є на його сітківці. Колбочки складаються з молекул, які чутливі до світла різного кольору, тобто різної довжини хвилі (табл. 1), тому дають змогу все бачити в кольорі.

Таблиця 1

Колір	Діапазон довжин хвиль, нм
Червоний	625–780
Помаранчевий	590–625
Жовтий	565–590
Зелений	500–565
Блакитний	485–500
Синій	440–485
Фіолетовий	380–440

Палички не сприймають кольору світла, проте чутливі до світла загалом, тому в разі поганої освітленості бачимо чорно-біле зображення.

5. Ультрафіолетове випромінювання

Ультрафіолетове випромінювання, маючи довжину хвилі, меншу за 380 нм, на відміну від уже описаних видів випромінювань, здатне проникати в речовину. Так, потрапляючи в зовнішні шари нашої шкіри, воно спричиняє певні хімічні реакції, наслідком яких є утворення засмаги. Надмірна доза ультрафіолету шкідлива для всього живого.

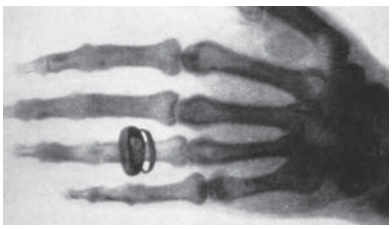
Найпотужнішим джерелом ультрафіолетових променів є Сонце. Проте більшу їх частину поглинає озоновий шар нашої атмосфери.

Штучне джерело ультрафіолетових променів — кварцова лампа. Її використовують у медичних приміщеннях для знезараження повітря (вбиває бактерії), у соляріях — для штучної засмаги, у стоматології — для пришвидшення твердіння пломби.

Ультрафіолетове випромінювання руйнує сітківку ока, тому, наприклад, альпіністам обов'язково потрібно мати захисні окуляри, оскільки на висотах, які вони долають, рівень ультрафіолету значно вищий.

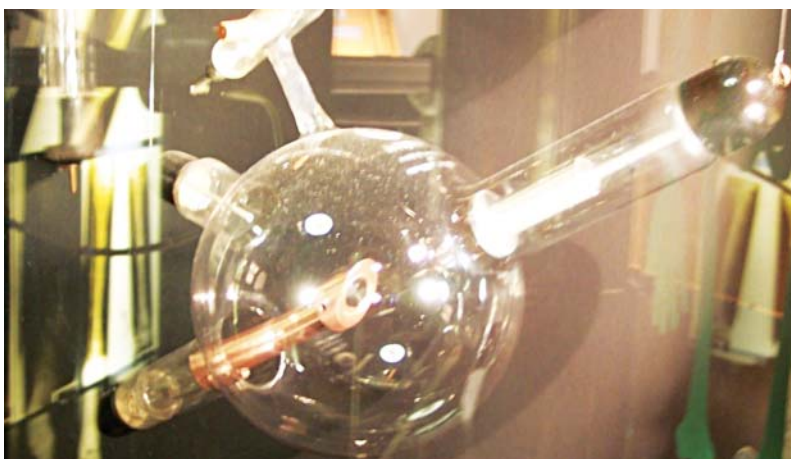
6. Рентгенівське випромінювання

Рентгенівське випромінювання є більш проникним, ніж ультрафіолетове, оскільки довжина його хвилі менша. Для прикладу, воно здатне наскрізь пройти через м'які тканини нашого організму (мал. 17.3).



Мал. 17.3.
Рентгенівський знімок кисті руки

Природним джерелом рентгенівського випромінювання є Сонце. Штучним — спеціальна лампа, яку називають рентгенівською трубкою (мал. 17.4).



Мал. 17.4.
Рентгенівська трубка

Випромінювання дістало назву «рентгенівське» на честь німецького фізика Вільгельма Рентгена, який у 1895 році дослідив ці промені.

Проте цілком імовірно, що вони мали б назву «пулюївські», якби українець, уродженець Тернопільщини, електротехнік і фізик Іван Пулюй ще у 1889 році детальніше дослідив це випромінювання. Працюючи у Віденському університеті над конструюванням електричних ламп, він як побічний ефект отримав «катодні промені», тому не надав їм суттєвого значення.

Рентгенівське випромінювання називають ще Х-промені. Його використовують у медицині для отримання знімків кісток організму, для флюорографічного обстеження легень; у техніці — для дослідження структури речовини.

Вільгельм Рентген

Іван Пулюй

7. Гамма-випромінювання

Гамма-промені — це електромагнітні хвилі, які мають ще меншу довжину, ніж рентгенівські, тому є найбільш проникними. Захиститися від гамма-променів можна, наприклад, шаром свинцю товщиною 20 см чи шаром бетону товщиною кілька метрів.

Джерелом гамма-променів є радіоактивні ядра.

Гамма-промені небезпечні для живих організмів, проте їх застосовують у медицині для боротьби із злоякісними утвореннями, для діагностики організму.

У техніці їх використовують для проведення гамма-дефектоскопії та гамма-активаційного аналізу.

У сільському господарстві гамма-промені застосовують для збільшення терміну зберігання продуктів, боротьби зі шкідниками, бактеріями, пліснявою та грибками.

Запам'ятайте

Шкала електромагнітних хвиль — розміщення електромагнітних хвиль у порядку зростання їхньої частоти (зменшення довжини).

Радіохвилі — електромагнітні хвилі, які мають довжину понад 1 мм.

Інфрачервоне випромінювання — електромагнітні хвилі, які мають довжину, більшу від довжини хвилі червоного світла.

Видиме світло — електромагнітні хвилі, які мають довжину від 380 нм до 780 нм.

Ультрафіолетове випромінювання — електромагнітні хвилі, які мають довжину, меншу від довжини хвилі фіолетового світла.

Рентгенівське випромінювання — електромагнітні хвилі, які мають довжину від 5 пм до 10 нм.

Гамма-випромінювання — електромагнітні хвилі, які мають довжину, меншу за 5 пм.

Перевірте себе

1. Завдяки чому Сонце гріє Землю?
2. Над Антарктидою є велика озонова діра. Чим небезпечна вона для наших дослідників на станції «Академік Вернадський»?
3. З якою швидкістю поширюються рентгенівські промені?
4. Яка максимальна частота коливань у радіохвилі ультракороткого діапазону?
5. До яких електромагнітних хвиль належить випромінювання частотою 500 ТГц?

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Радіохвилі	Radio waves
Інфрачервоне випромінювання	Infrared radiation
Ультрафіолетове випромінювання	Ultraviolet radiation
Рентгенівське випромінювання	X-ray radiation
Гамма-випромінювання	Gamma radiation

§ 18. Фізичні основи сучасних бездротових засобів зв'язку та комунікацій

Для того щоб визначити відстань до небесних тіл у нашій Сонячній системі, рулетка нам не допоможе, математичні розрахунки не завжди дадуть точні результати, а от радіохвилям це під силу. У який спосіб — з'ясуємо.

Дізнаймося про...

- радіозв'язок;
- мобільний зв'язок;
- радіорелейний і супутниковий зв'язок;
- радіолокацію;
- технології бездротового під'єднання до інших пристроїв та мереж.

1. Радіозв'язок

Радіохвилі на шкалі електромагнітних хвиль мають великий діапазон. Особливістю цих хвиль є те, що їх можна використовувати для радіозв'язку.

Радіозв'язок — передавання музики й мовлення на відстань за допомогою електромагнітних хвиль.

Передавати їх можна також, використовуючи дротовий зв'язок, тягнучи проводи від абонента до абонента. Але в такому випадку є певні обмеження.

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Які недоліки дротового зв'язку з технічного та економічного погляду?

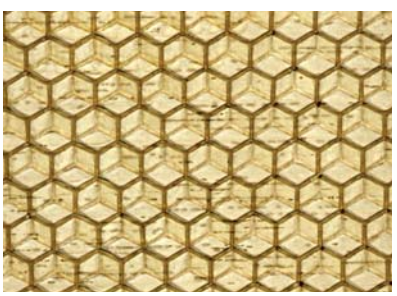
Оскільки виготовлення проводів, прокладання ліній зв'язку, під'єднання їх до абонентів пов'язані із суттєвими матеріальними затратами, та й «пропускна» здатність таких ліній обмежена, то саме бездротовий зв'язок (зв'язок за допомогою радіохвиль) дуже доречний.

Про властивості наддовгих, довгих, середніх та коротких хвиль ви вже дізналися з попереднього параграфа. Зупинимося детальніше на застосуванні ультракоротких хвиль, оскільки їх використовують у великій кількості пристроїв, без яких важко уявити свій побут.

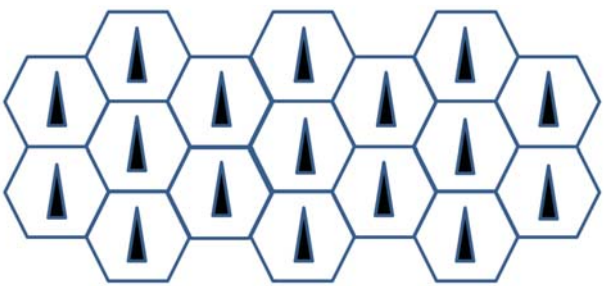
2. Мобільний радіозв'язок

Мобільний радіозв'язок — вид радіозв'язку, за якого один або обидва абоненти можуть переміщуватися (перебувати в русі).

Основним видом мобільного зв'язку є **стільниковий зв'язок**. Називають його стільниковим тому, що за основу його структури взято бджолині стільники (мал. 18.1).



Мал. 18.1.
Бджолині стільники

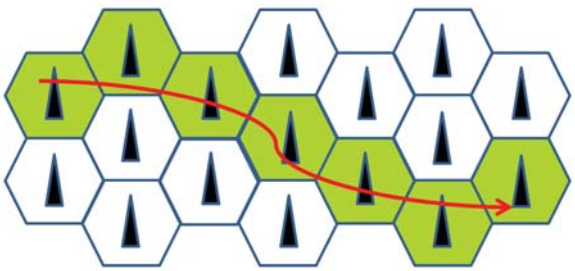


Мал. 18.2.
Мобільні стільники

Особливість стільникового зв'язку полягає в тому, що територія, яку обслуговує мобільний оператор, поділена на окремі ділянки (стільники) площею приблизно 25 км^2 (мал. 18.2).

У центрі кожного стільника є базова станція (мал. 18.3). З нею ваш телефон постійно підтримує зв'язок, періодично обмінюючись певними сигналами. Якщо ви подорожуєте, наприклад, автомобілем, то, залишивши зону дії однієї базової станції, потрапляєте в зону дії другої базової станції, потім третьої і так далі (мал. 18.4).

Мал. 18.3.
Базова станція стільникового зв'язку



Мал. 18.4.
Принцип дії стільникового зв'язку

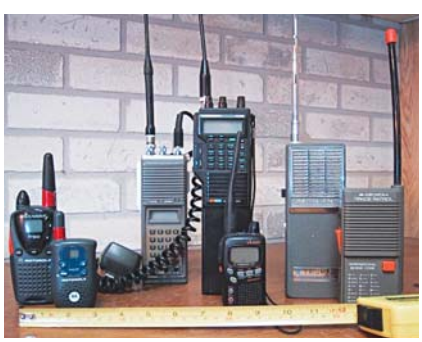
Отже, ваш телефон завжди готовий до здійснення дзвінка чи його приймання. Якщо в якійсь місцевості, наприклад у горах, антени базових станцій розміщені рідше, то можлива втрата зв'язку. Це відбувається тому, що ви вийшли із зони дії однієї базової станції і ще не потрапили в зону дії сусідньої.

Мобільний телефон — це два радіопристрої в одному: передавач і приймач, які працюють на радіохвилях різних частот. Завдяки цьому можна одночасно й говорити, і слухати співрозмовника.

Така можливість відсутня в іншому мобільному пристрої — **рації.**

Раціями (мал. 18.5) користуються поліцейські, пожежники, військові. Вони є на кораблях, літаках. Їх застосовують в автотранспорті.

У раціях передавання і приймання інформації здійснюється на радіохвилі однієї частоти. Тому абоненти спілкуються по черзі: спочатку один говорить, потім перемикається на прийом і слухає свого співрозмовника. Отже, стільниковий принцип відсутній. Рації з'єднані з однією базовою станцією або тільки між



Мал. 18.5.
Рації

собою. Тому радіус дії такого зв'язку обмежується декількома кілометрами, але зберігається мобільність.

3. Радіорелейний зв'язок

Ультракороткі радіохвилі використовують також для радіорелейного зв'язку. Принцип його дії дещо подібний до стільникового: інформація передається з однієї точки в іншу за допомогою радіохвиль через серію ретрансляторів. Ретранслятори розміщують один за одним у зоні прямої видимості (на відстані 40–50 км один від одного). Це високі вежі (мал. 18.6), на яких розміщені приймальна та передавальна антени. Ретранслятор приймає напрямлену на нього радіохвилю, підсилює її і випромінює в напрямку наступного ретранслятора й т. д.

Мал. 18.6.
Вежа радіорелейного зв'язку

4. Супутниковий зв'язок

Супутниковий зв'язок — радіорелейний зв'язок, який покриває велику площу. Для супутникового зв'язку ретранслятором є сам супутник зв'язку (мал. 18.7).

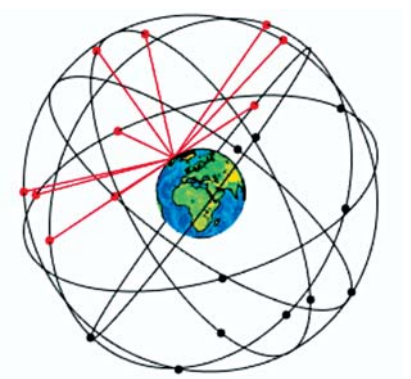
Мал. 18.7.
Супутник зв'язку

Відбувається все так: напрямлена радіохвиля приймається супутником, підсилюється і випромінюється назад на Землю, покриваючи велику площу її поверхні.

Супутниковий зв'язок використовують для супутникового телебачення, супутникового мобільного зв'язку, супутникового інтернету.

Окрім цього, завдяки супутникам можна здійснювати GPS-навігацію — визначати точне місце перебування, швидкість руху, обирати оптимальний маршрут руху.

Для цього на навколоземній орбіті розміщено цілу систему супутників, із частиною яких одночасно взаємодіє мобільний пристрій (мал. 18.8).



Мал. 18.8.
GPS-навігація

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Визначте за допомогою телефону ваші точні координати й ваше місце перебування на Google Maps.

5. Радіолокація

На всіх кораблях, літаках, у кожному аеропорту є радіолокатори. Без них не можуть обійтися також наші військові та науковці / науковиці. Річ у тім, що завдяки **радіолокатору** (мал. 18.9) можна виявляти об'єкти в просторі (наприклад, літаки) і визначати відстань до них.

Метод виявлення об'єктів у просторі та визначення відстані до них за допомогою радіохвиль називають ***радіолокацією***.

Радіолокація ґрунтується на властивості електромагнітних хвиль відбиватися від провідних поверхонь, наприклад металів.

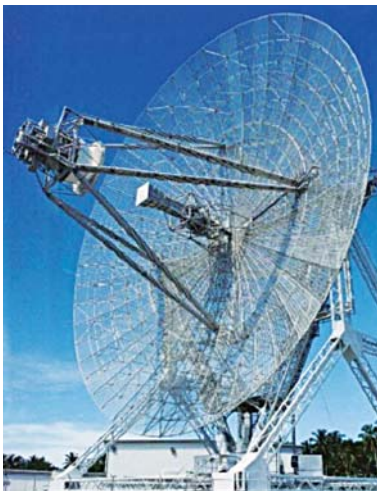
Радіолокатор працює в імпульсному режимі: випромінює короткочасно напрямлену потужну радіохвилю (тривалістю мільйонні частки секунди) і значно довше (впродовж тисячних часток секунди) чекає на її повернення. За цей час хвиля доходить до об'єкта, відбивається від нього, частково розсіюється у просторі й дуже послаблена повертається до антени радіолокатора (мал. 18.10).

За часом t проходження електромагнітної хвилі до об'єкта й назад, знаючи швидкість її поширення в повітрі ($c \approx 300\,000$ км/с), можна визначити відстань R до нього:

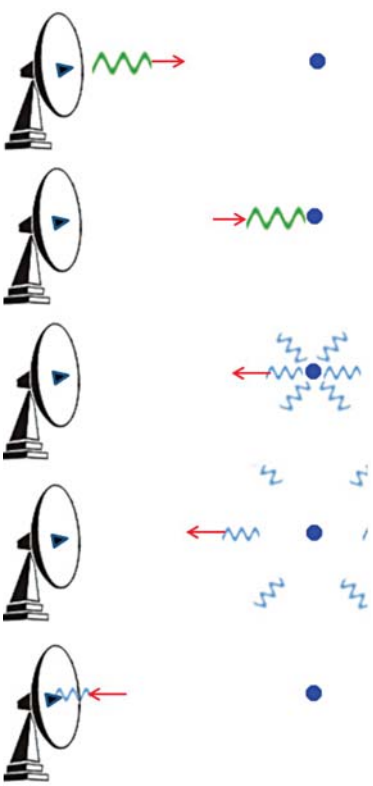
$$R = \frac{ct}{2}.$$

6. Технології бездротового під'єднання до пристроїв та мереж

Поряд з традиційними засобами радіозв'язку стрімко ввійшли в наше життя нові, які дають можливість приєднатися до інших



Мал. 18.9.
Радіолокатор



Мал. 18.10.
Принцип дії радіолокатора

пристроїв чи мереж, не використовуючи жодних кабелів. Відбувається це за допомогою радіохвиль. До таких технологій належать **Bluetooth** та **Wi-Fi** (мал. 18.11; мал. 18.12). Основним їхнім недоліком є дуже обмежений радіус дії — до десятка метрів.

Мал. 18.11.
Bluetooth

Мал. 18.12.
Wi-Fi-роутер

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Оцініть з вашого досвіду переваги й недоліки Bluetooth та Wi-Fi.

Запам'ятайте

Радіозв'язок — передавання музики й мовлення на відстань за допомогою електромагнітних хвиль.

Мобільний радіозв'язок — вид радіозв'язку, за якого абоненти можуть спілкуватися між собою, перебуваючи в русі.

Стільниковий зв'язок — вид мобільного радіозв'язку, в основі якого — стільникова мережа.

Радіорелейний зв'язок — радіозв'язок по лінії, утвореній ланцюжком приймально-передавальних (ретрансляційних) радіостанцій.

Супутниковий зв'язок — один з видів космічного радіозв'язку, що ґрунтується на використанні штучних супутників Землі, на яких змонтовано ретранслятори.

Радіолокація — метод виявлення об'єктів у просторі й визначення відстані до них за допомогою радіохвиль.

Перевірте себе

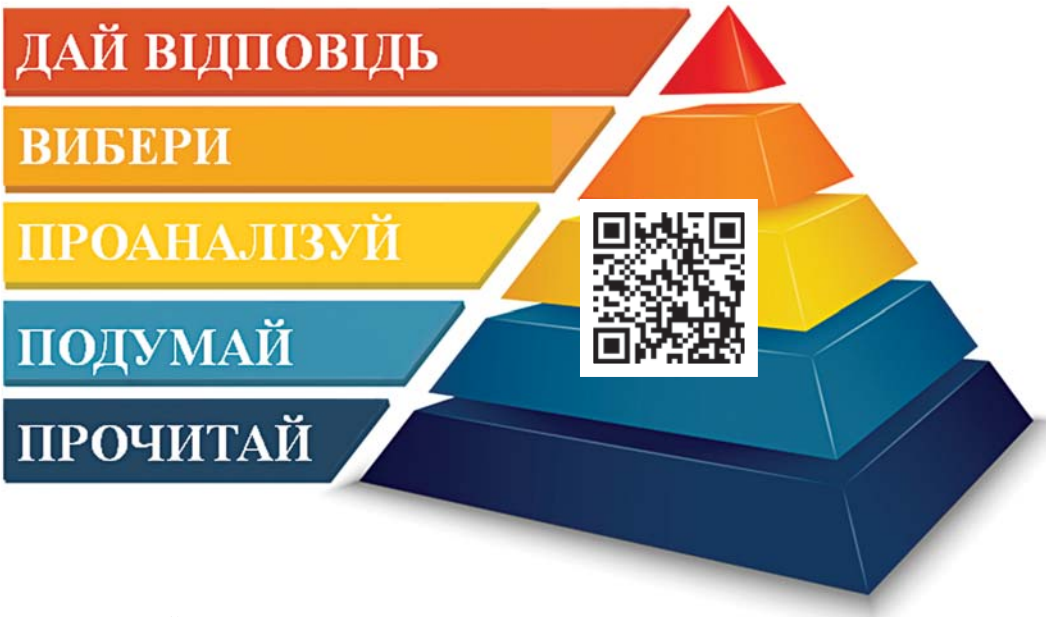
1. Чи можна за допомогою радіолокатора виявити в морі дерев'яну яхту?

2. Чому зв'язок між Wi-Fi-роутером і вашим мобільним телефоном погіршиться або й зовсім зникне, якщо ви вийдете з будинку чи квартири?
3. Як взаємодіє смарт-годинник з вашим телефоном?
4. Чи впливають погодні умови на здійснення супутникового зв'язку?
5. Чому антени базових станцій стільникового зв'язку розміщують на пагорбах і дахах висотних будинків, а не в низинах чи між будинками?
6. Електромагнітний імпульс, випущений радіолокатором у напрямку літака, повернувся назад через 80 мс. Визначте відстань до літака. Що ще потрібно знати, щоб вирахувати висоту, на якій він перебуває?
7. Відстань до Місяця, визначена вперше англійцями за допомогою радіолокатора ще в 1958 році, становила 384 402 км. Визначте час, за який радіоімпульс повернувся до радіолокатора.
8. Стільниковий зв'язок здійснюється на частотах від 450 МГц до 3000 МГц. Визначте діапазон довжин цих хвиль.

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Радіозв'язок	Radio communication
Стільниковий зв'язок	Cellular communication
Супутниковий зв'язок	Satellite communication
Радіолокація	Radar/radiolocation
Радіолокатор	Radiolocator

Здійсніть самоперевірку (https://9klas.academiabook.club/fizyka/f-s3)



Виконайте проєкт, дотримуючись алгоритму (додаток 1)

Орієнтовні теми проєктів:

- Як дельфіни спілкуються між собою?
- Вплив вібрацій та шумів на живі організми.
- У світі електромагнітних хвиль.
- У світі нечутних звуків.

Світлові явища

§ 19. Природа світла (корпускулярно-хвильова теорія). Швидкість поширення світла. Джерела та приймачі світла. Зорі — потужні природні джерела світла

В українській пісні є такі слова: «Вже дарує сонечко новий нам день...». Ці слова про диво, яке відбувається щодня над горизонтом. Промені світла розганяють темряву, пробуджують життя і відкривають світ для наших очей. А що ж таке світло? Як воно подорожує в просторі й чому здатне так змінювати все довкола? Відповіді на ці запитання знайдемо, вивчаючи природу світла.

Дізнаймося про...

- природу світла;
- джерела та приймачі світла;
- зорі як природні джерела світла.

Пригадайте вивчене

Багато процесів, що відбуваються на Землі, зумовлені тепловою енергією, джерело якої — електромагнітне випромінювання Сонця. Між Сонцем і Землею є безповітряний простір, тому енергія не може передаватися ні теплопровідністю, ні конвекцією. Вона надходить до Землі й до інших планет у вигляді випромінювання.

Випромінювання Сонця досягає Землі, пройшовши крізь безповітряний простір приблизно 150 мільйонів кілометрів. 30 % сонячного випромінювання відбивається атмосферою Землі, а ще 20 % нею поглинається. Лише 50 % енергії Сонця досягає поверхні нашої планети.

1. Природа світла

Світло — одна з найдивовижніших загадок природи, відповідь на яку науковці й науковиці шукали понад 2000 років. 1675 року англійський науковець Ісаак Ньютон припустив, що світло є потоком дуже дрібних частинок, і запропонував теорію, яка отримала назву ***«корпускулярна теорія світла»*** (у перекладі з латини «корпускулум» — частинка).

Майже одночасно з І. Ньютоном (у 1690 р.) нідерландський науковець Християн Гюйгенс запропонував ***хвильову теорію світла***, згідно з якою світло поширюється подібно до хвиль, які утворюються після падіння у воду каменя.

Протягом кількох століть між прихильниками корпускулярної та хвильової теорій світла відбувалися запеклі дискусії. Адже одні експериментальні дослідження підтверджували першу теорію, інші — другу.

Лише в першій половині XX ст. науковці дійшли висновку, що світло поєднує в собі і властивості частинок, і властивості хвиль, тобто йому притаманний ***корпускулярно-хвильовий дуалізм*** — подвійність властивостей.

Світло випромінюється і поглинається речовиною не суцільним потоком, а окремими порціями — квантами (фотонами), а в просторі поширюється як електромагнітна хвиля.

Ще однією особливістю світла є те, що воно поширюється у вакуумі з найбільшою в природі швидкістю — 300 000 км/с. Майже такою самою, як у вакуумі, є швидкість поширення світла в повітрі.

Розділ фізики, який досліджує природу світла, з'ясовує закономірності його поширення та взаємодії з речовиною, називають ***оптикою***.

Явища, пов'язані з випромінюванням, поглинанням і поширенням світла, називають ***світловими, або оптичними, явищами***.

2. Джерела й приймачі світла

Ми бачимо різні тіла завдяки тому, що світло, яке відбивається від них, потрапляє нам в очі. Деякі тіла самі випромінюють світло в навколишній простір. Їх називають ***джерелами світла***.

Атоми та молекули цих тіл перебувають у збудженому стані й мають надлишок енергії. Цю «надлишкову» енергію частинки випромінюють.

Можливо, вам доводилося спостерігати за горінням вугілля. Розжарене до червоного кольору (1500 °С), воно стає джерелом світла. Нагрітий до 2700 °С вольфрамовий волосок лампи розжарювання теж стає джерелом світла.

Нагріті тіла, що випромінюють світло, називають ***тепловими (гарячими) джерелами світла***.

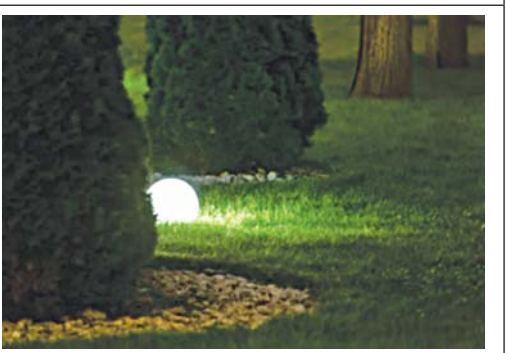
Світіння холодних джерел світла також спричинене випромінюванням атомів і молекул, що перебувають у збудженому стані. Однак у холодних джерелах світла атоми та молекули переходять у збуджений стан не завдяки зіткненням під час теплового руху, а внаслідок інших процесів, зокрема хімічних реакцій.

Люмінесцентні (холодні) джерела світла — тіла, що світяться за температури, близької до кімнатної.

Холодними джерелами світла є планктон, екрани ввімкнутих мобільного телефону та ноутбука, люмінесцентні лампи.

Джерела світла поділяють на природні (створені природою) та штучні (створені людиною) (табл. 1).

Таблиця 1

Природні джерела	Штучні джерела
	

Точкові джерела світла — фізичні моделі джерел світла, розмірами яких можна знехтувати порівняно з відстанню до них. Так, зорі відносно Землі, лампочка кишенькового ліхтарика відносно шкільної дошки — це приклади точкових джерел світла.

Джерела світла, розмірами яких не можна нехтувати за умов спостереження, називають ***протяжними***. Кожну точку поверхні такого джерела можна вважати окремим точковим джерелом світла.

Прикладами таких джерел є лампи денного світла, рекламні щити, які розглядаємо з близької відстані. Відносно Землі та Місяця Сонце вважають протяжним джерелом світла, і це підтверджує сонячне затемнення, про яке ви дізнаєтеся в наступному параграфі.

Приймачі світла — природні та штучні пристрої, що перетворюють енергію світла на інші види енергії.

Для людей і тварин найважливіший природний приймач світла — очі, у яких енергія світла перетворюється на нервові імпульси, що передаються в мозок. Зелені рослини також є приймачами світла; вони використовують енергію світла для фотосинтезу — перетворення енергії світла на хімічну енергію.

Людина створила багато штучних приймачів світла. Серед них: фотоплівка, яку використовують у фотоапаратах; фотоелементи, які застосовують для відчинення дверей, контролю освітлення вулиць міст і приміщень, зчитування штрихкодів; сонячні батареї, у яких енергія сонячного світла перетворюється на електричну.

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Що спільного в «сонячному» й «місячному» сяйві? Чим вони різняться?

3. Зорі — потужні природні джерела світла

Сонце — не єдина зоря у Всесвіті, що випромінює тепло й світло. Усі зорі є джерелами енергії. Якщо дивитися на них неозброєним оком, то їхні розміри значно менші за розмір Сонця; колір видається однаковим, а яскравість істотно слабша за сонячну, бо розташовані вони на відстанях, у сотні тисяч або навіть мільйони разів більших за відстань від Землі до Сонця (мал. 19.1).

Мал. 19.1.
Зоряне небо

А якщо подивитися в телескоп, стає зрозуміло, що їхні кольори різняться: серед них є червоні, жовті, білі та блакитні.

Це невипадково. Кольори свідчать про температуру зорі: холодніші зорі мають червоний відтінок, а найгарячіші — блакитний.

Запам'ятайте

Джерела світла — тіла, що випромінюють світло.

Теплові (гарячі) джерела світла — нагріті тіла, що випромінюють світло.

Люмінесцентні (холодні) джерела світла — тіла, що світяться за температури, близької до кімнатної.

Точкові джерела світла — фізичні моделі джерел світла, розміри яких можна вважати незначними порівняно з відстанню до них.

Приймачі світла — природні та штучні пристрої, що перетворюють енергію світла на інші види енергії.

Оптика — розділ фізики, який досліджує природу світла, з'ясовує закономірності його поширення та взаємодії з речовиною.

Світлові, або оптичні, явища — явища, пов'язані з випромінюванням, поглинанням та поширенням світла.

Перевірте себе

1. Плафон на лампі — це джерело світла? Чому?
2. Яке джерело світла дає можливість читати текст підручника?
3. Запишіть у таблицю 1, які з названих джерел є природними, а які штучними; у таблицю 2 — які з них є тепловими джерелами, а які люмінесцентними: *Сонце, свічка, екран увімкненого телевізора, зорі, блискавка, полярне сяйво, лампа денного світла, світлячки, трухляки, багаття, газовий пальник, дуга електрозварювання, фари автомобіля, бенгальські вогні.*

Таблиця 1

Природні джерела	Штучні джерела

Таблиця 2

Теплові джерела	Люмінесцентні джерела

4. Які перетворення енергії відбуваються під час горіння свічки?
5. Чи можна побачити світло зірки, яка давно згасла? Чому?
6. Як у темній кімнаті знайти чорного кота?
7. Використавши додаткові джерела інформації, підготуйте коротке повідомлення на тему «Світло як умова існування живої природи».

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Світло	Light
Джерела світла	Light sources
Приймачі світла	Light receivers
Зорі	Stars

§ 20. Світловий промінь. Закон прямолінійного поширення світла. Тінь та півтінь. Сонячні та місячні затемнення. Фази Місяця

Понад 1500 років тому в Азії виник незвичайний вид мистецтва. Давня легенда розповідає, що до одного імператора прийшов мандрівник, який назвався чарівником. Він заприсягнувся, що може викликати на екрані тіні різних людей і пророкувати їхню долю. Мандрівнику дозволили показати своє мистецтво. У темряві засвітився паперовий екран, і на ньому розігралася моторошна сцена: з'явилася тіньова фігура самого імператора в парадному вбранні, а назустріч йому повз дракон. Придворні заціпеніли від жаху. Звісно, швидко збагнули, що це розіграш, що фігури вирізані з паперу, а людина відкидала їхні тіні на пергаментний чи промаслений екран. Минули століття, а мистецтво театру тіней залишилося. Ви запитаєте, до чого тут фізика? Зараз з'ясуємо.

Дізнаймося про...

- світловий промінь;
- закон прямолінійного поширення світла;
- утворення тіні та півтіні;
- сонячні та місячні затемнення;
- фази Місяця.

1. Світловий промінь. Закон прямолінійного поширення світла

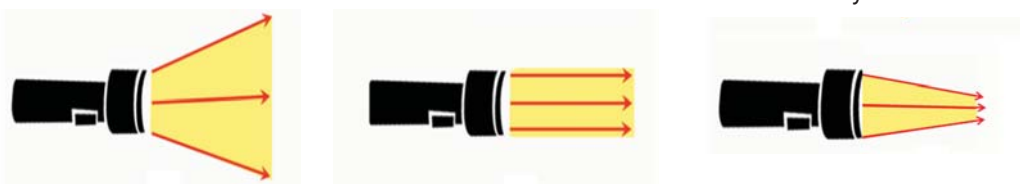
Упродовж усього періоду свого існування людина неодноразово стикалася зі світловими явищами, тому багато закономірностей поширення світла відомі їй давно. Для опису поширення світла вживають термін «світловий промінь».

Світловий промінь — лінія, уздовж якої відбувається перенесення світлової енергії.

Мал. 20.1.
Світлові пучки

У темряві бачимо, як від ліхтарика поширюється світловий пучок (мал. 20.1). Змоделювати такий пучок можна за допомогою світлових променів — прямих ліній, що вказують напрямок поширення світла.

Світлові пучки бувають розбіжні (мал. 20.2, *а*), паралельні (мал. 20.2, *б*) та збіжні (мал. 20.2, *в*).



а *б* *в*

Мал. 20.2.
Світлові пучки

Розділ фізики, який досліджує закони поширення світлових променів, називають ***геометричною оптикою***.

Ще в III ст. до н. е. давньогрецький математик Евклід сформулював один з фундаментальних законів оптики — **закон прямолінійного поширення світла**: ***у прозорому однорідному середовищі світло поширюється прямолінійно***.

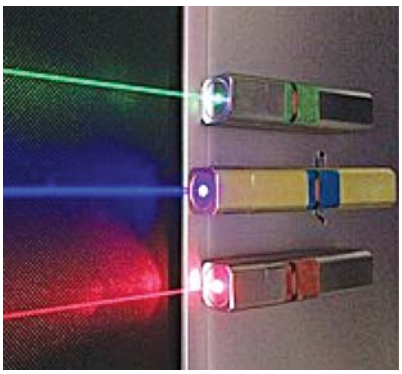
Ілюстраціями прямолінійного поширення світла в природі є сонячні промені, які пробиваються крізь крони дерев (мал. 20.3, *а*) чи крізь хмари (мал. 20.3, *б*).

Лазерна указка — зручний пристрій для демонстрації прямолінійного поширення світла (мал. 20.4). Її також використовують у фізичних дослідженнях, як інструмент для перевірки рівності будівельних конструкцій, гри з домашніми улюбленцями, як пристрій для створення спецефектів.

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Як перевірити, чи три стовпи ліній електропередач, що розташовані далеко один від одного, стоять уздовж однієї прямої?

Мал. 20.3.
Прямолінійне поширення світла у природі

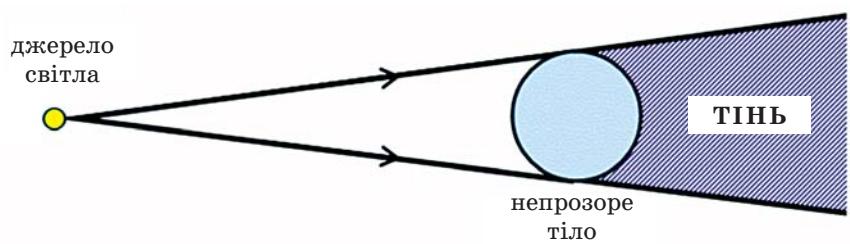


Мал. 20.4.
Лазерні указки

2. Тінь та півтінь

У літню спеку ми намагаємося сховатися під деревом чи за будівлею, бо в зону тіні промені світла не потрапляють і тому там прохолодніше.

Коли світло від точкового джерела потрапляє на непрозоре тіло, за ним утворюється чітка тінь, її ще називають ***повна тінь*** (мал. 20.5). Це відбувається тому, що в зону тіні не проникає жодний світловий промінь.



Мал. 20.5.
Утворення повної тіні

Явище утворення тіні від непрозорих тіл ще 4000 років до н. е. використовували племена в долині річки Інд для визначення часу. Археологи знайшли кам'яні круги з позначками тіней від вертикальних палиць. Це були прототипи перших сонячних годинників; найдавніші свідчення про них датуються приблизно 3500 роком до н. е. в Давньому Єгипті. Найпростіші сонячні годинники складаються з вертикального стрижня (гномона) і розміченого кола (циферблату) (мал. 20.6.). Механізм

Мал. 20.6.
Сонячний годинник

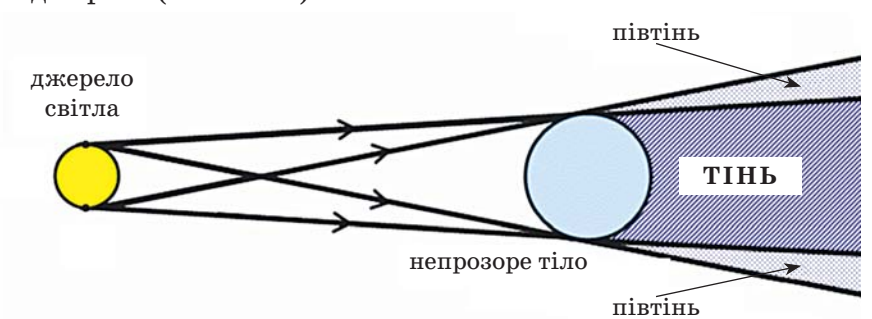
роботи такого годинника дуже простий: зміна довжини тіні гномона вказує на зміну часу доби.

У 2013 році на Полтавщині, у місті Миргород, відбувся Перший український ковальський фестиваль ножових майстрів, на якому за проєктом коваля із села Трудолюб Петра Федоряки учасники виготовили сонячний годинник (мал. 20.7, *а*). Майстер планував зробити Миргород містом сонячних годинників. Але цього, на жаль, не сталося, бо, захищаючи Україну від російської агресії, Петро Федоряка загинув. Часомір установили на центральній площі у 2014 році (мал. 20.7, *б*). А друзі воїна-митця вирішили продовжити його починання і присвячувати кожний новий годинник загиблому на фронті ковалеві (мал. 20.8).

Мал. 20.7.
Перший сонячний годинник у Миргороді

Мал. 20.8.
Сонячний годинник

Інколи тінь буває нечіткою, ніби розмитою. Якщо джерело світла є протяжним, то, крім тіні, утворюється розмита ділянка — ***півтінь***. Тінь утворюється в тих місцях, на які не потрапляє світло від жодної точки джерела, а півтінь — там, куди потрапляє світло від деяких точок протяжного джерела (мал. 20.9).



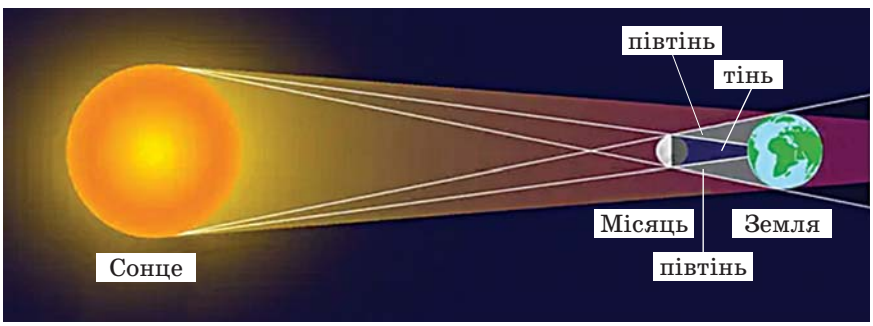
Мал. 20.9.
Утворення тіні та півтіні

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Які недоліки сонячних годинників?

3. Сонячне затемнення

Підтвердженням прямолінійності поширення світла в прозорому середовищі є явища сонячного та місячного затемнення. Земля разом зі своїм супутником Місяцем обертаються навколо Сонця. Іноді вони всі розміщуються на одній лінії, причому Місяць опиняється між Землею та Сонцем. Його диск закриває Сонце. Тінь від Місяця падає на Землю, і в цьому місці Землі спостерігається ***повне сонячне затемнення*** — жоден сонячний промінь у цю зону не потрапляє (мал. 20.10). Той, хто перебуває в зоні тіні, спостерігатиме повне сонячне затемнення: диск Місяця закриває Сонце, видно лише сонячну корону (мал. 20.11).



Мал. 20.10.
Схема сонячного затемнення

Оскільки Сонце є протяжним джерелом світла, то світлові промені від деяких точок його поверхні потрапляють на поверхню Землі, утворюючи півтінь — у цій частині Землі буде ***часткове сонячне затемнення*** (мал. 20.12).

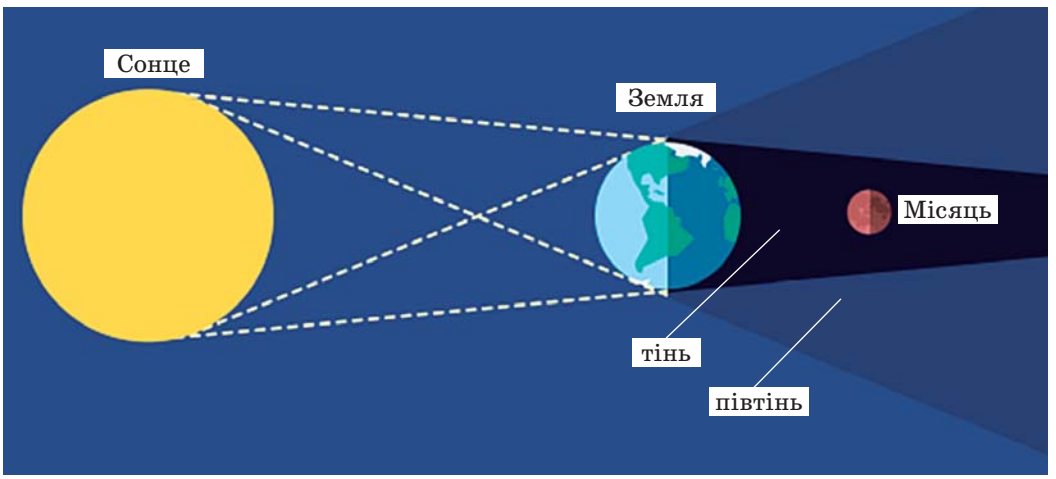
Мал. 20.11.
Повне сонячне затемнення

Мал. 20.12.
Часткове сонячне затемнення

Сонячні затемнення відбуваються 2–5 разів на рік. Тривалість їх становить кілька хвилин (до 7,5 хв).

4. Місячне затемнення

Місячне затемнення відбувається тоді, коли Місяць потрапляє в тінь Землі (мал. 20.13). Оскільки під час затемнення сонячне світло на Місяць не потрапляє, то місячне затемнення відбувається на всій частині земної кулі, де триває ніч, і для всіх точок цієї півкулі починається та закінчується одночасно.

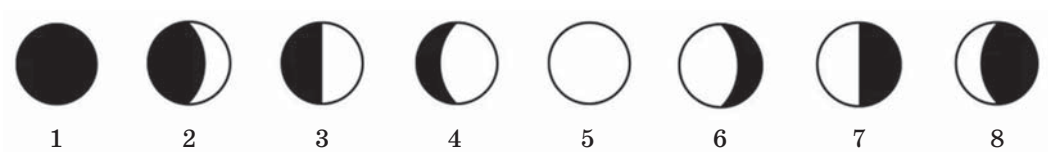


Мал. 20.13.
Схема місячного затемнення

Місячні затемнення трапляються не більше трьох разів на рік. Тривалість їх становить приблизно півтори години (найдовше — 1 година 40 хвилин).

Поверхня Місяця світиться відбитим сонячним світлом. Зовнішній вигляд поверхні залежить від того, як розташований Місяць щодо Сонця. Спостерігаючи із Землі за Місяцем, можна побачити зміну його зовнішнього вигляду. Ці зміни називають ***фазами Місяця***.

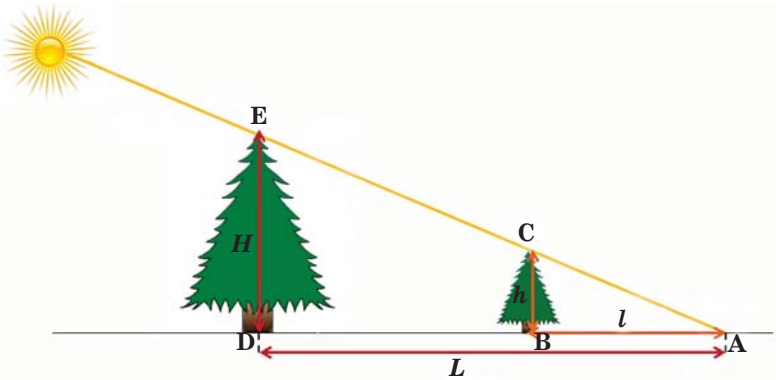
Розрізняють чотири основні фази: новий Місяць —1; перша чверть — 3, повня (повний Місяць) — 5, третя (остання) чверть — 7 (мал. 20.14).



Мал. 20.14.
Фази Місяця

5. Приклад розв'язування задачі

Задача. Сонячного дня тінь від ялинки висотою 1 м дорівнює 80 см. Визначте довжину тіні від іншої ялинки, висота якої 3 м.



Дано:	СІ	Розв'язання:
$h = 1$ м		З подібності трикутників ABC та ADE:
$l = 80$ см	0,8 м	$\frac{H}{h} = \frac{L}{l}$; $L = \frac{Hl}{h}$.
$H = 3$ м		$L = \frac{3\text{ м} \cdot 0{,}8\text{ м}}{1\text{ м}} = 2{,}4$ м.
L — ?		

Відповідь: $L = 2{,}4$ м.

Запам'ятайте

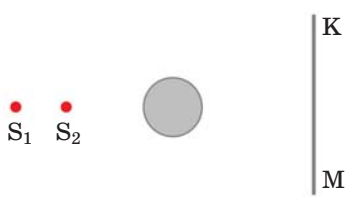
Світловий промінь — лінія, уздовж якої відбувається перенесення світлової енергії.

Розділ фізики, який досліджує закони поширення світлових променів, називають ***геометричною оптикою***.

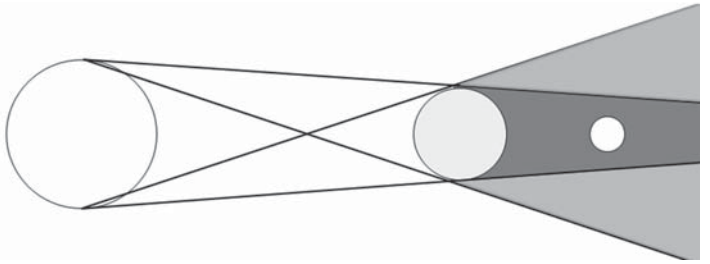
Закон прямолінійного поширення світла: у прозорому однорідному середовищі світло поширюється прямолінійно.

Перевірте себе

1. Зобразіть світлові промені, що йдуть від точкових джерел S_1 і S_2, та поясніть утворення тіні й півтіні на екрані KM.



2. Схему якого затемнення зображено на малюнку?



3. Визначте висоту вуличного ліхтаря, якщо він відкидає тінь довжиною 5,4 м, а тінь від вертикально поставленої лопати довжиною 1,4 м становить 2 м.
4. Сонячний промінь проходить крізь невеликий отвір у шторці й падає на підлогу. Як зміниться розташування світлової плями на підлозі, якщо отвір перемістити вгору на 10 см?

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Світловий промінь	Light beam
Повна тінь	Full shadow
Півтінь	Penumbra
Сонячне затемнення	Solar eclipse
Місячне затемнення	Lunar eclipse

Лабораторна робота № 4
ВИЗНАЧЕННЯ ВИСОТИ СОНЦЯ ЗА ДОПОМОГОЮ ГНОМОНА

Мета: визначити кутову висоту Сонця над горизонтом за допомогою гномона.

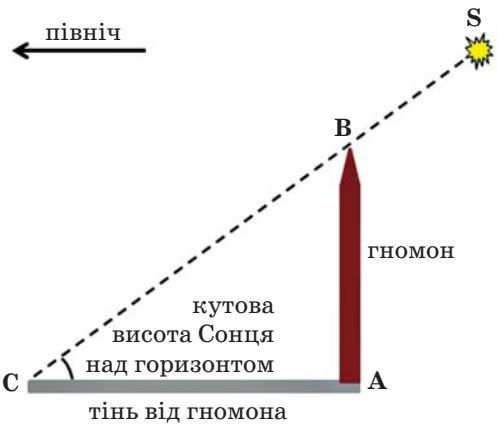
Обладнання: вертикальна палиця (гномон) завдовжки 30–50 см, аркуш паперу, лінійка, олівець, тягарець на нитці, шматок пластиліну.

Дотримуйтеся правил безпеки життєдіяльності під час роботи!

Хід роботи

1. Опівдні в сонячний день вийдіть на подвір'я.
2. Установіть гномон вертикально. Для цього за допомогою виска (тягарця на нитці) досягніть точного прямовисного положення гномона й закріпіть його пластиліном.

3. На аркуші паперу позначте тінь від гномона.
4. Виміряйте висоту гномона *AB* і довжину тіні *AC* від нього.
5. З прямокутного трикутника *CAB* визначте кутову висоту Сонця над горизонтом:
   — розрахуйте тангенс кута *ACB*;
   — визначте за допомогою таблиці тангенсів цей кут.



Проаналізуйте результати експерименту. Зробіть висновок (що саме визначали під час виконання лабораторної роботи; від чого залежить точність отриманого результату).

Додаткове завдання

Здійсніть спостереження за зміною довжини тіні від гномона впродовж дня.

§ 21. Відбивання світла. Закони відбивання світла. Плоске дзеркало

Щоранку, дивлячись у дзеркало, рідко замислюємося над тим, чому бачимо своє зображення. Усе це завдяки світлу та його властивостям. З'ясуємо, як працює ця «магія» і чому вона зовсім не магія, а наука!

Дізнаймося про...

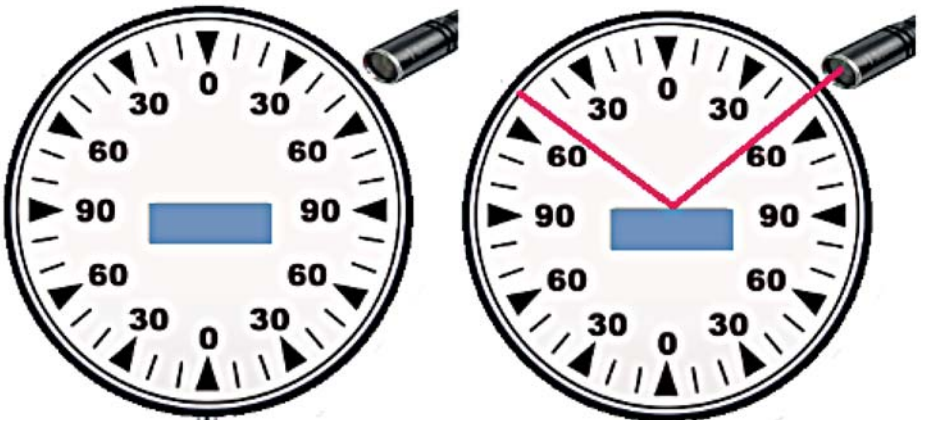
- відбивання світла та його закони;
- дзеркальне та розсіяне відбивання;
- плоске дзеркало, побудову зображень у плоскому дзеркалі;
- практичне застосування явища відбивання світла.

1. Відбивання світла. Закони відбивання

Ми бачимо навколишній світ завдяки тому, що всі предмети відбивають світло, яке на них падає. А різноманітний він тому, що різні предмети відбивають світло по-різному.

Коли світло падає на поверхню будь-якого тіла, то частина світлових променів відбивається від поверхні й поширюється у просторі. Таке явище називають ***відбиванням світла***.

Для демонстрації відбивання світла можна використати прилад, який називають ***оптичною шайбою (оптичним диском)***, — білий диск з нанесеними поділками, на краю якого встановлено освітлювач (мал. 21.1, *а*).

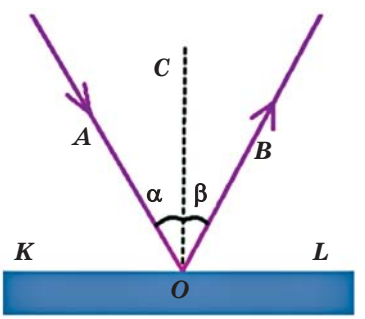


а *б*

Мал. 21.1.
Демонстрація відбивання світла

Спрямувавши пучок світла на розміщену в центрі приладу дзеркальну поверхню, побачимо, що він змінює напрям свого поширення — відбувається відбивання світла (мал. 21.1, *б*).

Хід променів у цьому випадку зображено на мал. 21.2: *KL* — дзеркальна поверхня, на яку падає світловий промінь, промінь *AO* — ***падаючий промінь***, *OB* — ***відбитий промінь***, *CO* — перпендикуляр до поверхні в точці падіння променя, α — ***кут падіння*** (кут між променем, що падає, і перпендикуляром), β — ***кут відбивання*** (кут між перпендикуляром і відбитим променем).



Мал. 21.2.
Схематичне зображення відбивання світла

Якщо в описаному експерименті змінювати кут падіння, то буде змінюватися і кут відбивання. Вимірюючи в кожному випадку кут падіння і кут відбивання, можна переконатися, що вони будуть рівними між собою. А падаючий і відбитий промені лежатимуть в одній площині.

Отже, **закони відбивання світла** можна сформулювати так:

1) ***падаючий і відбитий промені лежать в одній площині з перпендикуляром до відбиваючої поверхні, проведеним у точку падіння променя;***

2) ***кут відбивання дорівнює куту падіння*** ($\beta = \alpha$).

Ці закони ще в III ст. до н. е. були встановлені давньогрецьким математиком Евклідом.

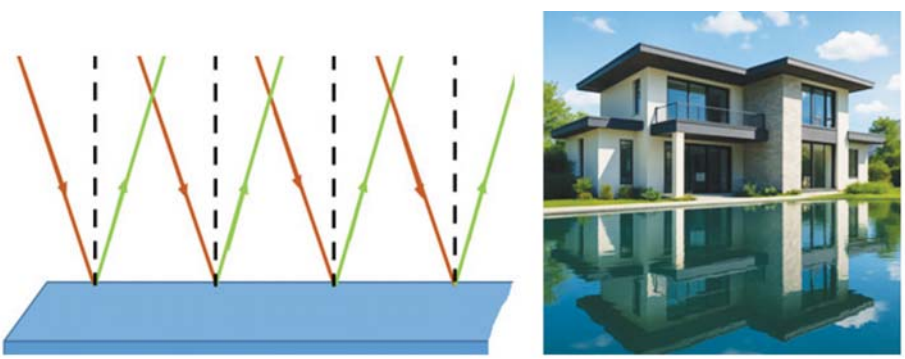
Якщо під час досліду падаючий промінь спрямувати на дзеркало вздовж лінії поширення відбитого променя, то після відбиття від поверхні дзеркала він поширюватиметься вздовж лінії, якою позначили в попередньому досліді падаючий промінь. Цю властивість променів називають ***оборотністю світлових променів***.

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Визначте кут падіння світла на поверхню, якщо кут між падаючим і відбитим променями дорівнює 52°.

2. Дзеркальне та розсіяне відбивання світла

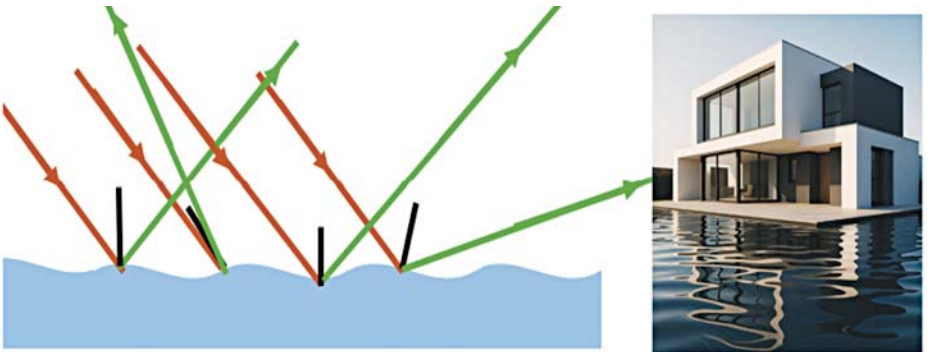
Спрямуємо на гладку горизонтальну поверхню паралельні пучки світла. Якщо поставити в точки падіння перпендикуляри й побудувати відбиті промені, то вони теж будуть паралельними. Розглянуте відбивання називають ***дзеркальним*** (мал. 21.3).



Мал. 21.3.
Дзеркальне відбивання світла

Якщо поверхня, на яку падає світло, шорстка або нерівна, наприклад папір чи стіна, — відбиті промені вже не будуть паралельними і ми не

бачитимемо чіткого зображення. Таке відбивання називають ***розсіяним***, або ***дифузним*** (мал. 21.4). На відміну від дзеркального відбивання розсіяне дає змогу бачити освітлені об'єкти з будь-якого напрямку. Саме завдяки розсіяному відбиванню ми бачимо предмети, які не є джерелами світла.



Мал. 21.4.
Розсіяне відбивання світла

Відмінність між дзеркальним і розсіяним відбиванням демонструють відображення будинків, відбитих у воді (малюнки 21.3 і 21.4).

Мал. 21.5.
Відбивання Місяця у воді

Поміркуйте і дайте відповідь

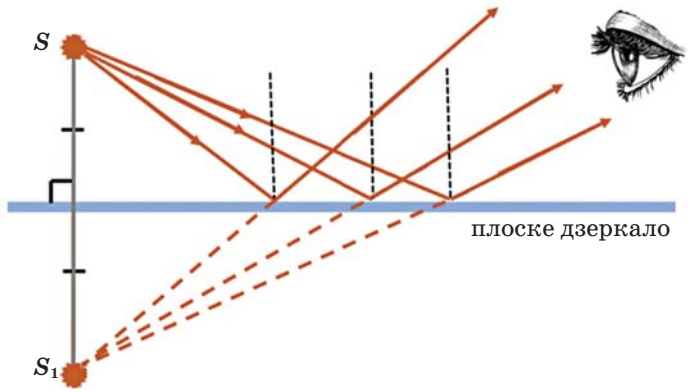
1. На мал. 21.5 ви бачите відображення Місяця у воді. Яке це відбивання світла: дзеркальне чи розсіяне? Відповідь обґрунтуйте.
2. Узимку, коли земля вкрита снігом, місячні ночі значно світліші. Чому?

3. Зображення в плоскому дзеркалі

Стоячи перед дзеркалом, ми бачимо своє зображення, яке є точною нашою копією і повторює всі наші рухи. Це дзеркало — типовий приклад плоского дзеркала.

Плоске дзеркало — дзеркало, поверхня якого є площиною. Те, що ми бачимо «за дзеркалом», називають ***зображенням предмета***.

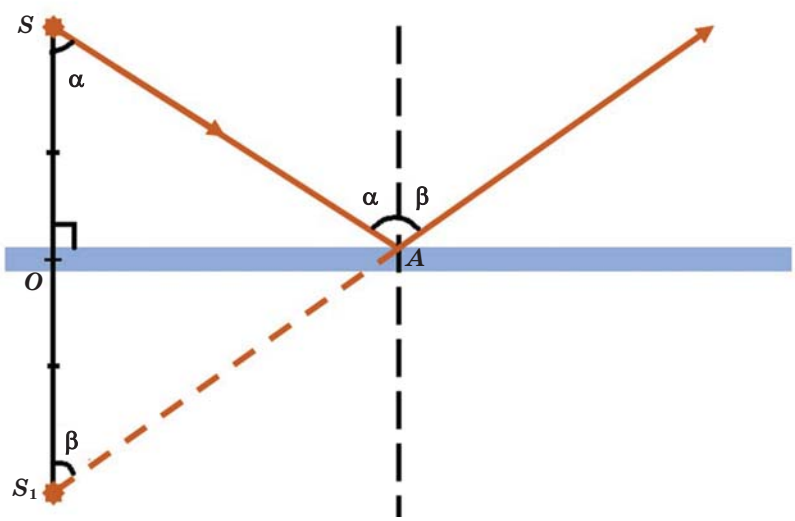
Розглянемо, як утворюється зображення предмета в плоскому дзеркалі та яким воно буде. Якщо побудувати хід відбитих від дзеркала променів, що виходять із точкового джерела світла S (мал. 21.6), побачимо, що продовження відбитих променів перетинатимуться в одній точці S_1, яка розташована за дзеркалом. Людині, в око якої потраплять ці промені,



Мал. 21.6.
Отримання зображення в плоскому дзеркалі

здаватиметься, що вони виходять з точки S_1, хоча насправді в цій точці джерела світла нема. Точку S_1 називають ***зображенням*** точки S. Оскільки в точці S_1 сходяться не промені, а їхні продовження, то зображення називають ***уявним***.

Щоб довести, що зображення предмета є симетричним до самого предмета, розглянемо хід одного із світлових променів. З геометричної побудови (мал. 21.7) видно, що прямокутні трикутники SOA і S_1OA рівні: AO — спільна сторона, $\alpha = \beta$ — за законом відбивання світла. Тому відстань від джерела світла до дзеркала SO дорівнює відстані від дзеркала до зображення джерела світла S_1O. Отже, точки S і S_1 є симетричними відносно дзеркала.



Мал. 21.7.
Геометрична побудова ходу світлового променя

Можна зробити висновок про ***зображення, яке дає плоске дзеркало***:

- плоске дзеркало дає уявне зображення;
- предмет і його зображення є симетричними відносно дзеркала;
- зображення перебуває на такій самій відстані від дзеркала, що й предмет;
- розміри зображення такі самі, як і розміри предмета.

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Які друковані букви українського алфавіту не змінюються після відбиття в плоскому дзеркалі?
2. Чому напис «Ambulance» на автомобілях швидкої медичної допомоги зроблений навпаки?

4. Застосування дзеркал: від побуту до техніки

Крім плоских дзеркал, є ще сферичні дзеркала, і їх широко застосовують у різних галузях завдяки властивості відбивати світло. Вони бувають увігнутими та опуклими, і кожна із цих форм має свої особливості. Увігнуті дзеркала фокусують світло в одну точку, а опуклі — розсіюють його. Тому утворені зображення можуть бути як збільшені, так і зменшені.

Розглянемо приклади використання плоских та сферичних дзеркал у життєдіяльності людини (табл. 1).

Таблиця 1

Сфера життєдіяльності людини	**Приклад використання**	
Побут	Дзеркала у функціональних зонах інтер'єру (ванна кімната, передпокій, примірочна тощо). Візуальне розширення простору (дизайнери використовують дзеркала для візуального збільшення кімнат)	

Транспорт	Для огляду дороги позаду і з боків з метою безпеки руху (задні та бокові дзеркала в автомобілях)	
Медицина	Дзеркала в стоматології та отоларингології (маленькі плоскі дзеркала допомагають оглядати важкодоступні ділянки ротової та носової порожнин). Дзеркала в хірургії (використовують під час операцій)	
Наука й техніка	Оптичні прилади (у телескопах, лазерах і перископах для зміни напрямку світлових променів). Лабораторії (для точного налаштування світлових променів у дослідженнях)	
Безпека	Дзеркала для спостереження в магазинах. Дзеркала на поворотах доріг для огляду. Дзеркала в системах відеоспостереження	

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Чому більшість тіл і поверхонь дає не дзеркальне відбивання, а розсіяне?

Запам'ятайте

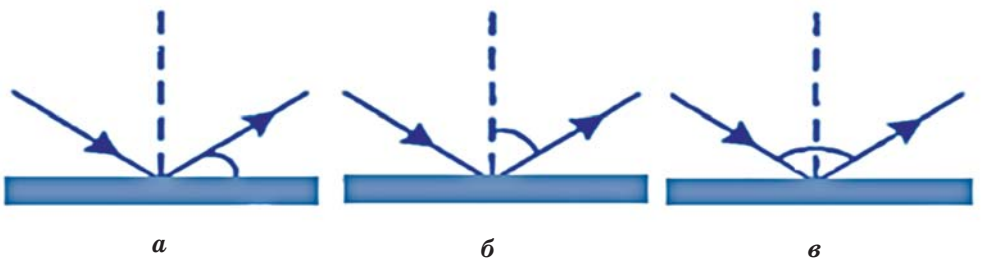
***Закони відбивання світла*:**

- падаючий і відбитий промені лежать в одній площині з перпендикуляром до відбиваючої поверхні, проведеним у точку падіння променя;
- кут відбивання дорівнює куту падіння ($\beta = \alpha$).

Плоске дзеркало — дзеркало, поверхня якого є площиною.

Перевірте себе

1. На якому з малюнків 21.8 правильно позначено кут відбивання світлового променя від дзеркальної поверхні?



Мал. 21.8.
Відбивання світла

2. Яким має бути кут падіння світлового променя на поверхню плоского дзеркала, щоб падаючий і відбитий промені були протилежно напрямлені вздовж однієї прямої?
3. Під яким кутом до поверхні дзеркала падає світловий промінь, якщо кут між падаючим і відбитим променями дорівнює 76°?
4. Людина стоїть перед дзеркалом і відходить від нього назад на 2 м. Як зміниться відстань між нею та її зображенням у дзеркалі?
5. Людина віддаляється від дзеркала зі швидкістю 0,5 м/с. З якою швидкістю вона віддаляється від свого зображення?
6. Промінь світла падає на плоске дзеркало під кутом 30° до його поверхні. Визначте кут падіння і кут відбивання. Виконайте малюнок.
7. Визначте кут відбивання світла, яке падає на дзеркальну поверхню, якщо кут падіння удвічі більший від кута між дзеркалом і падаючим променем.
8. Людина, зріст якої 1,5 м, стоїть на відстані 8 м від дерева, висота якого 4,5 м. На якій відстані від людини на землі потрібно горизонтально розмістити плоске дзеркало, щоб вона могла побачити в ньому вершину дерева? Розгляньте два випадки: коли людина стоїть до дерева обличчям; коли дерево за спиною людини.

Обдумайте, змоделюйте, зробіть...

Дослідіть залежність висоти видимого зображення людини в дзеркалі від відстані між ними. Змоделюйте ситуацію, коли людина бачить себе в дзеркалі на повний зріст, а коли лише частково. Свої міркування підтвердьте за допомогою геометричної побудови.

Дотримуйтеся правил безпеки під час роботи!

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Відбивання світла	Reflection of light
Дзеркальне відбивання	Specific reflection
Розсіяне відбивання	Diffuse reflection
Плоске дзеркало	Flat mirror

Лабораторна робота № 5
ДОСЛІДЖЕННЯ ВІДБИВАННЯ СВІТЛА ЗА ДОПОМОГОЮ ПЛОСКОГО ДЗЕРКАЛА

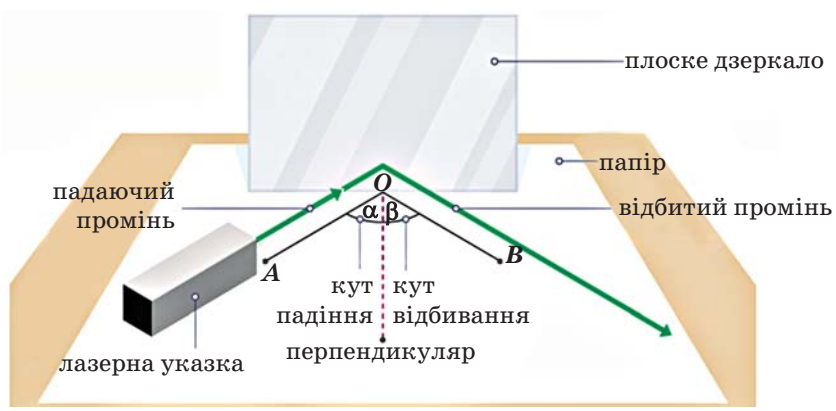
Мета: перевірити виконання закону відбивання світла за допомогою плоского дзеркала.

Обладнання: лазерна указка, плоске дзеркало на підставці, олівець, лінійка, транспортир, аркуш паперу.

Дотримуйтеся правил безпеки життєдіяльності під час роботи!

Хід роботи

1. Установіть плоске дзеркало на підставці на чистий аркуш паперу.
2. Розмістіть лазерну указку під деяким кутом до дзеркала та увімкніть її.
3. Добре загостреним олівцем накресліть на папері лінію вздовж дзеркала. Позначте промінь AO, що падає на дзеркало, та відбитий промінь OB (див. мал.).



4. У точці падіння променя (т. O) проведіть перпендикуляр (OC) до дзеркала.
5. Виміряйте за допомогою транспортира кут падіння α і кут відбивання β.

6. Результати вимірювань запишіть у таблицю 1.

Таблиця 1

№ з/п	Кут падіння	Кут відбивання

7. Повторіть дослід ще двічі, установлюючи плоске дзеркало під різними кутами до падаючого променя.
8. Результати вимірювань запишіть у таблицю 1.
9. Порівняйте одержані значення кутів падіння і кутів відбивання між собою. Поясніть причини можливих розбіжностей отриманих результатів.

Проаналізуйте результати експерименту. Зробіть висновок (яке світлове явище досліджували; що саме визначали під час виконання лабораторної роботи; значення яких величин вимірювали та які результати отримали; чи можна вважати результати експерименту абсолютно точними; де здобуті знання можна використати на практиці).

Додаткове завдання

Поставте два плоских дзеркала під кутом 90° одне до одного. Помістіть між ними будь-який невеликий предмет. Скільки зображень цього предмета видно в дзеркалі? Відповідь підтвердьте за допомогою геометричної побудови.

§ 22. Заломлення світла. Закони заломлення світла. Повне внутрішнє відбивання

Чому ложка в склянці з водою має вигляд зламаної, якщо дивитися на неї збоку? Чому веселка з'являється після дощу? Чому рука не може натрапити на предмет, який добре видно в прозорій воді? А чому в пустелях спостерігаються міражі? Вивчивши поширення світла в різних середовищах та його перехід з одного середовища в інше, зможемо пояснити багато загадкових явищ у природі.

Дізнаймося про...

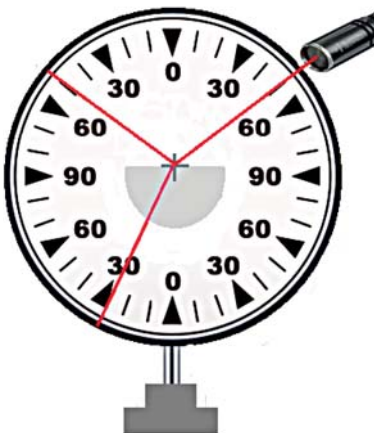
- заломлення світла;
- показник заломлення;
- явище повного внутрішнього відбивання світла;
- практичне застосування заломлення світла.

1. Заломлення світла. Закони заломлення

Пояснимо, чому ложка у склянці з водою здається зламаною, якщо дивитися на неї збоку (мал. 22.1). Для цього нам треба розглянути явище заломлення світла на межі поділу двох прозорих середовищ — повітря і води.

Для пояснення цього явища виконаємо експеримент: до оптичного диска прикріпимо прозорий скляний півциліндр і спрямуємо на нього вузький пучок світла. Ми побачимо, що на межі «повітря — скло» промінь світла розділяється на два — ***відбитий*** і ***заломлений*** (мал. 22.2).

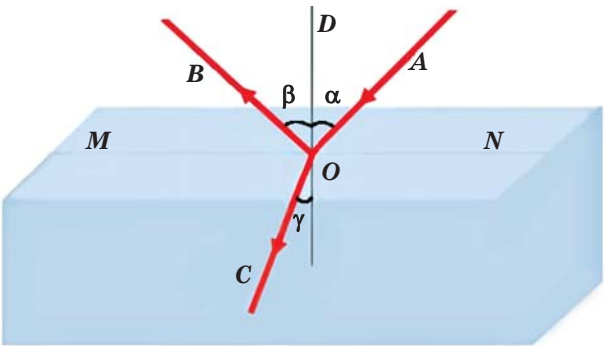
Мал. 22.1.
Візуальне зміщення ложки у склянці з водою



Мал. 22.2.
Демонстрація заломлення світла

Схематично заломлення світла показано на мал. 22.3. Пригадаємо, що AO — падаючий промінь, OB — відбитий промінь, DO — перпендикуляр до межі поділу двох середовищ, проведений у точці падіння променя, α й β — відповідно кути падіння і відбивання, MN — межа двох середовищ («повітря — скло»). Як бачимо, світло не тільки відбивається від межі поділу двох середовищ, а й змінює свій напрямок, поширюючись в іншому середовищі.

Заломлення світла — зміна напрямку поширення світлового променя під час переходу з одного прозорого середовища в інше.



Мал. 22.3.
Схематичне зображення заломлення світла

OC — заломлений промінь, γ — кут заломлення (кут між заломленим променем і перпендикуляром).

Якщо збільшувати кут падіння, то кут заломлення теж буде збільшуватися, у разі зменшення кута падіння кут заломлення зменшуватиметься.

Якщо під час досліду падаючий промінь спрямувати вздовж лінії заломленого променя, то після заломлення на межі поділу двох середовищ він поширюватиметься вздовж лінії, якою зображений падаючий промінь. Цю властивість променів називають ***оборотністю світлових променів***.

На основі проведених експериментів у 1621 році нідерландський науковець Вілеброрд Снеліус сформулював **закони заломлення світла:**

1) ***падаючий і заломлений промені лежать в одній площині з перпендикуляром до межі поділу двох середовищ, поставленим у точку падіння променя;***
2) ***відношення синуса кута падіння до синуса кута заломлення для двох середовищ є величиною сталою:***

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\gamma} = n_{21},$$

величину n_{21} називають ***відносним показником заломлення*** другого середовища відносно першого.

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Чи може світловий промінь перейти з одного середовища в інше, не змінюючи свого напрямку поширення?

2. Оптичні властивості середовища: причина заломлення світла

Причина заломлення світла на межі поділу двох середовищ — зміна швидкості поширення світла. У різних середовищах швидкість його по-

ширення є різною, але завжди меншою, ніж у вакуумі. Тому показники заломлення світла оптичних середовищ неоднакові.

Розрізняють відносний і абсолютний показники заломлення світла.

Відносний показник заломлення світла — фізична величина, яка показує, у скільки разів швидкість світла в першому середовищі більша, ніж у другому:

$$n_{21} = \frac{\upsilon_1}{\upsilon_2},$$

де υ_1 — швидкість світла в першому середовищі (з якого поширюється світло); υ_2 — швидкість світла в другому середовищі (у якому поширюється світло після заломлення).

Показник заломлення певного середовища відносно вакууму називають абсолютним показником заломлення і позначають літерою ***n***.

Абсолютний показник заломлення світла — фізична величина, що показує, у скільки разів швидкість поширення світла у вакуумі більша, ніж у середовищі, у якому поширюється світло після заломлення.

Абсолютний показник заломлення дорівнює відношенню швидкості світла у вакуумі (c) до швидкості світла в даному середовищі (υ):

$$n = \frac{c}{\upsilon}.$$

Оскільки швидкість світла у вакуумі найбільша і дорівнює 300 000 км/с, то абсолютний показник заломлення завжди більший від 1 (табл. 1).

Таблиця 1

Речовина	**Абсолютний показник заломлення, *n***
Повітря	1,0003
Лід	1,31
Вода	1,33
Скло	1,43–2,17
Алмаз	2,42

Оскільки показник заломлення повітря відносно вакууму — 1,0003, то можна вважати, що для повітря $n \approx 1$.

Чим більше значення абсолютного показника заломлення, тим більш оптично густим є середовище, світло повільніше поширюється в ньому та світловий промінь більше заломлюється. Чим менше значення абсолютного показника заломлення, тим середовище є менш оптично густим і світловий промінь менше заломлюється.

Відносний показник заломлення світла виражають через абсолютні показники заломлення:

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1}.$$

Поміркуйте і дайте відповідь

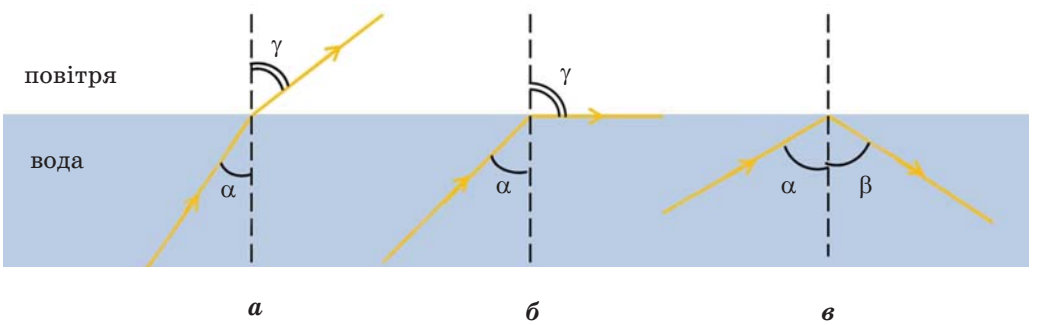
1. Чому, перебуваючи в човні, важко потрапити списом у рибу, що плаває неподалік?

3. Явище повного внутрішнього відбивання світла

Уявіть, що ви пірнули в басейн і дивитеся вгору на поверхню води. Замість чіткого зображення навколишнього світу бачите блискучу поверхню, мов дзеркало. Як таке можливо? Це не магія — це явище ***повного внутрішнього відбивання*** (мал. 22.4).

Як можна змусити світло не вийти з води, а повернутися назад? Коли світло переходить з води в повітря, кут заломлення більший від кута падіння. Для великих кутів падіння заломлений промінь «зникає» — залишається тільки відбитий промінь (мал. 22.5).

Мал. 22.4.
Спостереження повного внутрішнього відбивання на межі «вода — повітря»



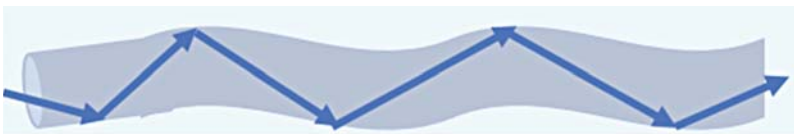
Мал. 22.5.
Демонстрація повного внутрішнього відбивання світла

Це можна пояснити так. Якщо світло буде поширюватися із скла в повітря (з оптично густішого середовища в оптично менш густе середовище), то кут заломлення буде більшим за кут падіння, а якщо кут падіння збільшуватиметься, кут заломлення теж збільшуватиметься (мал. 22.5, *а*).

За певного значення кута падіння заломлений промінь буде поширюватися вздовж межі поділу двох середовищ (мал. 22.5, *б*). Якщо кут падіння ще збільшуватиметься, то заломлення не відбуватиметься, а промінь відіб'ється від межі поділу двох середовищ і повернеться в скло (мал. 22.5, *в*). Спостерігається явище повного внутрішнього відбивання.

Повне внутрішнє відбивання — оптичне явище, яке спостерігається під час переходу світла з оптично більш густого середовища в оптично менш густе. При цьому світловий промінь повністю відбивається від межі поділу двох середовищ назад у перше — оптично густіше середовище, не переходячи в друге середовище.

Повне внутрішнє відбивання використовують у багатьох оптичних приладах. Найширше застосування — у волоконній оптиці, де по тонких скляних волокнах (***світловодах***) передаються світло та інформація на великі відстані з мінімальними втратами завдяки багаторазовим повним внутрішнім відбиванням від стінок волокна (мал. 22.6).



Мал. 22.6.
Хід променів у світловоді

Є й інші сфери застосування. У медицині гнучкі світловоди (ендоскопи) використовують для діагностування захворювань і лікування: вони дають можливість візуалізувати внутрішні органи без хірургічних операцій або з мінімальним втручанням.

У техніці та промисловості (дефектоскопія) за допомогою світловодів виявляють дефекти у важкодоступних місцях, наприклад у двигунах, без їх розбирання.

Волоконно-оптичні лінії зв'язку — сучасні кабелі для передавання даних — є значно ефективнішими за мідні дроти (мал. 22.7). Їх застосовують також у військовій та аерокосмічній техніці.

Мал. 22.7.
Багатоволоконний оптичний кабель

Призми повного відбивання використовують для створення зображень у біноклях, перископах та дзеркальних фотоапаратах.

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Чому діамант блищить більше, ніж його імітація зі скла тих самих форми й розміру?

Запам'ятайте

Заломлення світла — зміна напрямку поширення світлового променя під час переходу з одного прозорого середовища в інше.

Закони заломлення світла:

1) падаючий і заломлений промені лежать в одній площині з перпендикуляром до межі поділу двох середовищ, поставленим у точку падіння променя;

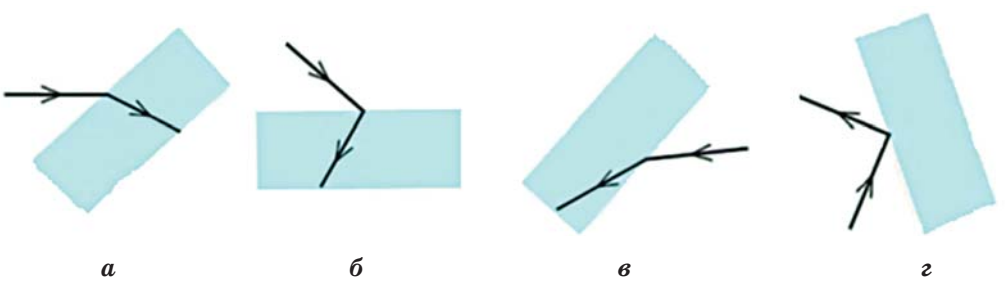
2) відношення синуса кута падіння до синуса кута заломлення для двох середовищ є величиною сталою:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \gamma} = n_{21}.$$

Абсолютний показник заломлення світла — фізична величина, що показує, у скільки разів швидкість поширення світла у вакуумі більша, ніж у середовищі, у якому поширюється світло після заломлення.

Перевірте себе

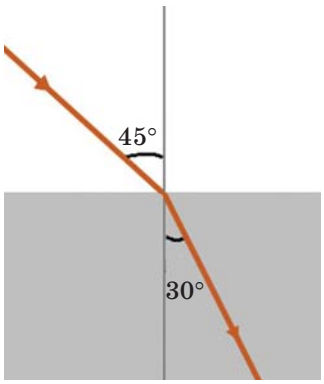
1. На якому малюнку правильно зображено хід заломленого світлового променя, який падає з повітря на скляну пластину (мал. 22.8)?



Мал. 22.8.
Хід променів у скляній пластині

2. Світловий промінь переходить з повітря в прозору рідину. Кут падіння променя дорівнює 45°, а кут заломлення — 30°. На який кут відхилиться промінь від початкового напрямку поширення?
3. Визначте швидкість світла в алмазі.

4. Кут падіння світлового променя на поверхню води дорівнює 30°. Визначте кут заломлення світла, якщо показник заломлення води дорівнює 1,33.
5. Промінь світла падає з повітря у воду під кутом 60°. Кут між відбитим і заломленим променями дорівнює 80°. Визначте кут заломлення променя.
6. Визначте показник заломлення скла (мал. 22.9).



Мал. 22.9.
Заломлення променя

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Заломлення світла	Refraction of light
Повне внутрішнє відбивання світла	Total internal reflection of light

Лабораторна робота № 6
ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛОМЛЕННЯ СВІТЛА

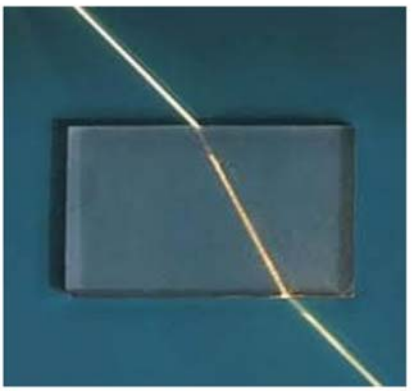
Мета: дослідити заломлення світла на межі поділу двох середовищ (повітря — скло — повітря), визначити показник заломлення скла відносно повітря.

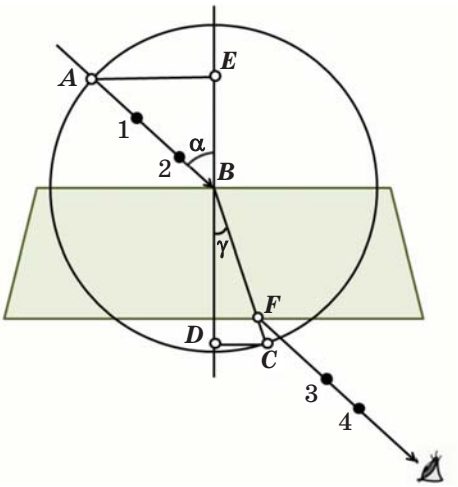
Обладнання: джерело світла та екран зі щілиною (лазерна указка), скляна плоскопаралельна пластина, олівець, лінійка, аркуш паперу, циркуль.

Дотримуйтеся правил безпеки життєдіяльності під час роботи!

Хід роботи

1. Установіть екран зі щілиною на чистий аркуш паперу. Дослідним шляхом визначте таке розташування джерела світла відносно екрана, за якого смужка світла на папері буде найтоншою, виразною і яскравою.
2. Перед тим як спрямувати на пластинку світловий пучок, розмістіть її на столі на аркуші паперу так, щоб одна з її паралельних граней збігалася із завчасно накресленою на папері лінією. Ця лінія позначатиме межу поділу «повітря — скло» (див. мал. 1).
3. Добре загостреним олівцем проведіть лінію вздовж другої паралельної грані. Ця лінія зображає межу поділу «скло — повітря».





Мал. 1.

4. Не зміщуючи пластинки, на її першу паралельну грань під будь-яким кутом спрямуйте вузький світловий пучок. Уздовж падаючого на пластинку світлового пучка і того, що вийшов з неї, добре загостреним олівцем поставте точки 1, 2, 3, 4 (мал. 1).
5. Заберіть джерело світла, зніміть пластинку і під лінійку накресліть вхідний, вихідний і заломлений промені (мал. 1).
6. Через т. B межі поділу середовищ «повітря — скло» проведіть перпендикуляр до межі та позначте кут падіння і заломлення (мал. 1).
7. За допомогою циркуля накресліть коло із центром у т. B і побудуйте прямокутні трикутники AEB і BDC (мал. 1).
   Оскільки $\sin\alpha = \frac{AE}{AB}$, $\sin\gamma = \frac{CD}{CB}$ і $AB = BC$, то формула для визначення показника заломлення скла матиме вигляд: $n = \frac{AE}{DC}$.
8. Виміряйте відрізки AE та DC, визначте показник заломлення скла.
9. Повторіть дослід, змінивши кут падіння променя на пластинку.
10. Результати вимірювань та обчислень запишіть у табл. 1.

Таблиця 1

№ з/п	AE, мм	DC, мм	n

11. Порівняйте одержані значення показників заломлення скла між собою та з табличним значенням. Чи залежить показник заломлення скла від кута падіння світлового променя?

Проаналізуйте результати експерименту. Зробіть висновок (яке світлове явище досліджували; що саме визначали під час виконання лабора-

торної роботи; які результати отримали; чи можна вважати результати експерименту абсолютно точними; поясніть причини розбіжностей отриманих результатів; де здобуті знання можна використати на практиці).

§ 23. Світло як електромагнітне випромінювання та його хвильові властивості. Розкладання білого світла на кольори. Спектральний аналіз, спектроскоп

Світло щодня дивує нас: веселка після дощу, кольорові переливи на мильній бульбашці, райдужні плями на калюжі — усе це не випадковості, а прояви природних законів.

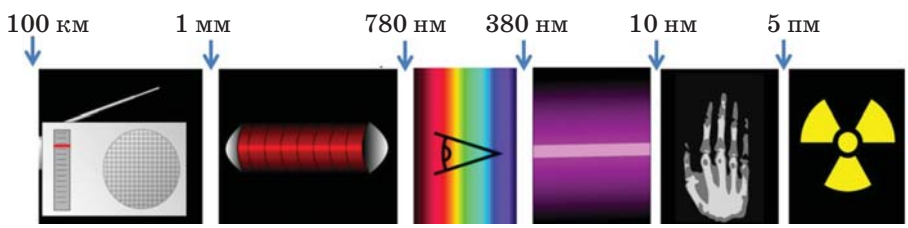
Ми сприймаємо навколишній світ у кольорі. Звідки беруться кольори? Яка їх кількість? Що являють собою білий і чорний кольори? Відповідь знайдемо в цьому параграфі.

Дізнаймося про...

- інтерференцію світла;
- дифракцію світла;
- поляризацію світла;
- дисперсію світла;
- спектри і спектральний аналіз.

Пригадайте вивчене

Розглянемо шкалу електромагнітних хвиль (мал. 23.1). На цій шкалі світлу відповідає певний діапазон довжин хвиль — від 780 нм до 380 нм. Кожній довжині хвилі цього діапазону відповідає певний колір світла.



Мал. 23.1.
Шкала електромагнітних хвиль

Оскільки світло — електромагнітна хвиля, то йому притаманні всі властивості хвиль:

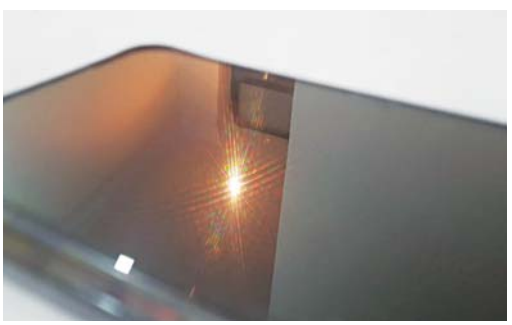
- в однорідному середовищі поширюються рівномірно й прямолінійно;
- відбиваються від провідних предметів;
- заломлюються на межі поділу двох прозорих середовищ;
- частково поглинаються речовиною і частково розсіюються нею;
- огинають перешкоди, співрозмірні з довжиною хвилі;
- накладаються одна на одну.

1. Хвильові властивості світла

Після дощу на асфальті можна побачити барвисту плівку бензину, що переливається всіма кольорами веселки (мал. 23.2). Такий самий ефект спостерігаємо на поверхні мильної бульбашки за яскравого світла (мал. 23.3). Подібну гру кольорів можна помітити також на крилах метеликів і жуків (мал. 23.4) чи навіть на захисному покритті екранів смартфонів (мал. 23.5). Такі візерунки називають ***інтерференційними картинами***, і виникають вони завдяки накладанню світлових хвиль.

Мал. 23.2.
Інтерференція світла на плівці бензину

Мал. 23.3.
Інтерференція світла на мильній плівці



Мал. 23.4.
Інтерференційна картина на екрані смартфона

Мал. 23.5.
Інтерференція світла в живій природі

Коли світлові хвилі накладаються, то в певних точках вони можуть підсилювати або, навпаки, послаблювати одна одну. Унаслідок цього яскраві й темні ділянки чергуються або з'являються кольорові візерунки. Таке явище називають ***інтерференцією світла***.

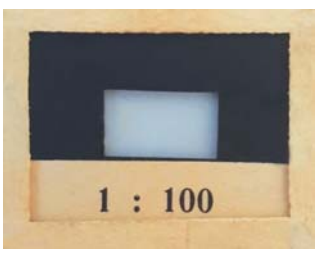
Довжини світлових хвиль становлять частки мікрометра, тому вони здатні огинати лише перешкоди дуже малих розмірів — міліметр і менше. Таке явище називають ***дифракцією світла***.

Одними з таких малих перешкод є вії на очах людей. Світлові хвилі огинають вії (відбувається дифракція), потрапляючи в око, накладаються одна на одну (відбувається інтерференція), а наслідком цих явищ є різнокольорові смуги, які ми бачимо, дивлячись на джерело білого світла, примруживши (мал. 23.6).

Мал. 23.6.
Дифракція світла

У шкільній лабораторії дифракцію світла спостерігають за допомогою приладу (мал. 23.7), основною частиною якого є ***дифракційна ґратка*** — сукупність великої кількості дуже вузьких щілин розміром 0,01 мм (мал. 23.8).

Мал. 23.7.
Прилад для спостереження дифракції світла

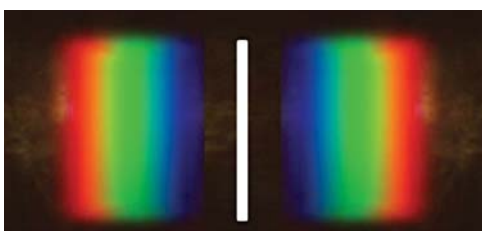


Мал. 23.8.
Дифракційна ґратка

Дифракційна картина, отримана за допомогою цього приладу, зображена на мал. 23.9.

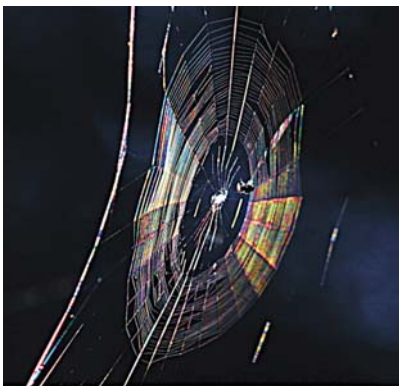
У природі функцію дифракційної ґратки виконує павутина (мал. 23.10).

Природне світло — це електромагнітна хвиля, у якій електромагнітне поле коливається в усіх можливих напрямках, перпендикулярних до напрямку поширення.



Мал. 23.9.
Дифракція світла
від дифракційної ґратки

Щоб отримати коливання електромагнітного поля лише в одному напрямку (**поляризація**), використовують ***поляроїди*** — світлофільтри у вигляді тонких плівок з прозорих кристалів турмаліну або інших природних чи штучних речовин. Якщо природне світло пропускати через поляризатор, то він пропустить тільки ті світлові хвилі, у яких коливання відбуваються в одній певній площині. Відбудеться ***поляризація світла*** — виділення з природного світла плоскополяризованого.



Мал. 23.10.
Дифракція світла від павутини

Явище поляризації дістало широке застосування. Поляризаційні окуляри використовують для перегляду 3D-фільмів (мал. 23.11), захисту від надмірної яскравості Сонця, фар зустрічних машин, під час електрозварювання металів (мал. 23.12). Використання явища поляризації також дає можливість підвищувати якість фотографій, вивчати внутрішні напруження у прозорих матеріалах, вимірювати концентрацію розчинів, плавно змінювати освітлення.

Мал. 23.11.
Перегляд 3D-фільму

Мал. 23.12.
Електрозварювання металів

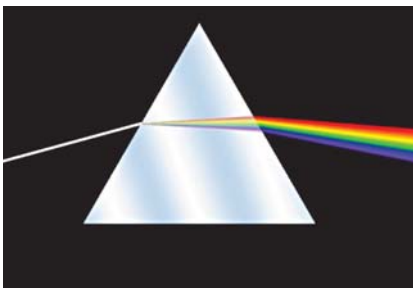
Ще одне оптичне явище, яке часто викликає захоплення, — веселка, що з'являється на небі відразу після дощу, коли виглядає сонце (мал. 23.13).

Веселка є прикладом ***дисперсії світла*** — розкладання білого світла на сім кольорів спектра.

А як вона виникає? Світло заломлюється на краплинках води, які ще є в повітрі після дощу. При цьому світло з різною довжиною хвиль (різного кольору) заломлюється по-різному, тому після заломлення біле світло розкладається у спектр.

Першим розклав біле світло на кольори Ісаак Ньютон. Через щілину у віконній шторі він пропустив вузький пучок світла та спрямував

Мал. 23.13.
Веселка



Мал. 23.14.
Дисперсія світла

Мал. 23.15.
Неперервний (суцільний) спектр

його на скляну призму (мал. 23.14). На екрані з'явилася різнокольорова смужка — **спектр** (мал. 23.15) із сімох кольорів: ***червоний, оранжевий, жовтий, зелений, блакитний, синій і фіолетовий***.

Якщо в пучку світла наявні хвилі всіх довжин неперервного спектра, то світло є білим. В інших випадках воно набуває певного кольору. Якого? Давайте з'ясуємо.

Три кольори спектра — ***червоний, зелений*** і ***синій*** — називають ***основними кольорами***. Якщо пучки червоного, зеленого та синього світла накласти один на одного, то матимемо білий колір. Змішуючи їх попарно, отримаємо такі кольори, як на малюнку 23.16.

А комбінуючи їх у різній інтенсивності, можемо отримати решту кольорів (мал. 23.17). Саме так створюється кольорове зображення на екрані телевізора чи на моніторі комп'ютера.

Мал. 23.16.
Основні кольори спектра

Мал. 23.17.
Розмаїття кольорів та відтінків світла

Якщо на екран спрямувати жовте, пурпурове і блакитне світло, то отримаємо чорний колір на екрані: усі світлові хвилі будуть поглинатися (мал. 23.18).

Як же ми бачимо кольори навколишніх предметів? Завдяки світлу, яке відбивається від них. Трава зелена тому, що з білого світла, яке падає на неї, вона поглинає світло всіх кольорів і тільки світло зеленого кольору відбиває. На титульній сторінці вашого підручника слово «Фізика» надруковане синім кольором, а це означає, що літери поглинають усі кольори, лише синій відбивають.

Око художника здатне розрізнити понад 200 кольорів і їхніх відтінків.

Мал. 23.18.
Змішування фарб

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Як пояснити білий колір стіни в кімнаті?
2. Поясніть, чому ми бачимо тіла чорного кольору.

Скло (мал. 23.19) синього кольору, тому що поглинає світло всіх кольорів, а пропускає тільки світло синього кольору. Фізики називають його ***синім світлофільтром***.

Світлофільтри бувають різних кольорів (мал. 23.20). Прикладом кольорових світлофільтрів є вітражі — гармонійне поєднання техніки й естетики (мал. 23.21).

Мал. 23.19.
Синій світлофільтр

Мал. 23.20.
Набір світлофільтрів

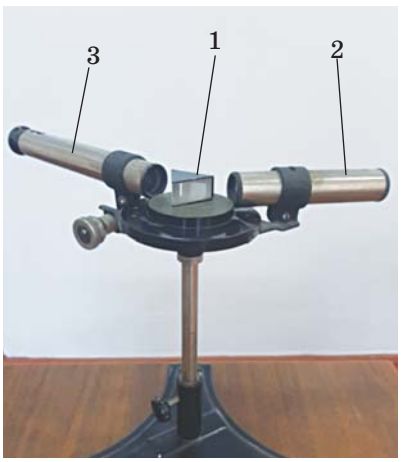
Мал. 23.21.
Скляний вітраж

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Якщо через червоний світлофільтр подивитися на траву, то вона буде чорного кольору. Чому?

2. Спектроскоп. Спектральний аналіз

Явище дисперсії застосовують у роботі ***спектроскопа*** — приладу, який розкладає біле світло на спектр. Основними частинами спектроскопа (мал. 23.22) є скляна призма (1), коліматор (2) та окуляр (3).



Мал. 23.22. Спектроскоп

Коліматор виділяє вузький пучок світла і спрямовує його на призму. Призма розкладає світло на спектр, який спостерігаємо за допомогою окуляра. Для зручності аналізу отриманих спектрів дослідники їх фотографують.

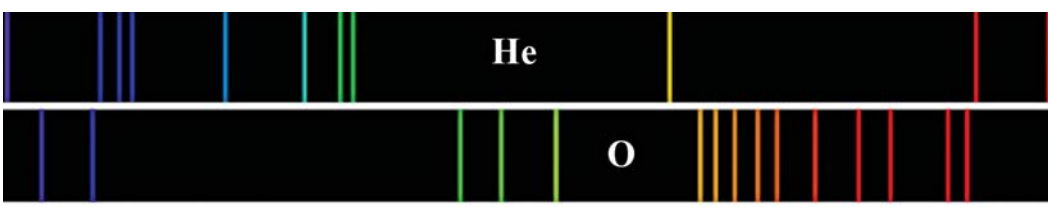
Прилад для фотографування спектрів називають ***спектрографом.***

Для чого науковцям / науковицям потрібні спектри? Як вони їх розшифровують? Для цього застосовують ***спектральний аналіз*** — метод визначення якісного та кількісного складу речовини за допомогою спектрів.

Кожен хімічний елемент має свій спектр випромінювання — набір окремих кольорових ліній, комбінація яких характерна тільки для нього (як відбитки пальців людини). На мал. 23.23 подано спектр випромінювання водню — чотири кольорові лінії на темному тлі.

Мал. 23.23. Спектр випромінювання водню

Порівняйте його зі спектрами інших хімічних елементів. Вочевидь, у кожного елемента свій спектр (мал. 23.24).



Мал. 23.24. Спектри випромінювання гелію та кисню

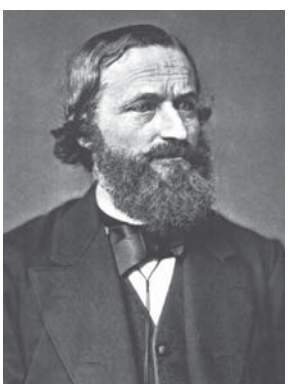
Сфотографований спектр випромінювання певної речовини порівнюють зі спектрами різних хімічних елементів, що зібрані в спеціальному каталозі. Так визначають хімічний склад речовини, а за яскравістю ліній хімічного елемента — його концентрацію (у відсотках) у цій речовині.

Першими застосували спектральний аналіз на практиці ще в 1859 році німецькі науковці — фізик Густав-Роберт Кірхгоф та хімік Роберт-Вільгельм Бунзен.

Якщо в земних умовах визначити склад речовини можливо й іншими способами, насамперед хімічним способом, то в астрономії спектральний аналіз — єдине джерело такої інформації.

Збираючи світло від світил за допомогою телескопа і розкладаючи його в спектр за допомогою спектрографа, дослідники / дослідниці мають змогу встановити хімічний склад зір, їхню температуру, швидкість руху, наявність магнітного поля тощо.

Роберт-Вільгельм Бунзен



Густав-Роберт Кірхгоф

Запам'ятайте

Дифракційна ґратка — сукупність великої кількості дуже вузьких щілин.

Поляроїди — світлофільтри у вигляді тонких плівок з прозорих кристалів турмаліну або інших природних чи штучних речовин.

Спектр кольорів: червоний, оранжевий, жовтий, зелений, блакитний, синій і фіолетовий.

Спектроскоп — прилад, який розкладає біле світло на спектр.

Спектрограф — прилад для фотографування спектрів.

Спектральний аналіз — метод визначення якісного й кількісного складу речовини за допомогою спектрів.

Перевірте себе

1. Які види електромагнітних хвиль межують зі світлом на шкалі електромагнітних хвиль?
2. З якими кольорами межує в спектрі жовте світло?
3. На білому аркуші паперу червоними літерами написано «9 клас». Якого кольору і на якому тлі буде напис, якщо на нього дивитися через синій світлофільтр? Через зелений світлофільтр?
4. Який світлофільтр потрібно використати, щоб напис у задачі № 3 став невидимим?

5. Виконайте експериментальне завдання на тему «Дослідження явища дифракції світла», дотримуючись алгоритму дій. Для виконання завдання використайте запалену свічку, прозору капронову стрічку або тканину, кольорові олівці, аркуш паперу.

Дотримуйтеся правил безпеки життєдіяльності під час роботи!
Алгоритм дій:
- сформулюйте мету дослідження;
- розгляньте полум'я свічки, дивлячись через прозору капронову стрічку або тканину;
- опишіть дифракційну картину, яку спостерігаєте;
- зверніть увагу на ширину спектральних смуг з віддаленням від центра дифракційної картини;
- порахуйте кількість спостережуваних спектральних смуг;
- замалюйте спостережувану картину, дотримуючись кольорової гами спектра;
- проаналізуйте результати досліджень та зробіть висновки щодо спостережуваного явища.

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Інтерференція	Interference
Дифракція	Diffraction
Поляризація	Polarization
Дисперсія	Dispersion
Спектр	Spectrum
Спектральний аналіз	Spectral analysis
Спектроскоп	Spectroscope
Спектрограф	Spectrograph

Здійсніть самоперевірку (https://9klas.academiabook.club/fizyka/f-s4)

Виконайте проєкт, дотримуючись алгоритму (додаток 1)

Орієнтовні теми проєктів:

- Від свічки до енергозберігальної лампи.
- Історія виготовлення дзеркал.
- Світ без світла — життя в темряві.
- Оптичні явища в природі.

Оптичні прилади

§ 24. Лінзи. Оптична сила і фокусна відстань лінзи

Римський імператор Нерон надзвичайно любив дорогоцінне каміння, особливо смарагди. А ще він знайшов їм незвичне застосування. Дотримуючись порад філософа Плінія про те, що «зір відновлюється, коли дивишся на смарагд», Нерон дивився крізь надзвичайно прозорий та ідеально відполірований камінь, який «загострював» його зір. Також він часто використовував смарагд для спостереження за гладіаторськими боями в Колізеї чи змаганнями в цирку «Максимус» — найбільшому іподромі в Давньому Римі. Сучасники побоювалися його погляду крізь цей камінь. Їм здавалося, що імператор їх «бачить наскрізь». Які ж дивні властивості мав смарагд?

Дізнаймося про...

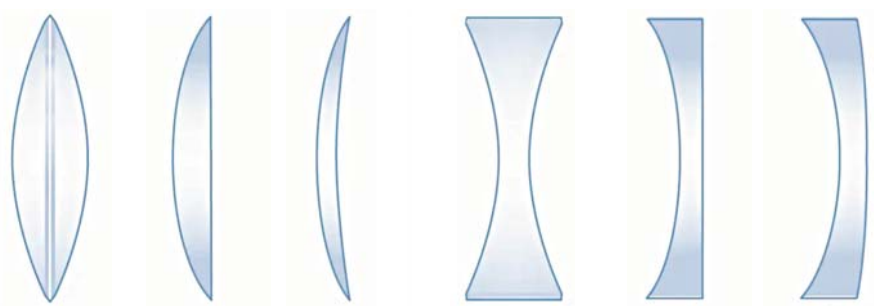
- лінзи та види лінз;
- хід променів у лінзах;
- оптичну силу та фокусну відстань лінзи.

1. Лінзи. Види лінз

Смарагд став прототипом сучасної лінзи, яка є основною складовою частиною багатьох оптичних приладів: лупи, мікроскопа, телескопа, фотоапарата та ін.

Лінза — прозоре тіло, обмежене двома сферичними поверхнями.

В оптиці використовують лінзи, виготовлені з оптичного або органічного скла (мал. 24.1). У природі функцію лінзи виконує краплина ранкової роси на листочку (мал. 24.2), а в побуті — прозора скляна посудина з водою (мал. 24.3).



Мал. 24.1.
Оптичні лінзи

Мал. 24.2.
Краплина роси

Мал. 24.3.
Посудина з водою

За своїм зовнішнім виглядом оптичні лінзи (мал. 24.1) поділяють на двоопуклі (мал. 24.1, *а*), плоско-опуклі (мал. 24.1, *б*), увігнуто-опуклі (мал. 24.1, *в*), двоувігнуті (мал. 24.1, *г*), плоско-увігнуті (мал. 24.1, *ґ*) та опукло-увігнуті (мал. 24.1, *д*).

Лінзи, утворені краплиною води чи посудиною з водою, є двоопуклими.

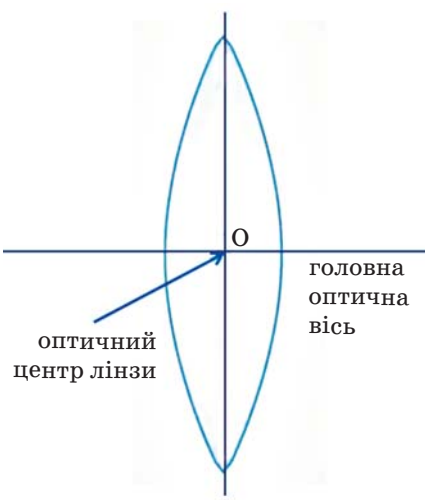
Усі лінзи поділяють на два види: збиральні та розсіювальні, а розрізнити їх можна на дотик. Якщо середина лінзи товстіша за її краї, то вона є ***збиральною*** (мал. 24.1, *а, б, в*). Якщо середина лінзи тонша за її краї, то вона ***розсіювальна*** (мал. 24.1, *г, ґ, д*).

Лінзи, товщина яких значно менша за радіуси сферичних поверхонь, що їх обмежують, називають ***тонкими лінзами***. Далі розглядатимемо тільки тонкі лінзи.

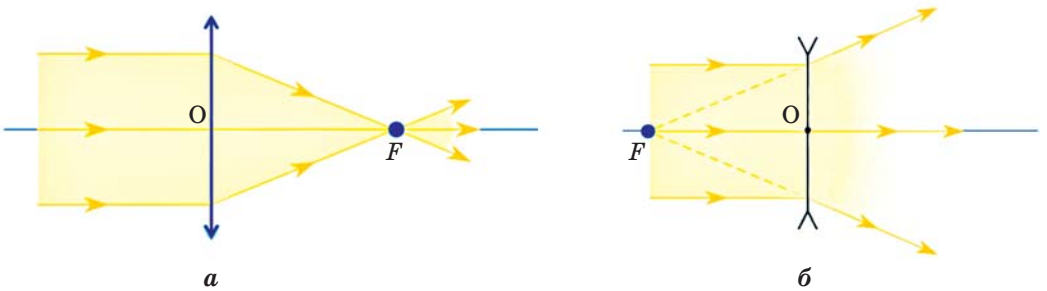
Пряму, що проходить через центри сферичних поверхонь, які обмежують лінзу, називають ***головною оптичною віссю*** (мал. 24.4).

Точку *O*, що лежить на головній оптичній осі в центрі лінзи, називають ***оптичним центром лінзи*** (мал. 24.4).

Хід променів у збиральній і розсіювальній лінзах різний. Промені, що падають на збиральну лінзу паралельно до головної оптичної осі, після заломлення в лінзі перетинаються в одній точці, яку називають ***фокусом лінзи*** й позначають ***F*** (мал. 24.5, *а*). Відстань від оптичного центра лінзи до цієї точки називають ***фокусною відстанню*** лінзи й також позначають буквою ***F***. Одиницею вимірювання фокусної відстані є 1 ***метр*** (**м**).



Мал. 24.4.
Будова тонкої збиральної лінзи



Мал. 24.5.
Фокуси збиральної та розсіювальної лінз

Кожна лінза має два фокуси, що розташовані на головній оптичній осі по обидва боки від оптичного центра лінзи й на однакових відстанях від нього.

Фокуси збиральної лінзи — дійсні. Вони є точками перетину заломлених у лінзі променів, які до заломлення йшли паралельно до головної оптичної осі.

Фокуси розсіювальної лінзи — уявні. Промені, заломлені в розсіювальній лінзі, які до заломлення йшли паралельно до головної оптичної осі, ідуть розбіжним пучком, але їхні продовження перетинаються перед лінзою в точці фокуса, тому він є уявним.

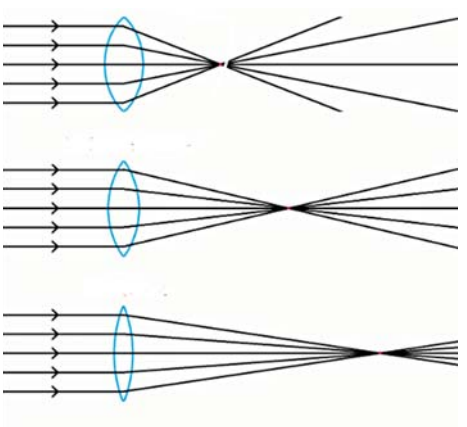
2. Оптична сила лінзи

А чи знали ви, що окуляри для виправлення зору потрібно купувати за рецептом лікаря з дивними записами, наприклад +2 дптр або −0,5 дптр. Що це означає?

Основний елемент окулярів — це лінзи. А лінзи з різною товщиною по-різному заломлюють світлові промені. Як видно на малюнку 24.6, лінза з більш опуклою поверхнею заломлює промені сильніше (її фокусна відстань менша), ніж лінза з менш опуклою поверхнею (її фокусна відстань більша).

Заломлювальну здатність лінзи характеризує величина, яку називають ***оптичною силою лінзи*** й позначають символом ***D***.

Як показано на малюнку 24.6, оптична сила більша в тієї лінзи, у якої фокусна відстань менша.



Мал. 24.6.
Заломлювальна здатність лінз

Величину, обернену до фокусної відстані лінзи, називають ***оптичною силою лінзи*** і визначають за формулою:

$$D = \frac{1}{F}.$$

Одиницею вимірювання оптичної сили є 1 ***діоптрія*** **(дптр)**. 1 дптр — це оптична сила такої лінзи, фокусна відстань якої дорівнює 1 м.

Оскільки фокус розсіювальної лінзи уявний, то фокусна відстань буде від'ємною, тому й оптична сила лінзи теж буде від'ємною. Фокус збиральної лінзи дійсний, тому фокусна відстань і оптична сила лінзи додатні.

Запам'ятайте

Лінза — прозоре тіло, обмежене двома сферичними поверхнями.

Усі лінзи поділяють на два види: збиральні та розсіювальні.

Тонкі лінзи — лінзи, товщина яких значно менша за радіуси сферичних поверхонь, що їх обмежують.

Головна оптична вісь — пряма, що проходить через центри сферичних поверхонь, які обмежують лінзу.

Оптична сила лінзи — величина, обернена до фокусної відстані лінзи.

Перевірте себе

1. Як за зовнішнім виглядом лінз можна довідатися, котра з них має меншу фокусну відстань?
2. У сонячні дні після дощу на листі дерев іноді утворюються опіки. Чому це відбувається?
3. Чому інколи лінзу називають «запалювальним склом»?
4. Фокусна відстань першої лінзи дорівнює 20 см, а другої лінзи — 0,5 м. Яка з них має більшу оптичну силу й у скільки разів?
5. Чим різняться лінзи, оптична сила однієї з яких дорівнює −1,5 дптр, а іншої — +1,5 дптр?
6. Визначте фокусну відстань лінзи, оптична сила якої дорівнює 4 дптр. Яка це лінза — збиральна чи розсіювальна?

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Лінза	Lens
Оптичний центр лінзи	Optical center of lens
Головна оптична вісь	Principal optical axis
Фокус лінзи	Focus of lens
Фокусна відстань	Focal length
Оптична сила	Optical power

§ 25. Отримання зображень за допомогою лінзи. Формула тонкої лінзи

Чому фотографії бувають чіткими або розмитими? Як працює камера в телефоні чи мікроскоп на уроці біології? Усі ці пристрої мають одну спільну деталь — лінзу. Розуміння того, як лінза формує зображення, допоможе збагнути не лише принцип дії техніки, а й природу самого світла.

Дізнаймося про...

- побудову зображень, отриманих за допомогою тонкої лінзи;
- формулу тонкої лінзи;
- збільшення лінзи.

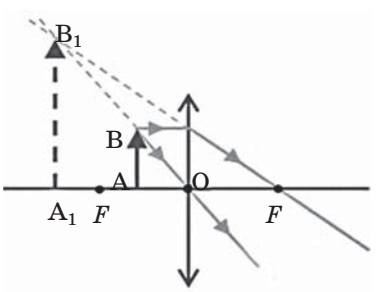
1. Побудова зображень, отриманих за допомогою тонкої лінзи

За допомогою лінз можна не тільки збирати та розсіювати промені світла, а й одержувати різноманітні зображення предметів. Саме завдяки цій властивості лінзи широко використовують на практиці. Зображення предмета, яке дає лінза, залежить від того, на якій відстані від лінзи його розміщено.

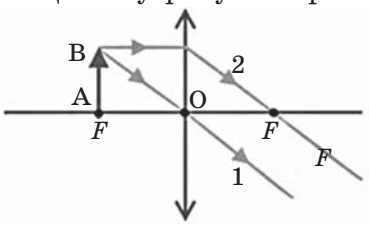
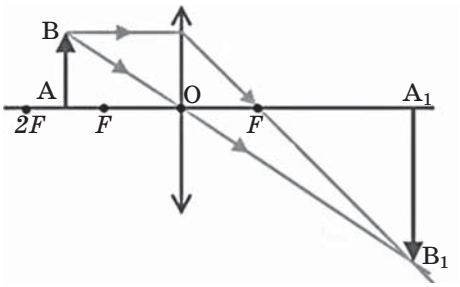
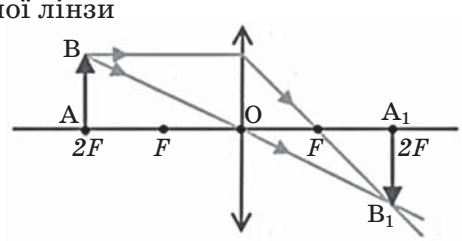
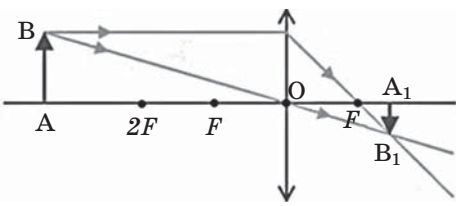
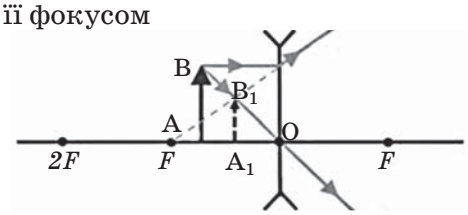
Для побудови зображення предмета достатньо двох променів. Зазвичай вибирають такі промені, хід яких відомий. Один з них спрямовують на лінзу паралельно до головної оптичної осі. Після заломлення в лінзі він пройде через фокус. Інший промінь спрямовують через оптичний центр лінзи. Він не заломлюється в лінзі, тому не змінює свого напрямку.

Розглянемо умови, за яких виникають різні зображення, і властивості кожного з них (табл. 1).

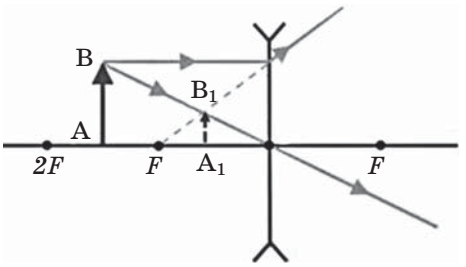
Таблиця 1

Побудова зображення	Властивості зображення
Предмет розміщений між збиральною лінзою та її фокусом 	Зображення предмета уявне, пряме, збільшене

Продовження таблиці 1

Предмет розміщений у фокусі збиральної лінзи 	Зображення предмета не утворюється
Предмет розміщений між фокусом і подвійним фокусом збиральної лінзи 	Зображення предмета дійсне, обернене, збільшене
Предмет розміщений у подвійному фокусі збиральної лінзи 	Зображення предмета дійсне, обернене, рівне за розмірами з предметом
Предмет розміщений за подвійним фокусом збиральної лінзи 	Зображення предмета дійсне, обернене, зменшене
Предмет розміщений між центром розсіювальної лінзи та її фокусом 	Зображення предмета уявне, пряме, зменшене

Закінчення таблиці 1

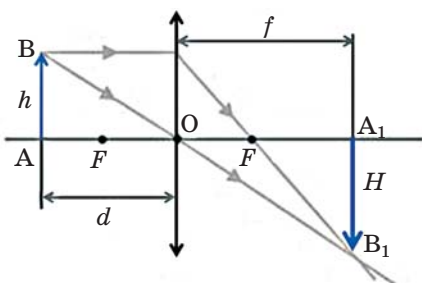
Предмет розміщений між фокусом і подвійним фокусом розсіювальної лінзи 	Зображення предмета уявне, пряме, зменшене

Вигляд зображення предмета, отриманого за допомогою збиральної лінзи, залежить від розташування предмета відносно лінзи.

Вигляд зображення предмета, отриманого за допомогою розсіювальної лінзи, не залежить від розташування предмета відносно лінзи та завжди є уявним, прямим і зменшеним. Дійсні зображення предметів можна побачити на екрані, а уявні — ні.

2. Формула тонкої лінзи

Формула тонкої лінзи — це формула, яка встановлює зв'язок між фокусною відстанню лінзи F, відстанню від предмета до лінзи d та відстанню від зображення предмета до лінзи f (мал. 25.1). Цю формулу було встановлено експериментально.



Мал. 25.1.
Зображення предмета, отриманого за допомогою збиральної лінзи

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} \text{ — } \textbf{\textit{формула тонкої лінзи}}.$$

Якщо зображення предмета дійсне, то відстань від лінзи до зображення предмета беремо зі знаком «+». Якщо зображення предмета уявне, то відстань від лінзи до зображення предмета беремо зі знаком «−».

Оскільки $\frac{1}{F} = D$, тобто оптична сила лінзи є величиною, оберненою до фокусної відстані, то формулу тонкої лінзи можна записати так:

$$D = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}.$$

Якщо висоту предмета AB позначити $\boldsymbol{h}$ (мал. 25.1), а висоту зображення предмета A_1B_1 позначити $\boldsymbol{H}$, то можна обчислити ***лінійне збільшення***, яке дає лінза, за формулою:

$$\Gamma = \frac{f}{d} \quad \text{або} \quad \Gamma = \frac{H}{h}.$$

3. Приклад розв'язування задачі

Задача. Відстань від предмета до збиральної лінзи дорівнює 50 см, а від лінзи до зображення предмета — 2 м. Визначте фокусну відстань лінзи та її лінійне збільшення.

Дано:	СІ		Розв'язання:
$d = 50$ см	0,5 м	$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$	$F = \frac{0{,}5 \text{ м} \cdot 2 \text{ м}}{2 \text{ м} + 0{,}5 \text{ м}} = 0{,}4 \text{ м}$
$f = 2$ м		$\frac{1}{F} = \frac{f + d}{df}$	$\Gamma = \frac{2 \text{ м}}{0{,}5 \text{ м}} = 4$
F — ?		$F = \frac{df}{f + d}$	
Γ — ?		$\Gamma = \frac{f}{d}$	

Відповідь: $F = 0{,}4$ м, $\Gamma = 4$.

4. Оптичні прилади

Людські очі здатні сприймати тільки те, що дозволяє їхня природна будова, але люди завжди прагнули більшого. Хотіли зазирнути в глибини мікросвіту, щоб роздивитися крихітні структури живих клітин; мріяли в безмежному космосі побачити далекі планети й галактики; шукали спосіб роздивитися те, що ховається за стіною, за рогом або в темряві. Допомагали й допомагають їм у цьому оптичні прилади.

Оптичний прилад — технічний пристрій, в основі роботи якого — використання властивостей світла.

Основними компонентами оптичних приладів зазвичай є лінзи, хоча часто використовують і дзеркала.

За своїм призначенням оптичні прилади умовно поділяють на дві групи:

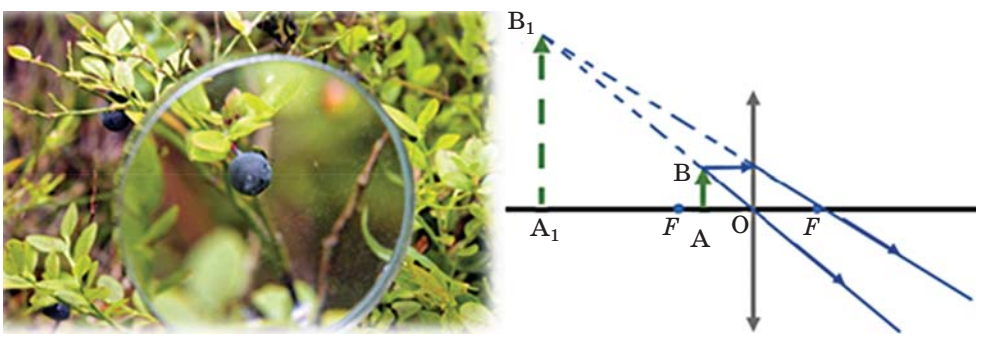
- прилади для розглядання дуже дрібних предметів — лупа, мікроскоп, які дають можливість «збільшити» предмети спостереження (мал. 25.2);
- прилади для розглядання віддалених об'єктів — зорова труба, бінокль, телескоп тощо (мал. 25.3).

Лупа — найпростіший оптичний прилад, що являє собою збиральну лінзу або систему лінз, призначену для збільшення та детального розглядання дрібних об'єктів, які важко побачити неозброєним оком.

Мал. 25.2.
Прилади для розглядання дуже дрібних предметів

Мал. 25.3.
Прилади для розглядання віддалених об'єктів

Фокусна відстань лупи невелика — від 1 см до 15 см. Щоб одержати за допомогою лупи максимально можливе збільшення і при цьому не напружувати око, потрібно лупу тримати близько до ока, а предмет розташувати поблизу її фокуса (мал. 25.4).



Мал. 25.4.
Зображення, яке дає лупа

Лупу також можна використовувати для фокусування світла, наприклад для концентрації сонячного випромінювання, щоб створити гарячу точку у фокусі для запалювання вогню.

Свідчення щодо використання збільшувальних стекол існують з давніх часів. І саме збільшувальне скло є символом детективної літератури, зокрема про Шерлока Холмса.

Лупу широко застосовують у різних сферах життєдіяльності (мал. 25.5): для розглядання дрібного тексту, карт, креслень, дрібних предметів у філателії (колекціонуванні марок), нумізматиці (колекціонуванні монет), боністиці (колекціонуванні банкнот). Використовують лупу також у роботі з радіоелектронною технікою, під час ремонту годинників, як діагностичний інструмент у медицині, криміналістиці, археології, біології та інших галузях, де потрібна точність.

Мал. 25.5.
Застосування лупи в різних сферах

Ще одним оптичним приладом є ***мікроскоп***. Його застосовують для дослідження малих об'єктів, які неможливо побачити неозброєним оком. У цьому приладі збільшення відбувається двічі, бо його оптична система складається з двох збиральних лінз. За його допомогою можна краще розглянути об'єкти мікросвіту, ніж через лупу. Сфери використання мікроскопа — наука, медицина, криміналістика.

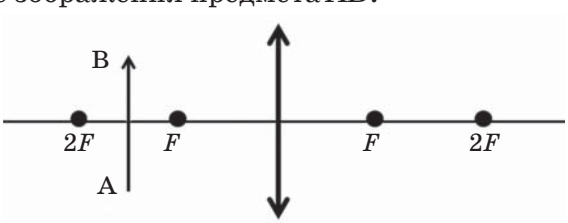
Запам'ятайте

Оптичний прилад — технічний пристрій, в основі роботи якого — використання властивостей світла.

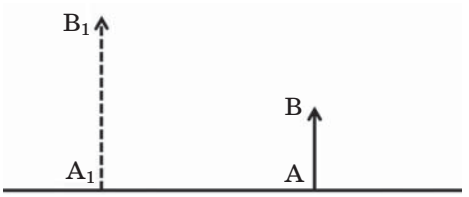
Лупа — найпростіший оптичний прилад, що являє собою збиральну лінзу або систему лінз, призначену для збільшення та детального розглядання дрібних об'єктів, які важко побачити неозброєним оком.

Перевірте себе

1. Побудуйте зображення предмета AB.



2. На малюнку подані головна оптична вісь лінзи, предмет AB і його зображення A_1B_1. Визначте графічно розташування оптичного центра й фокуса лінзи.



3. Який оптичний прилад ви використаєте, щоб прочитати таємничий дрібний напис на старовинній монеті?
4. Розмір зображення будинку на фотоплівці 1,5 см. Визначте лінійне збільшення лінзи фотоапарата, якщо висота будинку дорівнює 4,5 м.
5. Визначте відстань від збиральної лінзи з фокусною відстанню 20 см до зображення предмета, якщо предмет перебуває на відстані 15 см від лінзи.
6. Визначте оптичну силу розсіювальної лінзи, якщо вона дає зображення предмета на відстані 3 см, а відстань від предмета до лінзи дорівнює 6 см.
7. Визначте відстань від предмета до розсіювальної лінзи, оптична сила якої дорівнює −4 дптр, якщо його уявне зображення менше в 5 разів від самого предмета.

Обдумайте, змоделюйте, зробіть...

Зіскануйте QR-код та ознайомтеся з інформацією про оптичний прилад — ***калейдоскоп***. Складіть алгоритм дій та виготовте калейдоскоп, використавши циліндричну трубку, три вузькі дзеркальні пластини, прозору плівку та кольорові шматочки скла чи пластику або бісер. За допомогою виготовленого приладу перевірте, які візерунки можна побачити. Поясніть, як вони утворюються завдяки відбиванню світла.

Дотримуйтеся правил безпеки під час роботи!

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Лінійне збільшення лінзи	Linear magnification lens
Оптичні прилади	Optical instruments
Лупа	Magnifying glass
Мікроскоп	Microscope

Лабораторна робота № 7

ВИЗНАЧЕННЯ ФОКУСНОЇ ВІДСТАНІ ТА ОПТИЧНОЇ СИЛИ ТОНКОЇ ЛІНЗИ

Мета: визначити фокусну відстань та оптичну силу збиральної лінзи.
Обладнання: джерело світла, збиральна лінза на підставці, білий екран, лінійка.

Дотримуйтеся правил безпеки життєдіяльності під час роботи!

Хід роботи

1. Розмістіть лінзу між джерелом світла та екраном так, щоб на екрані отримати чітке зменшене перевернуте зображення джерела світла.
2. Виміряйте відстань від джерела світла до лінзи (d) та відстань від лінзи до екрана (f).
3. Визначте фокусну відстань збиральної лінзи за формулою $F = \frac{df}{f + d}$.
4. Визначте оптичну силу тонкої лінзи за формулою $D = \frac{1}{F}$.
5. Результати вимірювань та обчислень запишіть у табл. 1.
6. Пересуваючи лінзу, отримайте на екрані чітке збільшене перевернуте зображення джерела світла.
7. Виміряйте відстань від джерела світла до лінзи (d) та відстань від лінзи до екрана (f).
8. Визначте фокусну відстань збиральної лінзи.
9. Визначте оптичну силу тонкої лінзи.
10. Результати вимірювань та обчислень запишіть у табл. 1.

Таблиця 1

№ з/п	d, м	f, м	F, м	D, дптр	Властивості зображення

11. Зобразіть схематичні креслення обох дослідів.

Проаналізуйте результати експерименту. Зробіть висновок (що саме вимірювали та визначали під час виконання лабораторної роботи; які результати отримали; чи збігаються результати обчислень у двох дослідах і чому; від чого залежить точність отриманих результатів).

Додаткове завдання

Дізнайтеся дослідним шляхом, що відбудеться із зображенням на екрані, якщо половину лінзи закрити непрозорим предметом. Відповідь обґрунтуйте.

§ 26. Історія винаходу телескопів. Принцип дії і будова телескопів. Сучасні наземні й космічні телескопи. Перші астрономічні обсерваторії. Астрономічні обсерваторії України

Людину завжди цікавить її майбутнє та минуле. Чи можемо ми потрапити в майбутнє? Хіба що у своїй уяві. Чи можемо заглянути в минуле? Виявляється, так. Астрономи це роблять щоночі. Як саме? За допомогою телескопів.

Дізнаймося про...

- оптичні телескопи;
- види телескопів;
- астрономічні обсерваторії.

1. Винайдення телескопів

Дивлячись уночі неозброєним оком на небо, можна побачити до 6000 зір. Від кожної з них іде світло, випущене дуже давно — сотні, тисячі, мільярди років тому. Тобто ми тепер бачимо зорю такою, якою вона була в минулому.

Використавши для спостережень телескоп (мал. 26.1), можна побачити в сотні разів більшу кількість небесних об'єктів.

Мал. 26.1.
Спостереження зоряного неба

Телескоп — оптичний прилад, призначений для спостереження віддалених об'єктів завдяки збиранню і фокусуванню світла, яке йде від них.

Що далі небесні об'єкти від нас, то довше йде до нас їхнє світлове випромінювання. Тобто вони могли бути ще дуже молодими зорями, коли випромінювали світло, яке аж тепер дійшло до нас.

Отже, ми можемо заглянути в минуле нашого Всесвіту, побачити його на ранніх стадіях свого розвитку, зрозуміти процеси, які тоді відбувалися.

Перші телескопи сконструювали в 1608 році, незалежно один від одного, нідерландські окулярні майстри Ганс Ліппершей і Захарій Янсен та Якоб Метьюс з Алкмару. Удосконалив їх у 1609 році Галілео Галілей і вперше використав для астрономічних спостережень. За допомогою свого телескопа

(мал. 26.2) він відкрив кільця Сатурна, супутники Юпітера, фази Венери й довів правильність геліоцентричної будови нашої Сонячної системи.

Мал. 26.2.
Телескоп Галілея

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Чим відрізняється геліоцентрична модель Сонячної системи від геоцентричної?

Зміни в конструкцію телескопів вносили Йоганн Кеплер, Християн Гюйгенс, Ісаак Ньютон (мал. 26.3) та багато інших науковців і винахідників.

До кінця XIX ст. всі спостереження за допомогою телескопів відбувалися візуально — у режимі реального часу потрібно було опрацьовувати, аналізувати результати спостереження. Наприкінці XIX ст. з'явилася можливість спостережувані об'єкти фотографувати, а тепер — записувати в цифровому форматі, і вже потім отриману інформацію обробляти.

Мал. 26.3.
Телескоп Ньютона

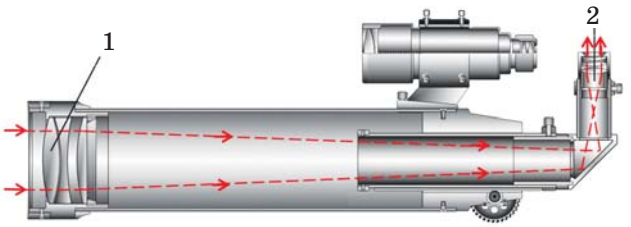
2. Будова і принцип дії телескопів

Оскільки фокусувати світло можуть опуклі лінзи або увігнуті дзеркала, то основними елементами телескопів є саме вони. Усі оптичні телескопи поділяють на три основні групи: ***рефракторні*** (лінзові), ***рефлекторні*** (дзеркальні) і ***катадіоптричні*** (комбіновані дзеркально-лінзові).

Кожен телескоп (мал. 26.4) складається з об'єктива (1) — частини, яка скеровується на спостережуваний об'єкт, окуляра (2) — частини телескопа, у яку ми дивимося, корпуса (3) та монтування (4) — конструкції, яка підтримує корпус та забезпечує його поворот у двох площинах для наведення на певну ділянку неба. Окуляром є лінза чи система лінз; об'єктивом може бути лінза чи увігнуте дзеркало.

Мал. 26.4.
Будова телескопа

У ***рефракторному телескопі*** (мал. 26.5) світло від небесного об'єкта потрапляє в об'єктив (1), яким є лінза чи система лінз, ним фокусується і спрямовується в окуляр (2), а відтак в око спостерігача, який бачить цей об'єкт збільшеним.



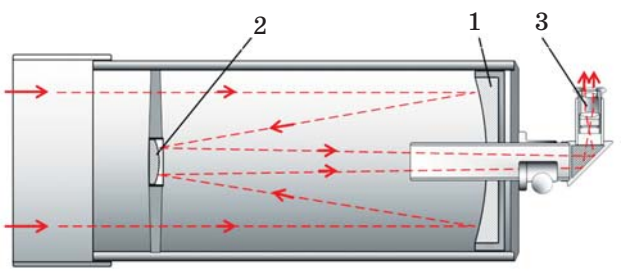
Мал. 26.5.
Рефракторний телескоп

Збільшення телескопа — відношення фокусної відстані об'єктива до фокусної відстані окуляра:

$$\Gamma = \frac{F_{об}}{F_{ок}}.$$

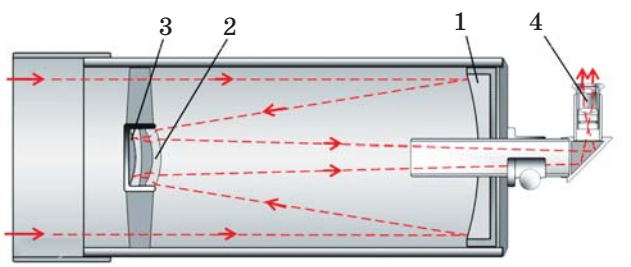
Перші телескопи були лінзовими й давали збільшення всього в 30 разів. Сучасні аматорські телескопи здатні давати збільшення досліджуваного об'єкта в 170–700 разів.

На малюнку 26.6 показано хід променів у ***рефлекторному телескопі***. Світло потрапляє на увігнуте дзеркало (1), що є об'єктивом, фокусується на дзеркалі (2) і від нього спрямовується в окуляр (3).



Мал. 26.6.
Рефлекторний телескоп

Катадіоптричний телескоп (мал. 26.7) — поєднання лінзового і дзеркального телескопів: світло від об'єкта потрапляє на увігнуте дзеркало (1), відбившись, проходить через лінзу (2), потім відбивається від дзеркала (3), знову пройшовши через лінзу (2), і потрапляє в окуляр (4).



Мал. 26.7.
Катадіоптричний телескоп

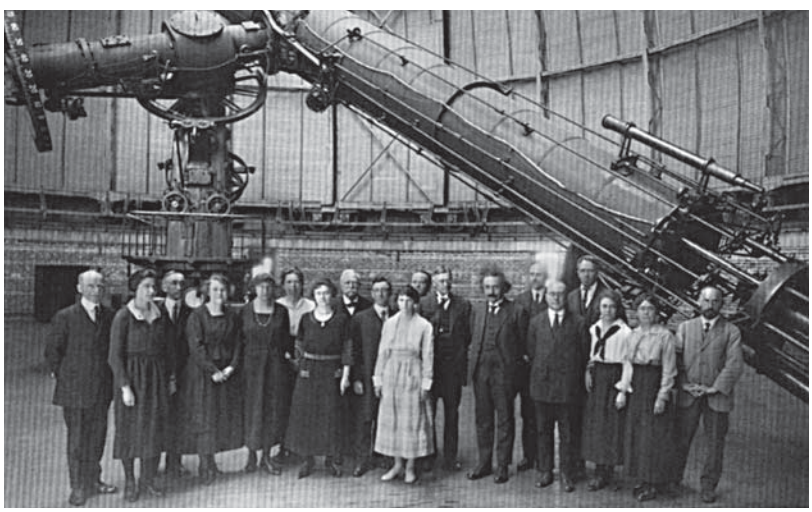
3. Сучасні наземні та космічні телескопи

Призначення телескопа — збирати ту невелику кількість світлових променів, які йдуть від спостережуваного об'єкта, і фокусувати їх. Що більший діаметр об'єктива, то більше променів він збере й зображення буде яскравішим. Але не все так просто: сучасні рефлекторні телескопи мають дзеркала діаметром 8–10 метрів, а рефракторні — лінзи діаметром до 1 метра.

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Чому в телескопах не використовують дзеркала та лінзи більших діаметрів?

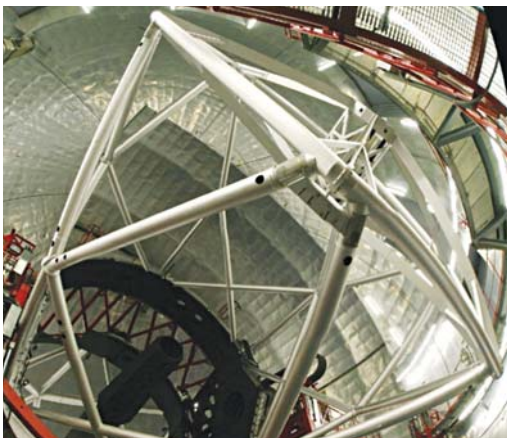
Найбільший у світі телескоп-рефрактор встановлений у Єркській астрономічній обсерваторії (мал. 26.8), яка належить Чиказькому університету. Діаметр лінзи — 102 см. Цей телескоп використовують для дослідження міжзоряної речовини, кулястих зоряних скупчень і для спостереження за навколоземними об'єктами.



Мал. 26.8.
Найбільший телескоп-рефрактор

Найбільший у світі рефлекторний телескоп (мал. 26.9) розміщений на Канарських островах в обсерваторії Роке-де-лос-Мучачос. Діаметр дзеркала — 10,4 м. Призначення цього телескопа — спостереження за найвіддаленішими тілами Всесвіту, дослідження чорних дір.

На роботу телескопів впливає стан атмосфери. Тому їх намагаються розташовувати в горах, де атмосфера більш розріджена. Повністю нівелювати вплив атмосфери можна, розмістивши телескопи на навколоземній орбіті.



Мал. 26.9.
Найбільший телескоп-рефлектор

Мал. 26.10.
Космічний телескоп «Габбл»

Американський телескоп «Габбл» є одним з найбільших космічних телескопів (мал. 26.10). Діаметр його дзеркала — 2,4 м. Його було виведено на орбіту в 1990 році. Це унікальна багатоцільова обсерваторія, яка передала на Землю понад 700 тисяч зображень двадцяти двох тисяч небесних об'єктів — зір, туманностей, галактик, планет.

В Україні найбільший телескоп з діаметром дзеркала 80 см розміщений у селі Маяки Одеської області на території обсерваторії університету імені І. І. Мечникова. Його використовують для контролю космічного простору.

4. Астрономічні обсерваторії

Телескопи зазвичай розміщують в **обсерваторіях** — наукових установах, у яких здійснюють астрономічні спостереження (мал. 26.11).

Обсерваторії оснащені різними телескопами залежно від того, яким видом астрономічних досліджень займаються науковці та науковиці: визначають точне розташування зір, вивчають Сонце та небесні тіла Сонячної системи, здійснюють спостереження за супутниками та іншими космічними об'єктами.

Перші астрономічні обсерваторії з'явилися ще в давні часи у Вавилоні, Єгипті та Греції. Ці обсерваторії використовували для спостережень за небесними тілами, розроблення календарів та астрологічних

Мал. 26.11.
50-сантиметровий телескоп-рефрактор обсерваторії Ніцци

прогнозів. З часом за їх допомогою почали здійснювати наукові дослідження.

На території України астрономічні обсерваторії почали з'являтися у XVIII ст. Першою було відкрито обсерваторію у Львівському національному університеті ім. І. Франка (1771 р.). Її вважають однією з найдавніших у Східній Європі. На мал. 26.12 зображено вечірнє фото рефрактора Цейса астрономічної обсерваторії Львівського університету.

У 1821 році побудовано Миколаївську обсерваторію, у 1845 році — астрономічну обсерваторію Київського університету, а в 1871 році — Одеську обсерваторію.

До найбільших обсерваторій України належать Головна астрономічна обсерваторія НАН України (1944 р.) (мал. 26.13), Кримська (1945 р.), яка окупована з 2014 року. У Кримській астрофізичній обсерваторії розміщено телескоп з діаметром дзеркала 2,64 м. Активно працюють астрономічні обсерваторії Львівського, Харківського, Київського та Одеського університетів.

Мал. 26.12.
Астрономічна обсерваторія Львівського університету

Мал. 26.13.
Музей історії Головної астрономічної обсерваторії НАН України з діючим телескопом

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Відшукайте в інтернет-ресурсах найближчу до вас астрономічну обсерваторію та з'ясуйте, якими оптичними телескопами для спостережень вона оснащена.

Найбільшими та найсучаснішими астрономічними обсерваторіями світу є: Сайдинг-Спрінг (Австралія), Аресибська (Пуерто-Ріко), Мауна-Кеа (США), Джеміні (Чилі), Ла-Сілья (Чилі), Лас-Кампанас (Чилі), Паранал (Чилі) та ін.

Унікальність обсерваторії Мауна-Кеа, заснованої в 1967 році, полягає в тому, що вона розміщена в кліматичних умовах, сприятливих для астрономічних спостережень, — на вершині гори Мауна-Кеа на висоті 4215 м (Гаваї). Тут встановлено багато телескопів, серед них Кек-I та Кек-II (мал. 26.14), «Джеміні», «Субару», декілька рефлекторів з діаметром дзеркала 4 м. Телескопами цієї обсерваторії послуговуються дванадцять окремих обсерваторій.

Мал. 26.14.
Телескопи Кек обсерваторії Мауна-Кеа

Запам'ятайте

Телескоп — оптичний прилад, призначений для спостереження віддалених об'єктів завдяки збиранню і фокусуванню світла, яке йде від них.

Збільшення телескопа — відношення фокусної відстані об'єктива до фокусної відстані окуляра.

Обсерваторія — наукова установа, у якій здійснюють астрономічні спостереження.

Перевірте себе

1. Чому в телескопах намагаються використовувати мінімальну кількість лінз?
2. Коли краще проводити спостереження за допомогою телескопа — взимку чи влітку? У населеному пункті чи за його межами?

3. Аматорський телескоп (мал. 26.4) має об'єктив з фокусною відстанню 80 см і набір окулярів з фокусними відстанями від 1 см до 6 см. Визначте мінімальне й максимальне збільшення такого телескопа.
4. Якими видами астрономічних досліджень займається Головна астрономічна обсерваторія НАН України?

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Телескоп	Telescope
Обсерваторія	Observatory

§ 27. Око як оптичний прилад. Вади зору та їх корекція. Окуляри

«Очі сині та сині дала мати дівчині...», «Чорні очка, як терен...» чи «Очі чорні, як нічка, ясні, мов день»... Очі — це образ, який часто використовують у поезії чи народних піснях для передавання глибини почуттів. Побутує така думка, що колір очей є символом характеру: сині очі відображають чистоту та спокій, зелені — загадковість і пристрасть, а карі — теплоту й щирість. А як же з погляду фізики «працюють» очі? Зараз з'ясуємо.

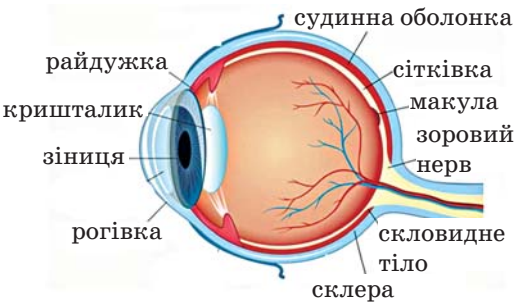
Дізнаймося про...

- оптичну систему ока;
- вади зору та їх корекцію;
- окуляри.

1. Око як оптичний прилад

Око — це унікальний оптичний прилад, який створила природа в процесі еволюції тварин і людини. Зорове сприйняття світу є складним біологічним процесом. Його перша стадія — одержання зображення предмета на сітківці за допомогою оптичної системи ока, яка складається з рогівки, кришталика та скловидного тіла (мал. 27.1).

Рогівка — це перша й найсильніша збиральна лінза в системі ока. Її вигнута форма забезпечує приблизно 70 % від загальної здатності ока фокусувати світло.



Мал. 27.1.
Будова ока

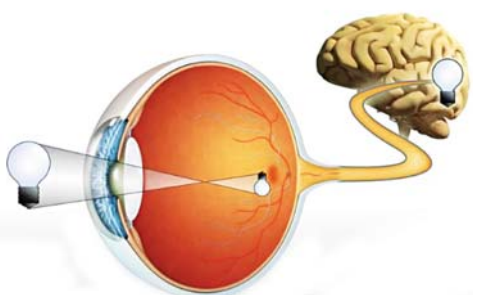
Кришталик — це двоопукла лінза. Кривизна кришталика, його оптична сила й фокусна відстань можуть змінюватися під дією м'язів, що скріплені з ним. Ця його здатність, відома як ***акомодація***, дає можливість оку фокусуватися на об'єктах, розташованих на різних відстанях — далеких і близьких.

Коли ми дивимося вдалечінь, кривизна кришталика зменшується, бо м'язи, що скріплені з ним, розслаблюються. Під час розглядання близьких предметів кривизна кришталика збільшується.

Скловидне тіло — прозора желеподібна речовина, що заповнює простір між рогівкою і кришталиком.

Райдужна оболонка ока людини індивідуальна настільки, що її можна використовувати для ідентифікації особистості (так само, як відбитки пальців). ***Райдужка*** має вигляд диска з круглим отвором усередині — ***зіницею***. Зіниця здатна змінювати свій діаметр, регулюючи кількість світла, що потрапляє в око. Якщо освітлення яскраве — зіниця звужується, у темряві вона розширюється. Здатність ока пристосовуватися до різної яскравості предметів, що спостерігаються, називають ***адаптацією***.

Сітківка ока — це своєрідний світлочутливий «екран», на якому формується зображення. Вона містить мільйони фоторецепторних клітин: палички (для сприйняття чорно-білого світла та руху) і колбочки (для сприйняття кольору та деталей). Око ідентифікує лише три кольори — синій, червоний та зелений, інші — як їх суміш. На сітківці світлові промені перетворюються на нервові імпульси, які передаються по зоровому нерву до мозку для подальшого оброблення та інтерпретації. Вона перетворює світлову енергію (подразнення) на нервовий імпульс і здійснює первинне оброблення зорового сигналу.



Мал. 27.2.
Утворення зображення предметів на сітківці ока

Можна зробити висновок, що світло, яке потрапляє в око, заломлюється в рогівці, кришталику та скловидному тілі. Зображення на сітківці є перевернутим, дійсним і зменшеним, але мозок його «перевертає» (мал. 27.2).

Поміркуйте і дайте відповідь

1. У якому випадку фокусна відстань кришталика більша: коли ви читаєте книжку чи коли дивитеся телевізор?

2. Вади зору та їх корекція

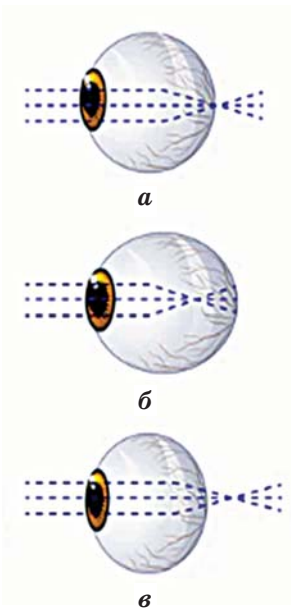
Мабуть, ви помічали, що дехто, намагаючись прочитати текст, підносить книжку дуже близько до очей — це ознака ***короткозорості***. Інші ж, навпаки, віддаляють її на значну відстань — імовірно, вони мають ***далекозорість***. Обидві ці вади зору можна скоригувати за допомогою окулярів або контактних лінз.

Найменшу відстань, на якій око бачить предмет, практично не втомлюючись, називають ***відстанню найкращого зору***. Для людини ця відстань дорівнює **25 см.**

У здоровому оці зображення предметів утворюється на сітківці (мал. 27.3, *а*).

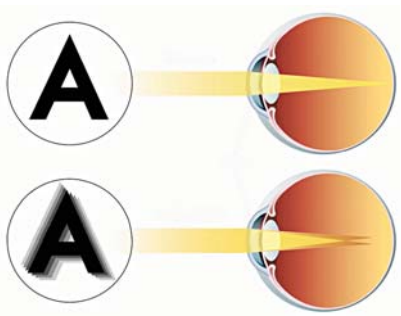
Короткозорість — це вада зору, за якої фокус оптичної системи ока в спокійному (ненапруженому) стані розташований перед сітківкою (мал. 27.3, *б*). За короткозорості людина погано розрізняє віддалені предмети, однак добре бачить ті, що поруч.

Далекозорість — це вада зору, за якої фокус оптичної системи ока в спокійному (ненапруженому) стані розташований за сітківкою (мал. 27.3, *в*). За далекозорості людина погано розрізняє предмети, що поруч, однак добре бачить віддалені.



Мал. 27.3.
Вади зору

Астигматизм — порушення зору, зумовлене несферичною формою кришталика або рогівки ока. Промені світла не фокусуються в одній точці, тому людина втрачає здатність до чіткого бачення (мал. 27.4).



Мал. 27.4.
Астигматизм

Розглянемо, як відбувається корекція зору. Оскільки за короткозорості зображення утворюється перед сітківкою, а в здоровому оці — на сітківці, то потрібно за допомогою розсіювальної лінзи «змістити» зображення на сітківку ока (мал. 27.5).

За далекозорості зображення утворюється за сітківкою ока, тому для коригування використовують збиральну лінзу (мал. 27.6).

Англійський дослідник Джон Дальтон не розрізняв червоного кольору. Він ретельно вивчав своє захворювання, яке згодом отримало назву ***дальтонізм,*** або ***колірна сліпота,*** — нездатність людини розрізняти деякі кольори райдужного спектра. Мають це захворювання переважно представники чоловічої статі.

Поміркуйте і дайте відповідь

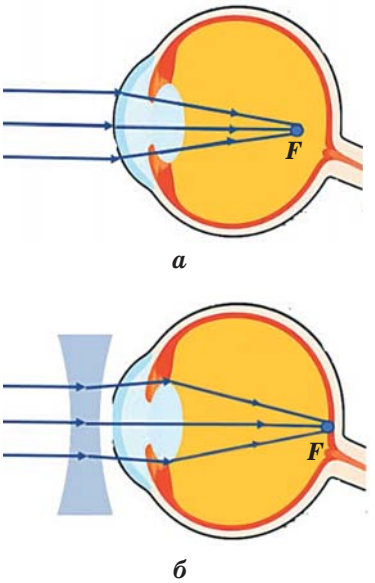
1. Які вади зору мають пацієнти, яким лікар-офтальмолог виписав рецепти із записами +2 дптр та −0,5 дптр?

3. Окуляри

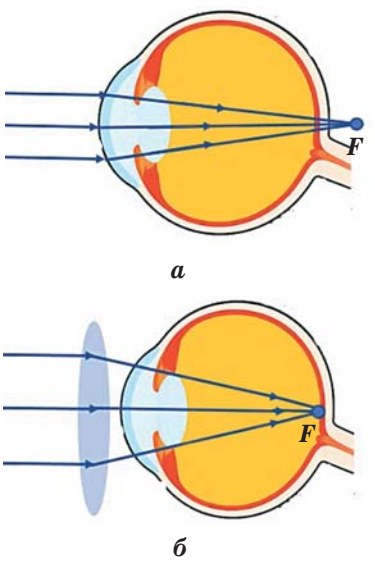
Перші окуляри з'явилися в 1285 році в Італії. Вони були призначені для корекції далекозорості та являли собою дві опуклі лінзи, з'єднані ручкою або іншим пристосуванням, яке тримало їх на носі (мал. 27.7). Проте окуляри з дужками, які кріпляться за вухами, з'явилися набагато пізніше. Їх винайшов британський оптик Едвард Скарлетт у 1727 році (мал. 27.8).

Сонцезахисні окуляри винайшли не в південних країнах, де багато сонця, а мешканці півночі. Річ у тім, що сніг відбиває 80 % ультрафіолету, тож сонце та сніг можуть спричинити снігову сліпоту. Саме тому для мешканців Арктики захист очей є найважливішим. Ескімоси створили прототип сонцезахисних окулярів, які швидше були сонцезахисною маскою. Прилад робили з деревини, моржевої кістки чи оленячого рога, прорізаючи в заготовці тонкі горизонтальні щілини, що обмежувало кількість ультрафіолету, який міг потрапити в очі, а також поліпшував різкість зору.

Цікавим є ще й той історичний факт, що темні окуляри створили в Китаї не для захисту очей від сонця. У XII ст. їх надівали



Мал. 27.5.
Схематичне одержання зображення при короткозорості: *а* — без лінзи; *б* — з розсіювальною лінзою



Мал. 27.6.
Схематичне одержання зображення при далекозорості: *а* — без лінзи; *б* — із збиральною лінзою

судді, аби лінзи з димчастого кварцу приховували емоції під час допиту свідків. Перший європеєць у темних окулярах — це видатний французький хімік XVIII ст. Антуан Лавуазьє. Намагаючись під час дослідів підпалити різні матеріали сонячним світлом, посиленим гігантськими лінзами, він захищав свої очі окулярами із закопченого скла.

Мал. 27.7.
Пенсне

Запам'ятайте

Оптична система ока складається з рогівки, кришталика та скловидного тіла.

Акомодація — здатність ока фокусуватися на об'єктах, розташованих на різних відстанях — далеких і близьких.

Адаптація — здатність ока пристосовуватися до різної яскравості предметів, що спостерігаються.

Мал. 27.8.
Перші окуляри з дужками

Короткозорість — вада зору, за якої фокус оптичної системи ока в спокійному (ненапруженому) стані розташований перед сітківкою ока.

Далекозорість — вада зору, за якої фокус оптичної системи ока в спокійному (ненапруженому) стані розташований за сітківкою ока.

Перевірте себе

1. Що відбувається із зіницею ока, якщо виходити з темного приміщення на світло?
2. Як на дотик визначити тип лінз в окулярах?
3. Чому ми добре бачимо віддалені предмети й ті, що розташовані близько?
4. Розсіювальні лінзи в окулярах мають фокусну відстань 50 см. Визначте оптичну силу цих окулярів.
5. Мама Юрка носить окуляри з оптичною силою +2 дптр. Яку ваду зору ці окуляри коригують? Визначте фокусну відстань цих лінз.
6. Дідусь Уляни читає текст газети, розташовуючи її на відстані 40 см від очей. Визначте оптичну силу лінз потрібних йому окулярів, щоб читати книгу на відстані найкращого зору для здорового ока.

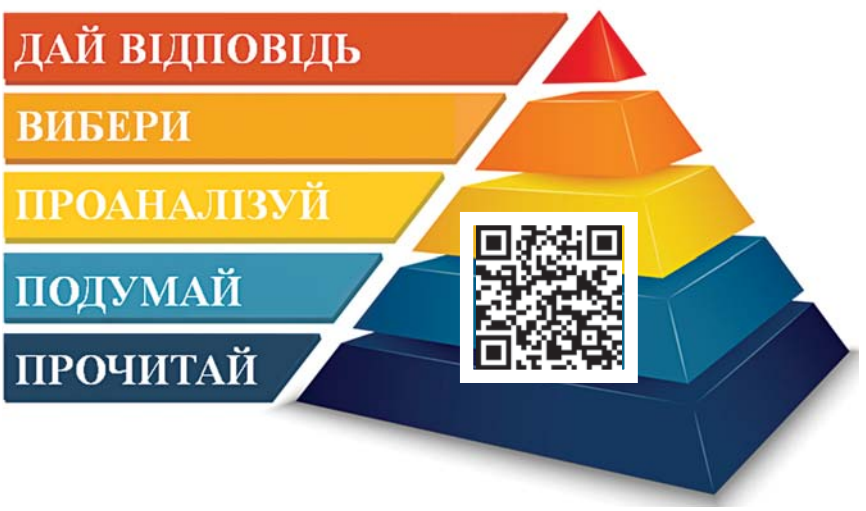
Обдумайте, змоделюйте, зробіть...

Використавши додаткові джерела інформації, створіть буклет-порадник «Як зберегти здоровий зір».

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Око	Eye
Короткозорість	Myopia
Далекозорість	Hyperopia
Астигматизм	Astigmatism
Акомодація	Accommodation
Адаптація	Adaptation

Здійсніть самоперевірку (https://9klas.academiabook.club/fizyka/f-s5)



Виконайте проєкт, дотримуючись алгоритму (додаток 1)

Орієнтовні теми проєктів:

- Зорове сприйняття навколишнього світу різними живими організмами.
- Оптичні ілюзії.
- Інерція зору.
- Оптичні прилади в медицині.
- Астрономічні обсерваторії України.
- Оптичні прилади в нашому житті.
- Виготовлення камери-обскури з підручних матеріалів.
- Виготовлення перископа з підручних матеріалів.

Атомна і ядерна фізика

§ 28. Сучасна модель атома. Досліди Резерфорда. Протонно-нейтронна модель ядра. Ядерні сили. Ізотопи. Використання ізотопів

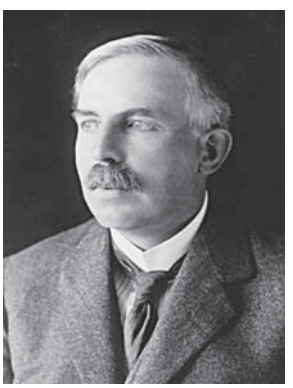
Усе, що нас оточує, складається з молекул, а молекули складаються з атомів — крихітних «цеглинок» світу. Вони невидимі, але саме в них прихована потужна сила природи. А чи знали ви про існування різновидів атомів, що допомагають лікувати людей, досліджувати минуле Землі й навіть створювати нові джерела енергії? Тож ця тема відкриє нам шлях у дивовижний світ, де мале пояснює велике.

Дізнаймося про...

- досліди Резерфорда;
- будову ядра;
- природу ядерних сил;
- ізотопи.

1. Розвиток уявлень про будову атома та відкриття ядра

Коли спостерігаємо за навколишнім світом, нам здається, що все суцільне й звичне — камінь твердий, повітря невидиме, вода рідка. А що ж приховане всередині кожної речовини? Щоб дізнатися, як улаштований атом, науковці здійснили безліч дослідів. А досліди Ернеста Резерфорда відкрили шлях до розуміння будови ядра атома.



Ернест Резерфорд

Пригадайте вивчене

У 1903 році Джозеф-Джон Томсон запропонував модель атома, відповідно до якої атом є однорідною кулею з позитивно зарядженої речовини, у якій перебувають електрони. Сумарний заряд електронів дорівнює позитивному заряду речовини атома, тому атом електрично нейтральний. Така модель атома дістала назву «пудинг» (електрони були вкраплені в позитивне середовище подібно до родзинок у пудингу) (мал. 28.1). Модель Томсона проіснувала до 1911 року.

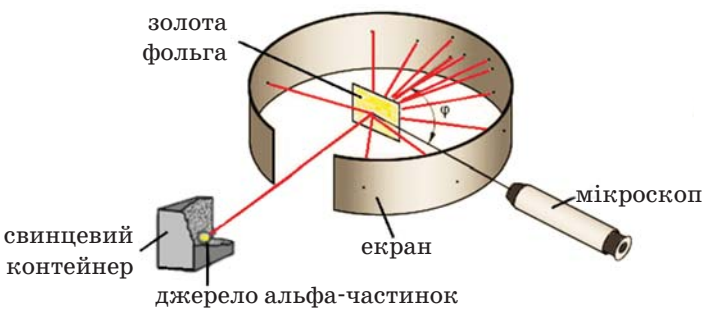
У 1911 році Ернест Резерфорд запропонував нову модель будови атома на основі експериментів із розсіювання альфа-частинок на золотій фользі (мал. 28.2). Науковець спрямовував вузький пучок α-частинок зі свин-

цевого контейнера на тонку золоту фольгу, після чого він потрапляв на екран, покритий шаром кристалів цинк сульфіду. Якщо в такий екран влучала α-частинка, то в тому місці відбувався слабкий спалах світла, за яким спостерігали за допомогою мікроскопа.

Мал. 28.1.
Схематичне зображення моделі атома Томсона й пудинг у розрізі

Під час цих дослідів було виявлено, що:

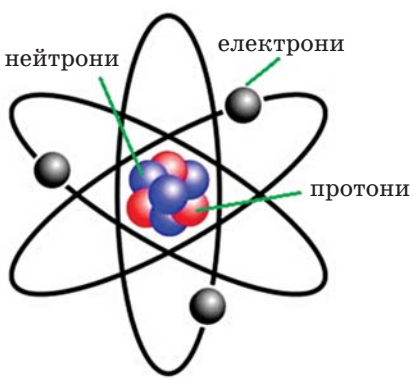
- переважна більшість α-частинок проходить крізь золоту фольгу, не змінюючи напрямку руху;
- деякі α-частинки відхиляються від початкової траєкторії руху;
- приблизно одна з 20 000 частинок відбивалася від фольги, ніби натрапляючи на якусь перешкоду.



Мал. 28.2.
Схема досліду Резерфорда

Згідно із цією моделлю атом складається з невеликого позитивно зарядженого ядра, у якому зосереджена майже вся маса атома. Навколо ядра рухаються електрони, подібно до того, як планети рухаються навколо Сонця визначеними орбітами. Ця модель дістала назву ***«планетарна модель атома»*** (мал. 28.3).

Дослід Резерфорда дав можливість визначити розмір атомного ядра: розмір ядра порівняно з атомом надзвичайно малий (діаметр атома дорівнює приблизно 10^{-10} м, а ядра — 10^{-15} м).

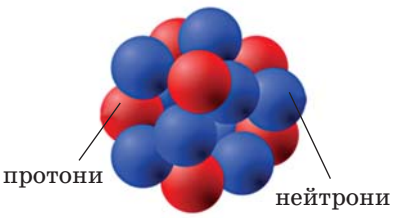


Мал. 28.3.
Планетарна модель атома

2. Протонно-нейтронна модель ядра атома. Ядерні сили

Пригадайте вивчене

Після відкриття протона і нейтрона український фізик Дмитро Іваненко та німецький фізик Вернер Гейзенберг запропонували ***протонно-нейтронну модель ядра атома***. Відповідно до цієї моделі атомне ядро складається з ***нуклонів*** — позитивно заряджених протонів і нейтральних нейтронів (мал. 28.4). Кількість протонів у ядрі (зарядове число) дорівнює атомному номеру елемента в періодичній таблиці хімічних елементів. Саме ним визначають хімічні властивості елемента.



Мал. 28.4.
Модель атомного ядра

Вернер Гейзенберг

Дмитро Іваненко

Сумарну кількість протонів (Z) і нейтронів (N) у ядрі називають ***нуклонним числом*** (A). Воно дорівнює заокругленій до цілого числа відносній атомній масі хімічного елемента в періодичній таблиці хімічних елементів:

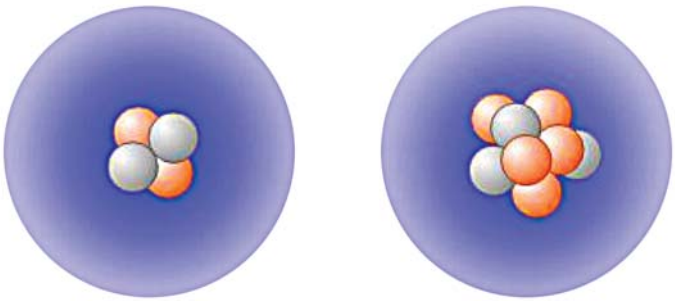
$$A = Z + N.$$

Ядро атома прийнято позначати ${}^{A}_{z}X$, де X — символ хімічного елемента, A — нуклонне число, z — зарядове число (число протонів у ядрі), яке відповідає порядковому номеру хімічного елемента в періодичній таблиці хімічних елементів.

Наприклад, ядро атома Карбону ${}^{12}_{6}C$ має нуклонне число 12 і число протонів 6.

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Розгляньте малюнок 28.5 і з'ясуйте, ядра атомів яких елементів зображено. Сірі кульки — нейтрони, оранжеві — протони.



Мал. 28.5.
Ядра атомів хімічних елементів

Після відкриття нуклонів стало зрозуміло, що вони утримуються в атомному ядрі силами, відмінними від відомих на той час сил природи — електромагнітних і гравітаційних. Протони, з яких складаються ядра, заряджені позитивно, а нейтрони не мають електричного заряду. Тому, вочевидь, існує сила, яка має протидіяти відштовхуванню протонів як однойменно заряджених частинок і втримувати в ядрі нейтрони.

У ядрі діють ***ядерні сили*** — сили притягання між нуклонами (протонами та нейтронами). Їхня дія проявляється на дуже коротких відстанях, приблизно до 10^{-15} м, які відповідають розміру атомного ядра. Ядерні сили забезпечують зв'язування ядра, долаючи кулонівське відштовхування між протонами. Це найсильніші сили в природі, які забезпечують стабільність ядер. Величина ядерних сил не залежить від електричного заряду частинок, що взаємодіють. Сила між двома протонами, двома нейтронами або протоном і нейтроном однакова на одній і тій самій відстані.

3. Ізотопи

У XIX ст. з відкриттям радіоактивних речовин з'явилося поняття «ізотоп».

Ізотопи («однакові за місцем») — атоми одного хімічного елемента, що різняться кількістю нейтронів у ядрі, але мають однакову кількість протонів та електронів й однакові хімічні властивості.

Наприклад, в ізотопі Хлору $^{35}_{17}Cl$ міститься 17 протонів і 18 нейтронів, а в ізотопі Хлору $^{37}_{17}Cl$ — 17 протонів і 20 нейтронів.

Ізотопи широко застосовують у медицині (діагностика та лікування захворювань, зокрема раку), промисловості (контроль технологічних процесів, дослідження корозії та зносу), науці (метод мічених атомів для вивчення біологічних та геологічних процесів), енергетиці (ядерні електростанції) та сільському господарстві (дослідження засвоєння добрив, боротьба зі шкідниками). Ізотопи використовують також як джерела випромінювання або як мічені атоми для відстеження переміщення речовин.

Запам'ятайте

Нуклони — частинки, з яких складається атомне ядро, — позитивно заряджені протони та незаряджені частинки нейтрони.

Ядерні сили — сили притягання між нуклонами (протонами та нейтронами) в ядрі.

Ізотопи («однакові за місцем») — атоми одного хімічного елемента, що різняться кількістю нейтронів у ядрі, але мають однакову кількість протонів та електронів, однаковий порядковий номер у періодичній системі та однакові хімічні властивості.

Обдумайте, змоделюйте, зробіть...

Створіть модель будь-якого атома з періодичної системи Менделєєва, використовуючи підручні матеріали (пластилін, дріт, зубочистки, кульки тощо).

Перевірте себе

1. Розпізнайте неправдиву інформацію.
   Планетарну модель атома запропонував Нільс Бор. Ядро атома складається з протонів, нейтронів і електронів. Порядковий номер елемента вказує на кількість протонів у ядрі. Ядерні сили — це сили притягання, що діють між нуклонами.
2. У ядрі атома Флуору 9 протонів і 10 нейтронів. Скільки електронів має цей атом?
3. Оберіть у періодичній таблиці хімічних елементів довільний хімічний елемент. Визначте кількість протонів, нейтронів у ядрі цього хімічного елемента та електронів, що обертаються навколо ядра.
4. У ядрі атома Карбону міститься 12 частинок. Навколо ядра обертаються 6 електронів. Визначте кількість протонів і нейтронів у ядрі цього атома.
5. У ядрі атома хімічного елемента 31 протон і 39 нейтронів. Який це елемент?
6. Використовуючи додаткові джерела інформації, дізнайтеся про практичне застосування ізотопів у медицині, енергетиці, археології.

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Атом	Atom
Ядро	Nuclei

Нуклон	Nuklon
Ядерні сили	Nuclear forces
Ізотопи	Izotopy

§ 29. Радіоактивність. Радіоактивне випромінювання, його природа і властивості

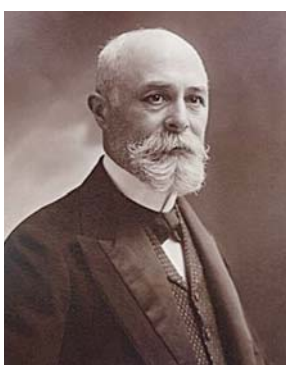
У кожному атомі прихована «невидима сила» — енергія, яка здатна змінювати світ. Завдяки їй люди навчилися створювати нові джерела енергії, лікувати хвороби й дізнаватися про минуле нашої планети. Що це за «невидима сила»?

Дізнаймося про...

- радіоактивність та її відкриття;
- види радіоактивного випромінювання, їхні природу та властивості.

1. Відкриття радіоактивності

У 1896 році французький фізик Антуан-Анрі Беккерель випадково відкрив ***явище радіоактивності***, яке свідчить про складну будову атомного ядра. Натхненний результатами відкриття рентгенівських променів, науковець почав досліджувати споріднене явище — свічення солей Урану, які він наносив на загорнуту в цупкий чорний папір фотопластинку. Після опромінення сонячним світлом проявлена фотопластинка почорніла в тих місцях, де лежала сіль. Науковець дійшов висновку, що солі Урану під впливом сонячного світла випускають невидимі промені, які пронизують непрозорі тіла й діють на фотопластинку.



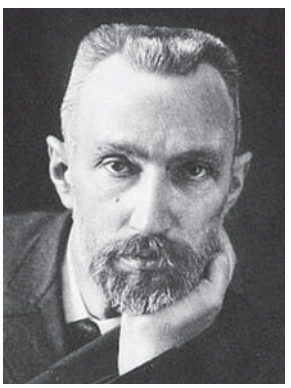
Антуан-Анрі Беккерель

Але одного разу Беккерелю не вдалося провести дослід, бо було хмарно й опромінити зразок із солями Урану сонячним світлом було неможливо. Він поклав пластинку, на якій лежав мідний хрест, укритий сіллю Урану, у шухляду стола. Проявивши через декілька днів фотопластинку, науковець виявив на ній почорніння у вигляді виразного обрису хреста.

Це означало, що солі Урану самовільно, без впливу зовнішніх факторів, створюють якесь випромінювання.

Беккерель проводив дослідження з різними хімічними сполуками Урану і встановив важливий факт: інтенсивність випромінювання визначається тільки кількістю Урану в препараті й зовсім не залежить від того, у яких сполуках він міститься.

Пізніше, у 1898 році, Марія Склодовська-Кюрі та П'єр Кюрі відкрили нові хімічні елементи, яким теж було властиве самовільне випромінювання, — **Радій** і **Полоній**. У 1903 році Беккерель, Марія та П'єр Кюрі отримали Нобелівську премію за це відкриття. Згодом науковці / науковиці виявили, що для всіх нуклідів хімічних елементів, порядковий номер яких вищий за 82, характерне самовільне випромінювання (***радіоактивність***).



П'єр Кюрі

Марія Склодовська-Кюрі

Радіоактивність — самочинне перетворення одних атомних ядер на інші, яке супроводжується випромінюванням різних частинок та електромагнітних хвиль.

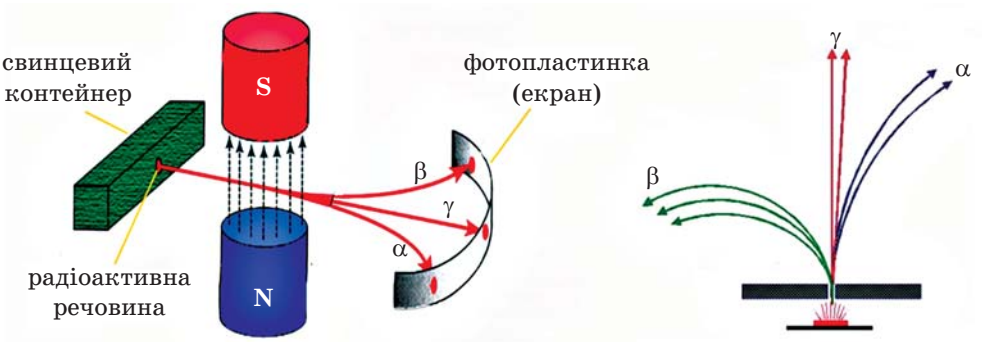
Хімічні елементи, ядра яких мають таку здатність, називають ***радіоактивними елементами,*** або ***радіонуклідами***.

Невидиме випромінювання, що самочинно випускається радіонуклідами, називають ***радіоактивним випромінюванням***.

2. Види радіоактивного випромінювання

Відкривши в 1896 році радіоактивність, А. Беккерель установив, що Уран випромінює невідомі на той час промені. Це випромінювання було названо ***«променями Беккереля»***. Крім Беккереля і подружжя Кюрі, радіоактивне випромінювання почав досліджувати Ернест Резерфорд.

Науковець провів дослід, який допоміг виявити склад радіоактивного випромінювання. На дно вузького каналу свинцевого контейнера він помістив радіоактивний препарат (мал. 29.1), а навпроти каналу — фото-



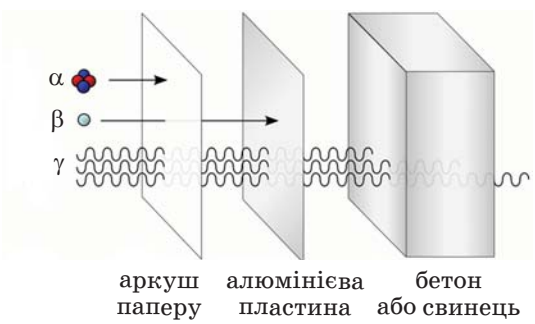
Мал. 29.1.
Схема експерименту з дослідження природи радіоактивного випромінювання

пластинку. На випромінювання, що виходило з контейнера, діяло сильне магнітне поле. Цю установку було розміщено у вакуумі. За відсутності магнітного поля на проявленій фотопластинці точно навпроти каналу спостерігалася одна темна пляма. А в магнітному полі пучок випромінювання розпадався на три складові частини. Дві частини відхилялися у протилежні боки, що свідчило про те, що вони мають електричні заряди різних знаків. А третю частину магнітне поле не відхиляло.

Позитивно заряджена частина випромінювання дістала назву ***альфа-проміння***, негативно заряджена — ***бета-проміння***, а третя — промені, які не відхилялися магнітним полем, — ***гамма-проміння***.

У процесі дослідження видів радіоактивного випромінювання було з'ясовано їхню природу та фізичні властивості.

Альфа-випромінювання — потік α-частинок, які є ядрами атомів Гелію ($^4_2$ He). Воно має високу йонізуючу здатність, але дуже низьку проникну здатність, тому легко затримується аркушем паперу (мал. 29.2), декількома сантиметрами повітря або шаром ороговілих клітин на поверхні шкіри. Однак у разі потрапляння в організм (наприклад, під час вдихання або ковтання) альфа-випромінювання є надзвичайно небезпечним через його високу йонізуючу дію на коротких відстанях.



Мал. 29.2.
Захист від радіоактивного випромінювання

Бета-випромінювання — потік електронів (${}^{0}_{-1}e$), які утворюються під час розпаду атомних ядер. Швидкість цих частинок близька до швидкості світла. Вони мають більшу проникну здатність, ніж альфа-частинки, і можуть потрапляти в шкіру та тканини. Значні дози бета-випромінювання можуть спричиняти променеві опіки шкіри та променеву хворобу. Бета-частинки можна зупинити за допомогою алюмінієвої пластини (мал. 29.2).

Гамма-випромінювання — електромагнітне випромінювання з найменшою довжиною хвилі, яке виникає під час розпаду радіоактивних ядер. Воно має високу проникну здатність, і для захисту від нього потрібні щільні матеріали, такі як свинець або бетон (мал. 29.2). Опромінення гамма-променями (залежно від дози опромінення) може спричиняти хронічну й гостру променеву хворобу, різні види онкологічних захворювань. Водночас їх використовують для діагностики та лікування онкологічних захворювань (променева терапія).

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Чи впливає на альфа- та бета-випромінювання електричне поле?

3. Правила зміщення

Фредерік Содді

Розглянемо, як змінюються зарядове та масове числа ядра під час радіоактивних перетворень. Після проведення низки експериментів було встановлено загальні правила таких перетворень, які дістали назву ***правила зміщення***. Їх сформулював англійський фізик Фредерік Содді, тому їх ще називають ***правила зміщення Содді***.

Перетворення атомних ядер, що супроводжується випусканням α-частинок, називають **α-*розпадом***. Оскільки α-частинка є ядром атома Гелію, то внаслідок розпаду масове число ядра зменшується на 4, а зарядове — на 2. Утворюється ядро атома хімічного елемента, порядковий номер якого на дві одиниці менший від порядкового номера вихідного елемента:

$$ {}^{A}_{z}X \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{A-4}_{z-2}Y. $$

Перетворення атомних ядер, що супроводжується випусканням β-частинок, називають **β-*розпадом***. Унаслідок такого розпаду утворюється електрон, при цьому масове число ядра не змінюється, а зарядове число збільшується на 1. Утворюється ядро хімічного елемента, порядковий номер якого на одну одиницю більший від порядкового номера вихідного елемента:

$$ {}^{A}_{z}X \rightarrow {}^{0}_{-1}e + {}^{A}_{z+1}Y. $$

Альфа- й бета-розпади відбуваються за законами збереження електричного заряду і масового числа, які виконуються під час радіоактивних перетворень.

Під час γ-випромінювання з ядра вилітає гамма-квант, який не має електричного заряду. Тому заряд ядра й число нуклонів у ядрі внаслідок γ-випромінювання не змінюються, ядро залишається ядром атома того самого елемента.

Запам'ятайте

Радіоактивність — самочинне перетворення одних атомних ядер на інші, яке супроводжується випромінюванням різних частинок та електромагнітних хвиль.

Радіоактивне випромінювання — невидиме випромінювання, що самочинно випускається радіонуклідами.

Альфа-випромінювання — потік α-частинок, які є ядрами атомів Гелію (^4_2He).

Бета-випромінювання — потік електронів ($^0_{-1}e$), які утворюються під час розпаду атомних ядер.

Гамма-випромінювання — електромагнітне випромінювання з найменшою довжиною хвилі, яке виникає під час розпаду радіоактивних ядер.

Перевірте себе

1. Чи зміниться місце хімічного елемента в періодичній таблиці після п'яти послідовних α-розпадів? Чому?
2. Як зміниться зарядове й масове число радіоактивного елемента після одного α-розпаду і двох β-розпадів?
3. Який елемент утвориться з Урану-238 після одного α-розпаду, а потім одного β-розпаду?
4. Скільки α- і β-розпадів відбулося внаслідок перетворення Радію-226 на Плюмбум-206?
5. Після послідовних α- і β-розпадів з ядра атома деякого хімічного елемента утворилося ядро ізотопу $^{211}_{83}\text{Bi}$. З ядра якого елемента воно утворилося?

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Радіоактивність	Radioactivity
Альфа-частинка	Alpha particle
Бета-частинка	Beta particle
Гамма-промені	Gamma rays

§ 30. Період піврозпаду радіонукліда. Активність радіонуклідного зразка. Закон радіоактивного розпаду

Радіаційні технології дуже важливі в багатьох сферах життя — від медицини до енергетики, однак необхідно знати, як безпечно працювати з радіонуклідами, як їх раціонально використовувати, протягом якого часу речовина залишатиметься активною.

Дізнаймося про...

- період піврозпаду;
- активність радіонукліда;
- закон радіоактивного розпаду.

1. Період піврозпаду

Досліджуючи радіоактивні препарати, науковці / науковиці зіткнулися з багатьма дивними й незвичайними явищами, які пояснити було дуже важко. Під час радіоактивного розпаду число атомів вихідного радіоактивного елемента безперервно зменшується. Для одних це зменшення відбувається дуже швидко, а для інших на це йдуть сотні років. Спостерігаючи за випромінюванням ізотопів Урану, Торію, Радію протягом діб, місяців і років, науковці та науковиці виявили, що інтенсивність випромінювання цих радіоактивних елементів зменшується, але дуже повільно. Проте інтенсивність випромінювання одного з ізотопів Радону (Rn-220) зменшується у два рази вже через 1 хв.

З'ясувалося, що для кожної радіоактивної речовини існує певний інтервал часу, протягом якого інтенсивність його випромінювання зменшується вдвічі. За цей час і кількість ядер радіоактивних атомів зменшується вдвічі. Цей інтервал називають **періодом піврозпаду** й позначають символом T.

Період піврозпаду — час, за який розпадається половина всієї кількості наявних ядер радіоактивних атомів.

Чим менший період піврозпаду, тим менший час життя атомів, тим швидше відбувається розпад. Для різних радіонуклідів його значення дуже різняться (табл. 1).

Таблиця 1

Радіонуклід	Період піврозпаду	Радіонуклід	Період піврозпаду
1	2	1	2
$^{220}_{86}$Rn	56 с	$^{222}_{86}$Rn	3,8 доби
$^{132}_{53}$I	2,26 год	$^{131}_{53}$I	8 діб

Закінчення таблиці 1

1	2
$^{125}_{53}$I	60,2 доби
$^{58}_{27}$Co	71,3 доби
$^{210}_{84}$Po	140 діб
$^{60}_{27}$Co	5,3 року
$^{137}_{55}$Cs	30 років
$^{226}_{88}$Ra	1600 років

1	2
$^{14}_{6}$C	5700 років
$^{239}_{94}$Pu	24 тис. років
$^{236}_{92}$U	23 млн років
$^{235}_{92}$U	0,7 млрд років
$^{238}_{92}$U	4,5 млрд років
$^{232}_{90}$Th	14 млрд років

2. Закон радіоактивного розпаду

Розпад будь-якого ядра є випадковою подією, тобто ядро може розпастися або залишитися цілим незалежно від того, скільки минуло часу.

За одиницю часу з наявної кількості ядер завжди розпадається певна їх частина, яку позначають символом λ і називають ***сталою розпаду радіоактивного елемента***.

Одиницею вимірювання сталої розпаду в системі СІ є $\frac{1}{\text{с}}$ **(с$^{-1}$).**

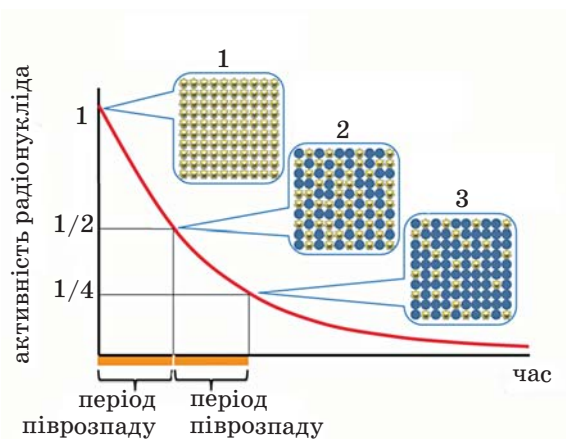
Кількість розпадів за одиницю часу називають ***активністю радіонукліда***, позначають символом A та обчислюють за формулою:

$$A = \lambda N,$$

де N — кількість атомів радіонукліда.

Одиницею вимірювання активності радіонукліда в системі СІ є ***беккерель* (Бк).** 1 Бк — це активність радіонукліда, за якої за 1 с відбувається один розпад. Часто використовують позасистемну одиницю вимірювання активності радіонукліда — ***кюрі* (Кі):** 1 Кі = $3{,}7 \cdot 10^{10}$ Бк.

Активність характеризує інтенсивність випромінювання всього препарату, а не окремого ядра (мал. 30.1)



Мал. 30.1.
Зміна активності радіонукліда з часом (1 — початкова кількість радіоактивних атомів; 2 — половина початкової кількості радіоактивних атомів; 3 — чверть початкової кількості радіоактивних атомів)

Нехай кількість радіоактивних атомів у початковий момент часу ($t = 0$ с) дорівнює N_0. Після закінчення часу, рівного періоду піврозпаду, їх кількість дорівнюватиме $\frac{N_0}{2}$. Ще через один такий самий інтервал часу їх кількість зменшиться удвічі й дорівнюватиме $\frac{N_0}{4}$, тобто $\frac{N_0}{2^2}$. Через час, що дорівнює $t = nT$, тобто через n періодів піврозпаду T, радіоактивних атомів залишиться:

$$N = N_0 \cdot \frac{1}{2^n}.$$

Оскільки $n = \frac{t}{T}$, то

$$N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}.$$

Це і є **закон радіоактивного розпаду**.

3. Радіоактивні ізотопи та їх використання

У сучасному світі радіонукліди застосовують у багатьох сферах життя та діяльності людини, однак користь від них можлива лише за правильного та безпечного застосування.

У медицині ізотоп Йоду-131 використовують для обстеження і лікування захворювань щитоподібної залози людини, оскільки Йод — це елемент, необхідний для нормальної її роботи.

Кобальт-60 застосовують для стерилізації харчових продуктів, медичних інструментів і матеріалів; для знищення ракових клітин; для стимуляції росту та врожайності зернових і овочевих культур; знезаражування та очищення промислових стоків, твердих і рідких відходів різних видів виробництв.

Радіоактивні ізотопи використовують для перевірки цілісності металевих деталей, зварних швів без їх руйнації. Радіонукліди застосовують для створення нових сортів рослин (опромінення насіння може викликати корисні мутації, які роблять рослину значно стійкішою до шкідників чи посухи); в екологічних дослідженнях радіоактивні мітки допомагають простежувати рух речовин у ґрунті, воді, біосфері.

За допомогою радіовуглецевого методу, використовуючи ізотоп Карбону-14 з відомим його періодом піврозпаду, визначають вік археологічних знахідок — дерев, кісток тощо.

4. Приклад розв'язування задачі

Задача. Період піврозпаду Цезію-137 — 30 років. Визначте частину атомів ізотопу, що залишаться після 180 років.

Дано:		Розв'язання:
$T = 30$ років $t = 180$ років $\frac{N}{N_0}$ — ?	$N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$ Поділимо ліву і праву частини рівняння на N_0: $\frac{N}{N_0} = 2^{-\frac{t}{T}}$	$\frac{N}{N_0} = 2^{-\frac{180\text{ років}}{30\text{ років}}} = 2^{-6} = \frac{1}{2^6} = \frac{1}{64}$.

Відповідь: $\frac{N}{N_0} = \frac{1}{64}$.

Запам'ятайте

Період піврозпаду — час, за який розпадається половина всієї кількості наявних радіоактивних атомів.

Стала розпаду радіоактивного елемента — величина, що характеризує частину ядер, яка розпадеться за одиницю часу.

Активність радіонукліда — фізична величина, яка дорівнює кількості розпадів за одиницю часу.

Перевірте себе

1. Стала розпаду ядер атомів радіоактивного Торію-229 дорівнює $3 \cdot 10^{-12}$ с$^{-1}$. Визначте активність радіоактивного препарату, якщо в ньому міститься $1{,}5 \cdot 10^{28}$ атомів.
2. Визначте сталу розпаду для радіоактивного препарату, що містить $3 \cdot 10^7$ атомних ядер, якщо його активність дорівнює 20 МБк.
3. Скільки періодів піврозпаду має минути, щоб активність елемента зменшилася у 32 рази?
4. Період піврозпаду ізотопу деякого радіоактивного елемента дорівнює 4 год. Визначте, скільки ядер залишиться через 8 год, якщо початкова кількість атомів радіонукліда 8000.
5. У скільки разів зменшиться кількість атомів одного з ізотопів Радону за 1,91 доби. Період піврозпаду цього ізотопу Радону — 3,82 доби.

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Активність	Activity
Стала розпаду	Disintegration constant
Період піврозпаду	Half-life

§ 31. Йонізуюча дія радіоактивного випромінювання. Природний радіаційний фон. Дозиметри. Біологічна дія радіоактивного випромінювання

Під час роботи на ядерних установках або з радіоактивними препаратами, що широко використовують у науці й техніці, людина може зазнавати впливу радіоактивного випромінювання. Які його наслідки? Як захистити організм від цього впливу? Відповіді на запитання містяться в цьому параграфі.

Дізнаймося про...

- йонізуючу дію радіоактивного випромінювання;
- дозиметри;
- радіаційний фон;
- біологічну дію радіоактивного випромінювання.

1. Йонізуюча дія радіоактивного випромінювання

Радіоактивне випромінювання, що проникає в живий організм, спричиняє в ньому негативні біологічні зміни. У разі взаємодії випромінювання з живою тканиною відбувається збудження атомів і молекул речовини та їх йонізація. Унаслідок цього вони стають надзвичайно хімічно активними й викликають в організмі шкідливі реакції. Рівень ушкодження живих тканин організму залежить від енергії, яку поглинають молекули й атоми речовин.

Вплив випромінювання на живий організм характеризується **поглинутою дозою випромінювання**, яку позначають символом D.

Поглинута доза випромінювання — фізична величина, яка чисельно дорівнює відношенню кількості поглинутої енергії йонізуючого випромінювання до маси опроміненої речовини. Обчислюється вона за формулою:

$$D = \frac{E}{m}.$$

Одиницею вимірювання поглинутої дози випромінювання в системі СІ є ***грей*** **(Гр).**

1 Гр — поглинута доза йонізуючого випромінювання, за якої речовині масою 1 кг передається енергія йонізуючого випромінювання 1 Дж.

Позасистемною одиницею вимірювання поглинутої дози є ***рад***:

$$1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад}.$$

За однакової поглинутої дози дія на живий організм різних видів випромінювання є різною. Біологічну дію певного виду випромінювання характеризують ***еквівалентною дозою випромінювання***. Її позначають символом ***H*** і обчислюють за формулою:

$$H = kD,$$

де k — коефіцієнт якості.

Для β- та γ-променів коефіцієнт якості дорівнює 1, а для α-променів — 20. Одиницею вимірювання еквівалентної дози випромінювання в системі СІ є ***зіверт*** **(Зв).**

З огляду на небезпеку для людини впливу радіоактивних випромінювань міжнародна комісія у справах радіаційного захисту встановила гранично допустиму дозу опромінення для людини на рік — 1 мЗв.

Мал. 31.1. Дозиметр

Для вимірювання дози йонізуючого випромінювання, а також потужності його дози використовують прилади — ***дозиметри*** (мал. 31.1). Залежно від конструкції дозиметри можуть сприймати різні види радіоактивного випромінювання або лише один з них. Основним елементом цих приладів є датчики, які здатні реєструвати радіоактивне випромінювання. За кількістю частинок, зареєстрованих протягом певного часу, визначають інтенсивність опромінення в одиницях дози або її потужності — Зв або Зв/год. Оскільки зіверт відповідає високій дозі, то зазвичай рівень радіації оцінюють у мілі- та мікрозівертах.

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Чому для характеристики впливу на організм впровадили поняття «еквівалентна доза», а не обмежуються поняттям «поглинута доза»?

2. Радіаційний фон та біологічна дія радіоактивного випромінювання

Основну частину радіоактивного випромінювання населення земної кулі отримує від природних джерел радіації — космосу та радіоактивних речовин, які містяться в земній корі, а також випромінювання, що утворюється під час вибухів на Сонці.

Радіоактивні елементи можуть міститися і в будівельних матеріалах, таких як граніт і пемза. Радіоактивність граніту зумовлена вмістом у ньому радіоактивних елементів — Торію, Урану тощо.

Одним з найпоширеніших природних джерел радіації є невидимий, без смаку й запаху газ (у 7,5 раза важчий за повітря) — радон, який виділяється із земної кори. Джерелами радону в будівлях є ґрунт під фундаментом, підземні води (особливо з артезіанських свердловин) і природний газ.

У закритих приміщеннях радон, піднімаючись із водяною парою, потрапляє в легені разом з повітрям, яке вдихають, і розпадається, виділяючи α-частинки. Вони «бомбардують» організм ізсередини, що може спричинити мікроопіки легеневих тканин. Щоб уникнути накопичення радону в закритому приміщенні, будинку, необхідно провітрювати ванні та інші кімнати, вмикати витяжку на кухні під час приготування їжі.

Рівень опромінювання зростає з висотою над поверхнею Землі. Люди, котрі живуть на рівні моря, отримують еквівалентну дозу 300 мкЗв/рік; ті, хто живе на висоті 2000 м над рівнем моря, — у декілька разів більшу. Пасажири літаків на висоті 12 000 м отримують опромінення, у 25 разів більше.

Значну частину радіаційного фону створює людська діяльність. Такий фон називають ***штучним***, або ***техногенним***. Він виникає внаслідок використання радіоактивних речовин у різних галузях:

- у медицині — під час проведення рентгенівських досліджень, комп'ютерної томографії чи лікування онкологічних захворювань радіоактивними ізотопами;
- в енергетиці — на атомних електростанціях, де під час роботи або утилізації відходів може виділятися невелика кількість радіоактивних речовин;
- у промисловості й наукових дослідженнях — для контролю якості матеріалів та відстежування хімічних, фізичних і біологічних процесів;
- унаслідок ядерних випробувань і аварій, які залишають сліди радіонуклідів у ґрунті та атмосфері.

Зазвичай частка штучних джерел у загальному радіаційному фоні невелика, проте дотримання правил безпеки є обов'язковим для запобігання надмірному опроміненню людей і навколишнього середовища.

Радіоактивне випромінювання, проникаючи в живі організми, найбільше шкоди завдає клітинам, що швидко діляться, — кровотвірним, епітеліальним, статевим. Пошкодження їхньої спадкової інформації може призвести до мутацій, порушення росту або розвитку організму.

Наслідки впливу випромінювання залежать від його виду та дози: альфа-частинки діють переважно на поверхні тіла, а бета- й гамма-випромінювання може проникати глибоко в тканини. Накопичення опромінення протягом тривалого часу завдає шкоди здоров'ю людини, спричиняючи опіки, руйнування тканин, променеву хворобу, зниження імунітету, зміни у складі крові.

Запам'ятайте

Поглинута доза випромінювання — фізична величина, яка чисельно дорівнює відношенню кількості поглинутої енергії йонізуючого випромінювання до маси опроміненої речовини.

Дозиметр — прилад для вимірювання дози йонізуючого випромінювання, а також його потужності.

Перевірте себе

1. Чому навіть невелика доза радіації може бути небезпечною, якщо її дія триває довго?
2. Чому під час польоту літаком на висоті 10 км над рівнем моря рівень опромінення зростає?
3. Унаслідок опромінення тканина живого організму масою 2 кг поглинула енергію 0,006 Дж. Визначте поглинуту дозу випромінювання. Чи є така доза небезпечною для людини?
4. Тканина живого організму отримала поглинуту дозу 0,01 Гр. Визначте еквівалентну дозу для α-, β- та γ-випромінювання. Яке випромінювання має найсильнішу біологічну дію?
5. Використовуючи додаткові джерела, здійсніть пошук інформації про способи зменшення впливу радіації на людей, які працюють із джерелами випромінювання.

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Поглинута доза випромінювання	Absorbed radiation dose
Еквівалентна доза випромінювання	Equivalent radiation dose
Дозиметр	Dosimeter

§ 32. Поділ важких ядер. Ланцюгова ядерна реакція. Ядерний реактор

Уявіть, що ви тримаєте в руках невеличкий шматочок металу урану завбільшки лише з ґудзик. Здається, нічого особливого. Але цей маленький шматочок може дати стільки енергії, що вистачить, аби забезпечити електроенергією ціле місто на кілька днів! Як таке можливо? Річ у тім, що всередині кожного атома прихована колосальна енергія — енергія, яку люди довго не могли «розбудити». І аж у XX ст.

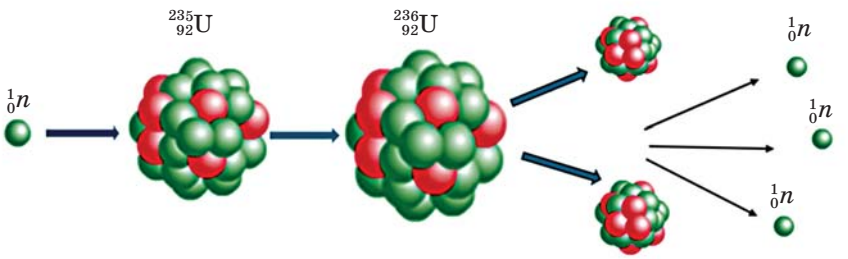
науковці / науковиці зрозуміли, як це можна зробити. А тепер довідаєтеся й ви, прочитавши параграф.

Дізнаймося про...

- поділ важких ядер;
- ланцюгову ядерну реакцію;
- ядерний реактор.

1. Поділ важких ядер

У 30-ті роки XX ст. науковці та науковиці багатьох країн проводили досліди, опромінюючи природний уран нейтронами. І в 1939 році було встановлено, що в разі опромінення урану нейтронами утворюється нове нестійке ядро атома Урану, яке розщеплюється (мал. 32.1).



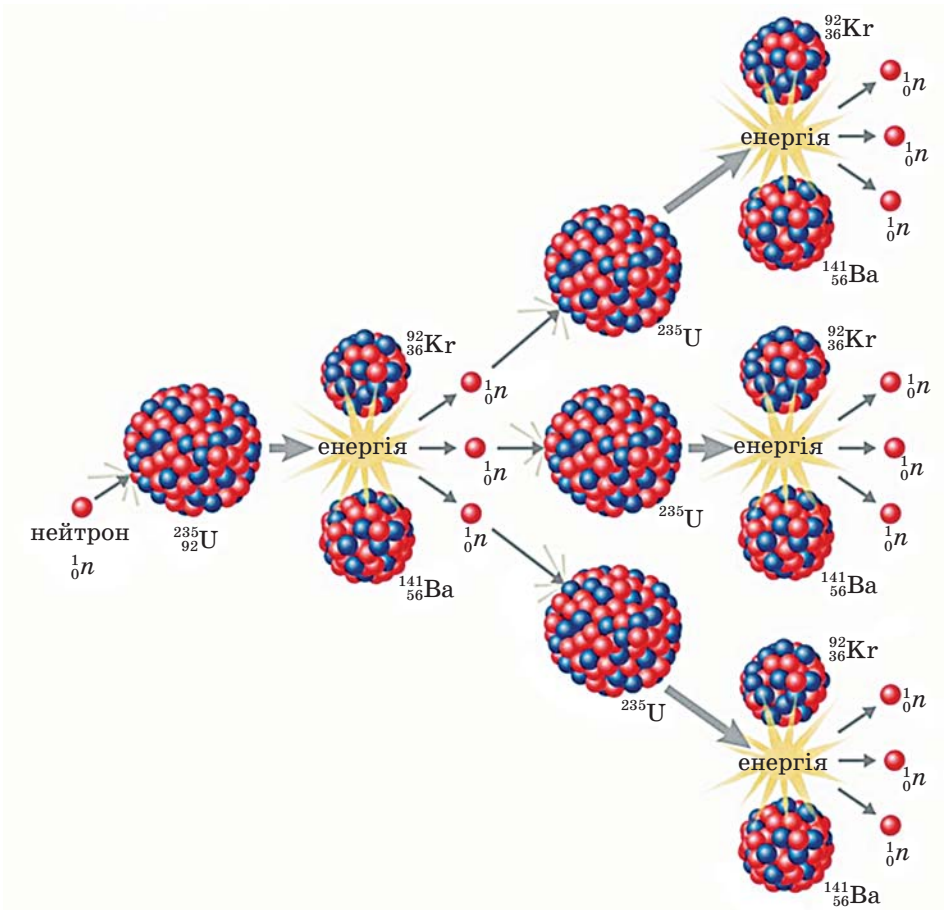
Мал. 32.1.
Розпад ядра атома Урану

Ядерну реакцію, унаслідок якої важке ядро розщеплюється на два ядра приблизно однакової маси (ядра-осколки), називають ***ядерною реакцією поділу***.

Досліди показують, що ядра-осколки, які утворилися під час поділу ядра атома Урану, розлітаються в різні боки з величезними швидкостями, тобто відбувається своєрідний вибух атомного ядра, що супроводжується інтенсивним гамма-випромінюванням. Отже, унаслідок поділу ядра атома Урану ядерна енергія перетворюється на кінетичну енергію осколків, що розлітаються, і на енергію випромінювання. Енергія, що виділяється під час поділу одного ядра атома Урану, становить 200 МеВ ($3{,}2 \cdot 10^{-11}$ Дж). Було підраховано, що коли б стався розпад ядер усіх атомів 1 кг урану, то він супроводжувався б виділенням енергії в кількості, більшій, ніж при згорянні 2000 т вугілля. Осколки ядер атома Урану є радіоактивними й зазнають низки послідовних перетворень, які у свою чергу супроводжуються виділенням енергії. У разі розпаду ядер атомів Урану утворюється багато хімічних елементів: Криптон, Кадмій, Рубідій, Барій, Йод та ін. Цікаво також і те, що реакція поділу супроводжується самовільним випусканням нейтронів.

2. Ланцюгова ядерна реакція

Простежимо за поділом одного ядра атома Урану. Ядро, поглинувши один нейтрон, збуджується і ділиться на два осколки, при цьому вилітає 2–3 нейтрони (мал. 32.2). Деякі із цих нейтронів потрапляють у наступні ядра та спричиняють їх поділ з вильотом нових нейтронів і т. д. Нові нейтрони можуть спричиняти подальші поділи.



Мал. 32.2.
Ланцюгова ядерна реакція

Кількість нейтронів, а також кількість ядер, які діляться, безперервно зростає. Водночас зростає і кількість вивільненої енергії, яка може досягти величезних значень. Увесь цей процес відбувається дуже швидко. Таку ядерну реакцію називають ***ланцюговою реакцією***. Через те, що в ланцюговій реакції процес поділу ядер відбувається надзвичайно швидко, практично миттєво, то виділення величезної кількості енергії відбувається як дуже сильний вибух. Проте можлива контрольована ланцюгова реакція.

Практичне здійснення керованої ланцюгової ядерної реакції невибухового типу можливе лише за певних умов. Річ у тім, що природний Уран складається зазвичай із двох ізотопів: Урану-238 (99,3 %) й Урану-235 (0,7 %). Причому з'ясовано, що ланцюгова реакція можлива лише в разі поділу ядер атомів Урану-235. Атоми Урану-238 тільки поглинають нейтрони, перешкоджаючи розвитку ядерної реакції. Крім Урану-235, ядерна ланцюгова реакція може розвиватися у Плутонію-239, якого в земних умовах немає. Його добувають із відпрацьованого уранового палива.

Використовувати Плутоній замість Урану-235 вигідно. Сполуки Плутонію вилучати з відпрацьованого ядерного палива значно легше, ніж розділяти ізотопи хімічних елементів.

Для ланцюгової реакції не обов'язково, щоб кожний нейтрон спричинив поділ ядра. Потрібно тільки, щоб середня кількість вивільнених нейтронів у даній масі урану з часом не зменшувалася. Ця умова виконується, якщо **коефіцієнт розмноження нейтронів** $k \geq 1$.

Коефіцієнт розмноження нейтронів — відношення кількості нейтронів у будь-якому «поколінні» до кількості нейтронів попереднього «покоління».

Якщо $k > 1$, то кількість нейтронів з часом збільшується і відбувається ланцюгова реакція. Якщо $k < 1$, то кількість нейтронів з часом зменшується і ланцюгова реакція неможлива. Для стаціонарної ланцюгової реакції коефіцієнт розмноження нейтронів має дорівнювати одиниці. Цієї умови потрібно дотримуватися з великою точністю, бо коли $k = 1{,}01$, майже вмить стається вибух.

Для того щоб відбувалася керована ядерна реакція, важливо, щоб маса Урану-235 чи Плутонію-239 була не менша **критичної маси.**

Критичною масою називають найменшу масу речовини, яка ділиться і за якої можлива ланцюгова ядерна реакція.

Уран-235 та Плутоній-239 можна безпечно зберігати лише в кількостях, менших за критичну масу.

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Чому зберігання природного Урану не пов'язане з небезпекою вибуху?

3. Ядерний реактор

Пристрій, у якому відбувається керована ланцюгова ядерна реакція, називають ***ядерним реактором***. Його основна функція — перетворення ядерної енергії на теплову, яка потім може бути використана для виробництва електроенергії на атомних електростанціях (АЕС). В основі їхньої роботи — контрольоване вивільнення енергії від розщеплення важких ядер, таких як Уран або Плутоній, за допомогою нейтронів.

Перший у світі ядерний реактор — Чиказький Пайл-1 — побудований у 1942 році під керівництвом фізика Енріко Фермі в рамках Мангеттенського проєкту. Він розташований під трибунами стадіону «Стагг Філд» у Чиказькому університеті.

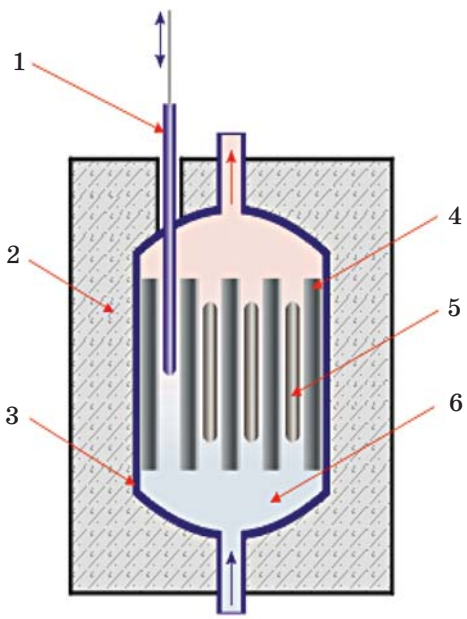
Енріко Фермі

Сучасні ядерні реактори бувають різних типів, але їхні будова та основний принцип роботи однакові.

Кожна частина ядерного реактора (мал. 32.3) виконує важливу функцію в процесі отримання енергії.

Основним елементом є ***ядерне паливо*** (5) — зазвичай Уран-235 або Плутоній-239. Саме в ньому відбувається реакція поділу ядер, під час якої виділяється велика кількість енергії. Щоб реакція відбувалася рівномірно, використовують сповільнювач ***нейтронів*** (4) — речовину, наприклад воду або графіт, яка зменшує швидкість руху нейтронів.

Швидкість самої реакції контролюють ***регулювальні стрижні*** (1), виготовлені з матеріалів (кадмію або бору), що поглинають зайві нейтрони. Опускаючи чи піднімаючи ці стрижні, можна уповільнити або прискорити процес поділу ядер.



Мал. 32.3.
Схематична конструкція ядерного реактора

Під час роботи реактора утворюється багато теплової енергії, яку потрібно відводити. Тому використовують ***охолоджувач*** (6) — зазвичай воду чи газ, що відводить енергію з активної зони реактора. Весь реактор оточений ***теплоізоляцією*** (3), яка запобігає небажаному теплообміну з навколишнім середовищем, та ***захисною оболонкою*** (2) з бетону й сталі, що не дає радіації виходити назовні.

До ядерного реактора приєднано парогенератор і турбіну. Енергія, яка утворюється під час поділу ядер, нагріває воду, і вона перетворюється на пару. Ця пара обертає турбіну, що з'єднана з генератором, який виробляє електричну енергію. Після цього пара охолоджується, знову перетворюється на воду й повертається до реактора. Отже, утворюється замкнутий цикл, у якому енергія розпаду атомів перетворюється спочатку на теплову енергію, а потім — на електричну.

4. Приклад розв'язування задачі

Задача. Потужність атомного реактора дорівнює 32 МВт, а його ККД — 25 %. Визначте масу урану-235, який «спалюється» за добу.

Дано:	СІ	Розв'язання:
$P = 32$ МВт	$32 \cdot 10^6$ Вт	$\eta = \frac{E_{кор}}{E_{пов}} \cdot 100\ \%$
$M = 235\ \frac{\text{г}}{\text{моль}}$	$0{,}235\ \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$	$E_{кор} = Pt$
$t = 1$ доба	86 400 с	$E_{пов} = NE_0$
$E_0 = 3{,}2 \cdot 10^{-11}$ Дж		$N = \frac{m}{M} \cdot N_A$
$\eta = 25\ \%$		$\eta = \frac{PtM}{mN_AE_0} \cdot 100\ \%$
$N_A \approx 6 \cdot 10^{23}$ моль$^{-1}$		$m = \frac{PtM}{\eta N_AE_0} \cdot 100\ \%$
m — ?		$m = \frac{32 \cdot 10^6\ \text{Вт} \cdot 86\,400\ \text{с} \cdot 0{,}235\ \frac{\text{кг}}{\text{моль}}}{25\ \% \cdot 6 \cdot 10^{23}\ \text{моль}^{-1} \cdot 3{,}2 \cdot 10^{-11}\ \text{Дж}} \cdot 100\ \% =$
		$= 0{,}135$ кг

Відповідь: $m = 0{,}135$ кг.

Запам'ятайте

Ядерна реакція поділу — ядерна реакція, за якої важке ядро розщеплюється на два ядра приблизно однакової маси (ядра-осколки).

Коефіцієнт розмноження нейтронів — відношення кількості нейтронів у будь-якому «поколінні» до кількості нейтронів попереднього «покоління».

Критична маса — найменша маса речовини, яка ділиться і за якої можлива ланцюгова ядерна реакція.

Ядерний реактор — пристрій, у якому відбувається керована ланцюгова ядерна реакція.

Перевірте себе

1. Ядро атома Урану-235, поглинувши один нейтрон, поділилося на два осколки, і виділилося 4 нейтрони. Один з осколків — ядро Cs-137. Яке ядро є другим осколком?
2. Некерована ланцюгова ядерна реакція поділу 1 кг урану-235 триває $1 \cdot 10^{-6}$ с. При цьому ділиться 0,1 % усіх ядер. Визначте потужність вибуху.

3. Визначте енергію, яка виділяється внаслідок поділу урану-235 масою 0,47 мг. Вважайте, що в разі кожного поділу ядра атома Урану-235 виділяється енергія 200 МеВ.
4. Визначте масу кам'яного вугілля, яке треба спалити для одержання такої самої кількості енергії, що виділяється під час «спалювання» 1 г урану-235 в ядерному реакторі.
5. Визначте електричну потужність атомної електростанції, що витрачає за добу 220 г урану-235. Коефіцієнт корисної дії атомної електростанції дорівнює 20 %.

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Ядерна реакція поділу	Nuclear fission reaction
Критична маса	Critical mass
Ядерний реактор	Nuclear reactor

§ 33. Атомні електростанції. Атомна енергетика України. Екологічні проблеми атомної енергетики. Альтернативна енергетика

Нині, у час цифрових технологій, щодня генерується дедалі більше інформації. Її необхідно десь зберігати та обробляти. Для цього створюють потужні дата-центри. А для них найважливіше — безперебійне й гарантоване електропостачання у великих обсягах та екологічно чиста енергетика. Забезпечити такі вимоги тепер може атомна енергетика. Як працює АЕС? Які її переваги над іншими джерелами енергії? Які джерела енергії зможуть замінити АЕС у майбутньому? Про це дізнаємося сьогодні.

Дізнаймося про...

- будову і принцип дії атомної електростанції;
- географію атомної енергетики в Україні;
- вплив АЕС на екологію;
- альтернативні електростанції.

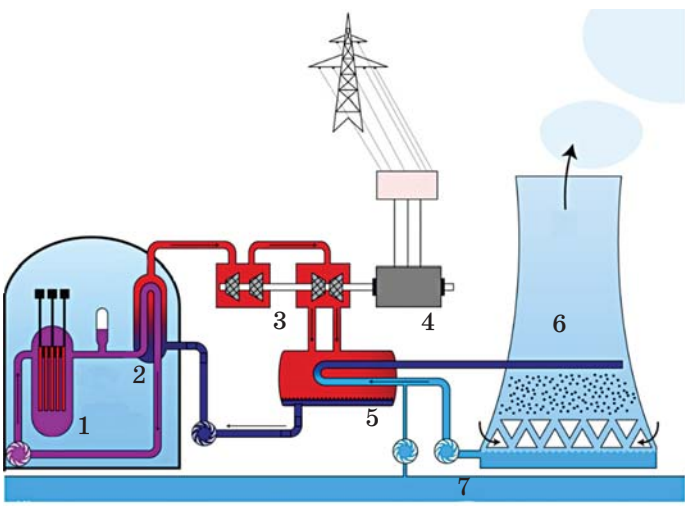
1. Атомна електростанція

Як ви вже знаєте, керовані ядерні реакції відбуваються в ядерних реакторах. Там енергія, що виділяється під час поділу ядер, перетворюється на теплову. Як її далі використати? Звісно, перетворювати на інші види енергії, які легко можна трансформувати й транспортувати на великі відстані. А там уже використовувати і в побуті, і в промисловості.

Ви, напевно, здогадалися, що таким видом енергії є електрична. Тож як з ядерної енергії отримати електричну?

Для цього споруджують ***атомну електростанцію (АЕС)*** — електростанцію, яка перетворює ядерну енергію на електричну.

На мал. 33.1 подано схему АЕС. Основним її елементом є ***ядерний реактор*** (1). Вода нагрівається в ньому до температури 300 °С, але залишається рідкою завдяки високому тиску. Вона циркулює по замкнутому контуру (позначено фіолетовим кольором) і потрапляє в ***парогенератор*** (2), де віддає свою енергію воді, що циркулює в другому контурі (позначено червоним кольором), перетворюючи її на пару. Пара під високим тиском потрапляє на лопатки ***турбіни*** (3), змушуючи її обертатися. На одному валу з турбіною розміщений ***генератор*** (4), який механічну енергію перетворює на електричну.



Мал. 33.1. Схема атомної електростанції

Відпрацьована пара потрапляє в ***конденсатор*** (5), охолоджується за допомогою ***градирні*** (6) та води з ***охолоджувальної водойми*** (7), конденсується і повертається в парогенератор.

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Назвіть послідовні етапи перетворення енергії, що відбуваються на атомній електростанції.

2. Атомна енергетика України

В Україні побудовано п'ять атомних електростанцій: Чорнобильська, Рівненська, Південноукраїнська, Запорізька та Хмельницька.

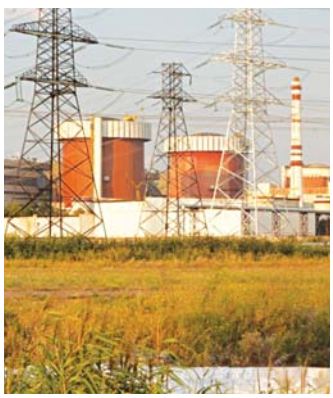
Чорнобильська АЕС (мал. 33.2) почала працювати в 1977 році, коли було введено в експлуатацію її перший енергоблок. На момент аварії, яка трапилася 26 квітня 1986 року, працювали чотири енергоблоки електростанції. У 2000 році її було повністю виведено з експлуатації.

Рівненська атомна електростанція (мал. 33.3) запрацювала в 1981 році. Загальна потужність чотирьох її енергоблоків становить 2835 МВт.

На Південноукраїнській АЕС (мал. 33.4) встановлено три енергоблоки, які генерують струм загальною потужністю 3000 МВт. Перший енергоблок було введено в експлуатацію в 1982 році.

Мал. 33.2.
Чорнобильська АЕС

Мал. 33.3.
Рівненська АЕС



Мал. 33.4.
Південноукраїнська АЕС

Найбільшою в Європі є Запорізька атомна електростанція (мал. 33.5). На момент початку російської агресії працювали всі шість її енергоблоків загальною потужністю 6000 МВт. 4 березня 2022 року її захопили окупанти.

Перший енергоблок Хмельницької АЕС (мал. 33.6) введено в експлуатацію в 1987 році. Нині там працює два енергоблоки загальною потужністю 2000 МВт.

Натепер три атомних електростанції дають більше половини всієї виробленої в Україні електроенергії.

Отже, атомна енергетика в Україні відіграє ключову роль, забезпечуючи стабільність енергетичної системи та її незалежність.

3. Атомна енергетика та екологія

Атомну енергетику вважають екологічно чистою, проте неправильна експлуатація енергоблоків може призвести до дуже важких і тривалих екологічних наслідків.

Мал. 33.5.
Запорізька АЕС

Мал. 33.6.
Хмельницька АЕС

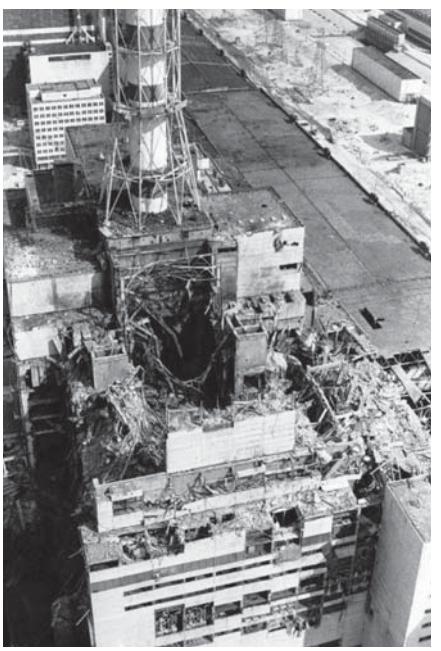
Україна зіткнулася з такою катастрофою 26 квітня 1986 року, коли внаслідок проєктних випробувань на четвертому енергоблоці Чорнобильської АЕС його було повністю зруйновано (мал. 33.7). Це спричинило масштабне радіаційне забруднення, виселення людей з території в радіусі 30 км від станції і загибель ліквідаторів цієї аварії. Чорнобильська аварія — одна з найбільших техногенних катастроф в історії людства. Її наслідки Україна відчуває дотепер.

Другою за масштабністю після Чорнобиля стала аварія на Фукусімській АЕС у Японії 11 березня 2011 року. Спричинили аварію землетрус і цунамі. Унаслідок радіаційного забруднення повітря було оголошено евакуацію населення з двадцятикілометрової зони від станції. Велика кількість забрудненої радіоактивними ізотопами води потрапила в Тихий океан.

А загалом у світі сталося щонайменше двадцять дві ядерні аварії.

Експлуатація атомних електростанцій пов'язана з низкою екологічних проблем: утилізація радіоактивних відходів, значне споживання води та тепловий вплив на водні об'єкти, а також ризик аварій з викидом радіоактивних речовин.

Робота АЕС генерує високоактивні радіоактивні відходи, які несуть загрозу людству протягом тисячоліть. Їх безпечне довготривале захоронення є складним



Мал. 33.7.
Зруйнований енергоблок
Чорнобильської АЕС

технічним і екологічним викликом, оскільки спеціалізованих постійних сховищ поки що недостатньо.

Атомні електростанції потребують величезної кількості води для охолодження. Нагріта вода, що повертається в річки, озера або моря, підвищує їхню температуру, що згубно впливає на екосистеми водних об'єктів. Навіть за нормальної роботи ядерні реактори виділяють у довкілля до 250 різних радіоактивних ізотопів. Хоча їхній рівень контролюють, це все одно становить ризик для здоров'я людей і природи, а в разі аварій викиди можуть бути катастрофічними.

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Чим замінити ядерну енергетику?

4. Альтернативні джерела енергії

Частково замінити атомні чи теплові електростанції можуть сонячні, вітрові електростанції та малі гідроелектростанції. Також здатні виробляти електроенергію припливні та геотермальні електростанції. Усі вони належать до ***альтернативних джерел енергії***, бо не виснажуються (на відміну від викопного палива), є екологічно чистими й поновлюваними.

Сонячна електростанція — електростанція, яка перетворює енергію Сонця на електричну (мал. 33.8). Сонячна енергетика тепер стрімко розвивається в Україні завдяки державній програмі «Зелений тариф». Уряд стимулює встановлення сонячних панелей, купуючи у їх власників вироблену електроенергію за високою ціною.

Також стрімкими темпами розвивається в Україні вітроенергетика. На тих територіях, де постійно дмуть вітри, встановлюють вітроелектростанції (мал. 33.9). ***Вітроелектростанція (ВЕС)*** — електростанція, що перетворює енергію вітру на електричну енергію.

Мал. 33.8.
Сонячна електростанція

Мал. 33.9.
Вітроелектростанція

До поновлюваних джерел енергії належить мала гідроенергетика. В Україні на невеликих річках побудовано багато малих гідроелектростанцій (мал. 33.10). ***Гідроелектростанція*** — електростанція, яка перетворює кінетичну енергію води на електричну. Їх використання дає можливість економити значні обсяги звичайного палива.

Мал. 33.10
Явірська мала ГЕС

Перспективними в Україні вважають припливну та геотермальну енергетику.

Припливна електростанція — гідроелектростанція, яка виробляє електроенергію завдяки руху води під час припливу чи відпливу (мал. 33.11).

Геотермальна електростанція — електростанція, яка перетворює теплову енергію гарячих джерел і термальних підземних вод на електричну (мал. 33.12).

В Україні найкращі умови для розвитку геотермальної енергетики є в Криму й Карпатах, а припливної — на березі Чорного моря.

Попри всі переваги альтернативна енергетика не може наразі замінити традиційну через свою високу собівартість, нерівномірність виробництва (залежність від погодних умов, часу доби) й малі його обсяги.

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Які ще альтернативні джерела енергії ви знаєте?

Мал. 33.11.
Припливна електростанція у Франції

Мал. 33.12.
Геотермальна електростанція в Ісландії

Запам'ятайте

Атомна електростанція — електростанція, яка перетворює ядерну енергію на електричну.

Альтернативні джерела енергії — джерела енергії, які є невичерпними, екологічно чистими та поновлюваними.

Сонячна електростанція — електростанція, яка перетворює енергію Сонця на електричну.

Вітроелектростанція — електростанція, що перетворює енергію вітру на електричну енергію.

Гідроелектростанція — електростанція, яка перетворює кінетичну енергію води на електричну.

Припливна електростанція — гідроелектростанція, яка виробляє електроенергію завдяки руху води під час припливу чи відпливу.

Геотермальна електростанція — електростанція, яка перетворює теплову енергію гарячих джерел і термальних підземних вод на електричну.

Перевірте себе

1. Який вид альтернативної енергетики можна використовувати у вашій місцевості?
2. Що спільного між атомною і тепловою електростанціями?
3. Ядерний реактор за рік споживає 25 т урану. Відомо, що 1 г урану під час розпаду виділяє стільки ж теплоти, скільки виділяється під час згоряння 2 т кам'яного вугілля. Скільки вугілля можна зекономити?
4. Використавши дані задачі № 3, визначте потужність атомної електростанції, якщо її ККД 35 %.

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Атомна електростанція	Nuclear power plant
Сонячна електростанція	Solar power plant
Вітрова електростанція	Wind power plant
Гідроелектростанція	Hydropower plant
Припливна електростанція	Tidal power plant
Геотермальна електростанція	Geothermal power plant
Альтернативні джерела енергії	Alternative energy sources

§ 34. Термоядерні реакції. Енергія Сонця і зір. Будова і розвиток Всесвіту

Сонце щосекунди випромінює в космічний простір приблизно $3{,}83 \cdot 10^{26}$ джоулів енергії. Усі електростанції світу разом виробляють за рік до 30 000 ТВт · год $\approx 10^{17}$ Дж електроенергії. Звідки Сонце черпає таку величезну кількість енергії? Який вид ядерних реакцій найпоширеніший у Всесвіті? Зараз з'ясуємо.

Дізнаймося про...

- термоядерні реакції;
- термоядерний синтез у ядрах зір;
- Всесвіт.

1. Термоядерні реакції

Ядерні реакції, як і хімічні реакції, можуть відбуватися з поглинанням енергії або її виділенням. Для нас важливіші ядерні реакції з виділенням енергії, адже її можна перетворити на необхідну нам електричну енергію. Про реакції поділу важких ядер ви вже знаєте. Але є ще інший вид ядерних реакцій, під час яких також виділяється енергія, — термоядерні реакції.

Термоядерні реакції — реакції синтезу (утворення) легких ядер, які відбуваються за високих температур. Поняття «високі температури» означає десятки мільйонів градусів. Ця температура необхідна для того, щоб ядра атомів Гідрогену, Дейтерію чи Тритію розігналися до такої швидкості (набули такої енергії), яка достатня для подолання кулонівської сили відштовхування, що виникає між ними. Якщо це їм вдається, то вони, об'єднавшись, утворюють ядро атома Гелію, і при цьому ще й виділяється енергія.

Приклад такої реакції:

$$^{2}_{1}\mathrm{H} + {}^{3}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{1}_{0}n.$$

Унаслідок утворення одного ядра атома Гелію виділяється 17,6 МеВ $\approx$ $\approx 2{,}8 \cdot 10^{-12}$ Дж енергії, а якщо синтезується 1 г цього елемента, то виділиться $4{,}2 \cdot 10^{11}$ Дж енергії. Для порівняння: унаслідок поділу 1 г урану вивільняється в 5 разів менше енергії.

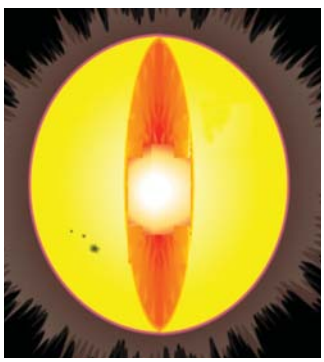
Як бачимо, термоядерні реакції ефективніші, ніж реакції поділу важких ядер. Але проблемою є висока температура. Будь-яка речовина за температури в мільйони градусів перебуває в стані плазми, тому неможливо створити термоядерний реактор, подібно до ядерного реактора, у якому б відбувалися термоядерні реакції. Оскільки плазма — це йонізований газ, то її можна утримувати в певному об'ємі за допомогою магнітних чи електричних полів. Науковці / науковиці зараз працюють над

цією проблемою. Якщо це вдасться зробити, то людство отримає практично невичерпне джерело енергії, адже водень, необхідний для їх перебігу, можна одержати з води.

Якщо керований термоядерний синтез нам ще не під силу, то окремі реакції синтезу ядер дослідники / дослідниці здійснюють уже давно. На спеціальних установках-прискорювачах ядра атомів розганяють до високих швидкостей за допомогою магнітного та електричного полів, а потім зіштовхують між собою. Такі реакції є суто науковими дослідженнями.

2. Енергія Сонця

У Всесвіті термоядерний синтез є основним джерелом енергії. Кожна зоря — це термоядерний реактор. І найближча до нас зоря — Сонце — не виняток. Воно випромінює в космос величезну кількість енергії теж завдяки термоядерним реакціям, які відбуваються в його ядрі (мал. 34.1).



Мал. 34.1.
Сонце в розрізі

Температура в ядрі Сонця сягає 15 000 000 К. Вона сприяє термоядерному синтезу: під час об'єднання ядер атомів Гідрогену утворюється ядро атома Гелію та виділяється енергія.

Ланцюжок термоядерних реакцій на Сонці:

$$^{1}_{1}\mathrm{H} + {}^{1}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{2}_{1}\mathrm{H} + {}^{0}_{1}e;$$

$$^{2}_{1}\mathrm{H} + {}^{1}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{3}_{2}\mathrm{He};$$

$$^{3}_{2}\mathrm{He} + {}^{3}_{2}\mathrm{He} \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{1}_{1}\mathrm{H} + {}^{1}_{1}\mathrm{H}.$$

Сонце існує майже п'ять мільярдів років. У такому стані воно існуватиме ще стільки ж часу, поки не «вигорить» весь водень. Потім будуть відбуватися реакції синтезу ядер наступних хімічних елементів, але енергії виділятиметься дедалі менше.

3. Коротко про Всесвіт

Однією зі структурних одиниць Всесвіту є зорі, як, наприклад, структурною одиницею речовини є атом.

Атоми різні, і зорі теж різні. За розмірами — від карликів, у десятки разів менших за Сонце, до гігантів і надгігантів масою в десятки мас Сонця.

За світністю — від червоних, температура на поверхні яких 3700 К, до синіх (30 000 К). Температура на поверхні Сонця — 6000 К, і воно є жовтою зорею (мал. 34.2).

Мал. 34.2.
Схід Сонця

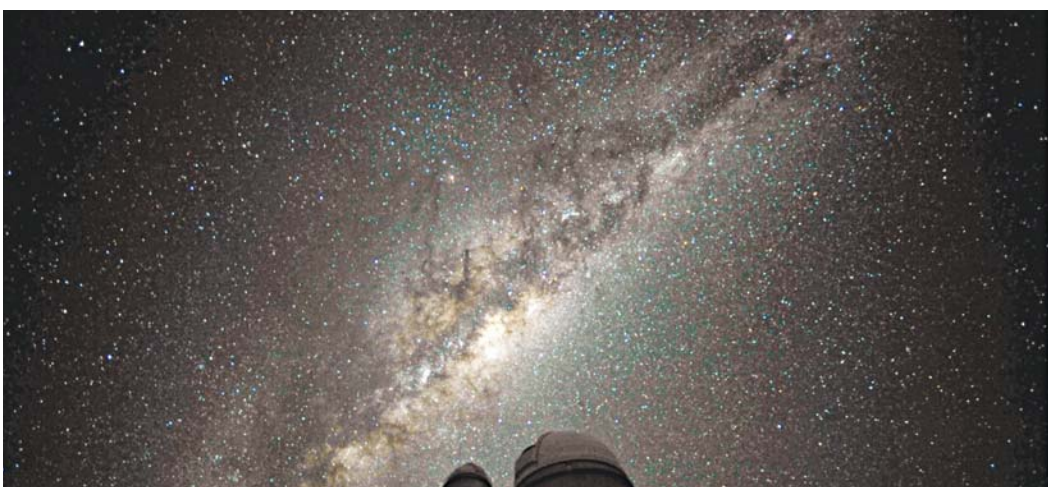
Кожна зоря завдяки величезній своїй масі утримує біля себе космічні тіла менших розмірів. Це можуть бути планети, астероїди, комети, космічний пил, сильно розріджений газ (водень). Саме так існує наша Сонячна система (мал. 34.3).

Зорі, розташовані в певній частині Всесвіту відносно близько одна до одної, утворюють галактики. ***Галактика*** — велике скупчення зір, які утримуються гравітацією (мал. 34.4).

Мал. 34.3.
Сонячна система

Мал. 34.4.
Галактика

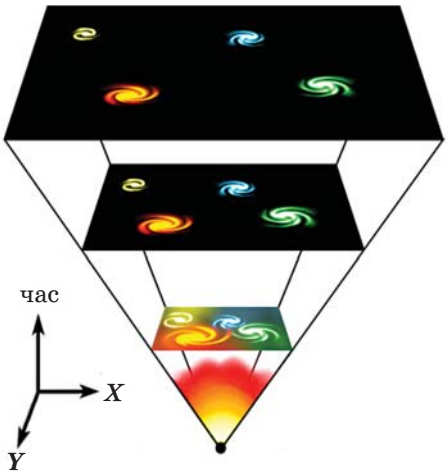
Сонце і практично всі зорі, які ми бачимо на небі, утворюють нашу Галактику (мал. 34.5), її ще називають ***Чумацький Шлях***.



Мал. 34.5.
Наша Галактика

Усі сусідні галактики разом з нашою Галактикою утворюють Метагалактику. ***Метагалактика*** — частина Всесвіту, яка доступна для астрономічних спостережень.

Спостерігаючи за галактиками, дослідники / дослідниці помітили, що вони всі віддаляються одна від одної і швидкість віддаляння прямо пропорційна відстані між ними. Це підтверджує основну гіпотезу про виникнення Всесвіту — теорію Великого вибуху (мал. 34.6).



Мал. 34.6.
Розширення Всесвіту

Згідно із цією теорією, у початковий момент часу, який називають сингулярністю (а це було ≈ 15 млрд років тому), весь Всесвіт перебував у дуже стиснутому стані — практично зведений у точку. Тоді стався Великий вибух, унаслідок якого Всесвіт почав розширюватися: через 10^{-10} с утворилися протони і нейтрони, через 10^{-4} с — електрони, через 10 с утворилися ядра Дейтерію і Гелію, через 100 млн років — атоми Гідрогену та Гелію, через 10 млрд років виникла наша Сонячна система, через 12 млрд років (3 млрд років тому) виникло життя на Землі.

Це розширення відбувається й зараз. Що чекає наш Всесвіт у майбутньому? Він ще якийсь час розширюватиметься. А далі все залежить від збігу певних чинників, унаслідок чого він і надалі буде продовжувати своє розширення або почне стискатися і, можливо, знову збереться в одну точку.

Запам'ятайте

Термоядерні реакції — реакції синтезу (утворення) легких ядер, які відбуваються за високих температур.

Галактика — велике скупчення зір, які утримуються гравітацією.

Чумацький Шлях — наша Галактика.

Метагалактика — частина Всесвіту, яка доступна для астрономічних спостережень.

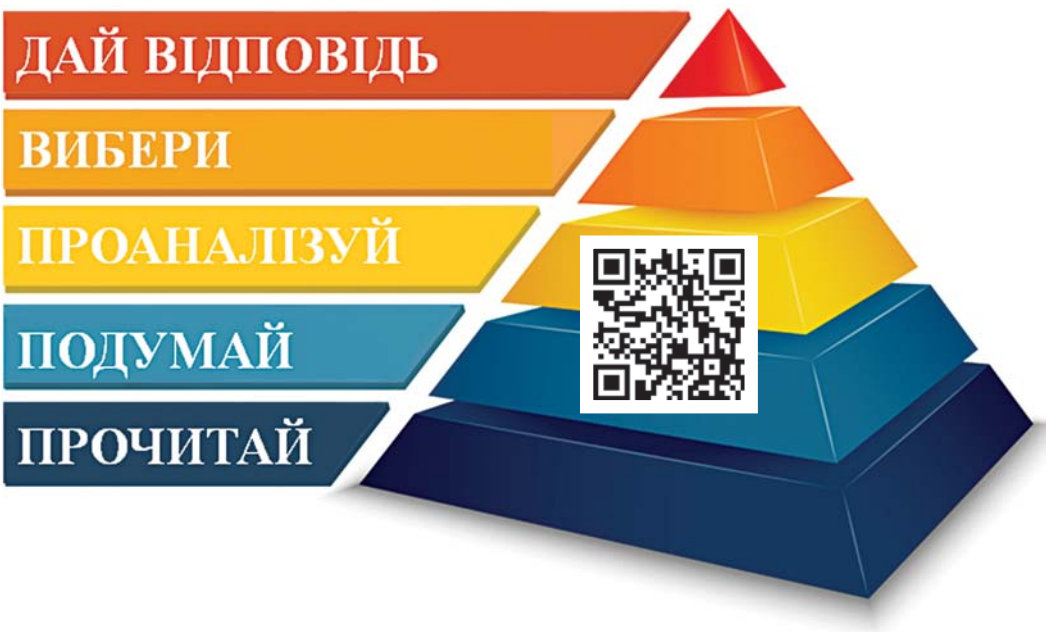
Перевірте себе

1. Яка температура на поверхні жовтих зір?
2. Допишіть термоядерну реакцію: $? + {}^{1}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{3}_{2}\mathrm{He}$.
3. Унаслідок утворення ізотопу Гелію ${}^{3}_{2}\mathrm{He}$ виділяється 5,49 МеВ енергії. Скільки енергії виділяється внаслідок синтезу 1 г цього ізотопу? (1 а.о.м. = $1{,}67 \cdot 10^{-27}$ кг, 1 МеВ = $1{,}6 \cdot 10^{-13}$ Дж.)
4. Завдяки чому існує наша Галактика?

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Термоядерні реакції	Thermonuclear reactions
Галактика	Galaxy
Метагалактика	Metagalaxy

Здійсніть самоперевірку (https://9klas.academiabook.club/fizyka/f-s6)



Виконайте проєкт, дотримуючись алгоритму (додаток 1)

Орієнтовні теми проєктів:

- Джерела радіоактивного випромінювання в нашому домі.
- Енергія Сонця на службі людини.
- Атомна енергетика: минуле й майбутнє.
- Радіація і ми.
- Вплив радіоактивного випромінювання на організм людини та захист від нього.
- Використання радіоактивного випромінювання в медицині.
- Рівень радіаційного фону в моїй місцевості.

Створення довідника «Путівник по основах фізики»

Ми пройшли з вами довгий і цікавий шлях — від перших простих уявлень про фізичні явища до розуміння складних законів, які описують світ навколо нас. Ми разом відкривали таємниці природи, спостерігали, експериментували, дивувалися, ставили запитання «Чому?», «Як?», «Навіщо?» та шукали відповіді.

Фізика — це не лише формули та задачі, а й спосіб мислення. Усі явища і процеси, які відбуваються навколо вас, мають пояснення. Тепер ви знаєте, як його шукати. Не бійтеся запитувати й помилятися — так народжується справжнє пізнання.

Вашим **завершальним завданням у курсі фізики базової школи** буде створення власного довідника **«Путівник по основах фізики»**, який міститиме пам'ятки:

- «Механічні явища в природі й техніці»;
- «Теплові явища в природі й техніці»;
- «Електромагнітні явища в природі й техніці»;
- «Світлові явища в природі й техніці»;
- «Атомна і ядерна фізика в природі та техніці».

Це — підсумок, ваша «карта знань», що збереже найважливіше з усього, чого ви навчилися.

Нехай цікавість і бажання пізнавати ніколи не залишають вас! До нових відкриттів і зустрічей у світі науки!

З повагою
авторський колектив

Додаток 1

Орієнтовний алгоритм роботи над проєктом

I. Планування навчального проєкту.

1. Формування проєктної групи.
2. Вибір теми проєкту.
3. Формулювання проблеми проєкту.
4. Визначення цілей проєкту.
5. Розподіл обов'язків та завдань щодо реалізації цілей проєкту з укладанням робочого плану та врахуванням часових меж.

II. Реалізація навчального проєкту.

1. Реалізація завдань за робочим планом.
2. Підготовка публічного представлення результатів роботи.

III. Публічна презентація проєкту.

IV. Оцінювання проєкту ***(власної роботи та співпраці в команді)*****.**

Додаток 2

Орієнтовні запитання для оцінювання власної роботи та співпраці в команді

1. Чого я навчився / навчилася?
2. Яких умінь і навичок я набув / набула, працюючи над проєктом?
3. Що сприяло роботі над проєктом?
4. Що заважало роботі над проєктом?
5. У чому полягали переваги / недоліки роботи в команді?
6. Я задоволений / задоволена результатом роботи групи над проєктом та власним внеском у нього?
7. Якби мені довелося починати новий проєкт, що б я зробив / зробила інакше?

Додаток 3

Орієнтовний паспорт проєкту

Назва проєкту	
Учасники проєкту	
Аргументація обраної теми	
Проблема	
Цілі проєкту	
Опис покрокових дій щодо реалізації проєкту	
Отриманий результат	
Висновки	
Оцінка проєкту	
Використаний ресурс *(перелік посилань та використаних джерел інформації)*	

Відеоматеріали

Параграф	Покликання	QR-код
§ 1	Лінії магнітного поля https://9klas.academiabook.club/fizyka/f1_1	
	Постійні магніти https://9klas.academiabook.club/fizyka/f1_2	
§ 7	Котушка із струмом https://9klas.academiabook.club/fizyka/f7_1	
§ 9	Явище електромагнітної індукції https://9klas.academiabook.club/fizyka/f9_1	
§ 14	Дещо про звук https://9klas.academiabook.club/fizyka/f14_1	
§ 21	Відбивання світла https://9klas.academiabook.club/fizyka/f4_21	
§ 22	Заломлення світла https://9klas.academiabook.club/fizyka/f4_22	
§ 31	Природний радіаційний фон https://9klas.academiabook.club/fizyka/f6_31	

Відповіді до завдань рубрики «Перевірте себе»

Параграф	Завдання	Відповідь
§ 5	2	0,05 Н
	6	0,02 Тл
§ 8	6	≈ 116,3 кДж
§ 10	2	0,25 с; 4 Гц
	3	від 10 000 с до 0,01 с
§ 11	1	0,004 м
	2	48 см
	3	1 с, 1 Гц
	4	0,125 с; 960
§ 12	4	0,2 м
	5	2 м/с
	6	0,5 с
	7	0,8 Гц
§ 13	2	3,75 м
	3	20 м/с
	4	2 м
	5	45 м
	6	15 см; 30 см
§ 14	5	В
	6	≈ 307 Гц
	7	У повітрі пізніше на ≈ 0,03 с
§ 15	5	20 м
	6	1020 м
§ 16	1	60 км 50 Гц 50 мкм 60 ТГц 200 м 1,5 Мгц 311нм ≈960 ТГц
	2	≈ 16,7 мс
	3	Зменшиться в 3 рази
	4	12,5 см; 50 мкс
§ 17	4	300 ГГц
§ 18	6	12 км
	7	≈ 2, 56 с
§ 20	3	≈ 3,78 м
§ 21	3	52°
	4	4 м
	5	1 м/с
	6	60° ; 60°
	7	60°
	8	2 м; 4 м
§ 22	2	15°
	3	$\approx 1{,}24 \cdot 10^8$ м/с
	4	≈ 22°
	5	40°
	6	≈1,4
§ 24	4	Першої у 2,5 раза
	6	0,25 м
§ 25	4	≈ 0,003
	5	−0,6 м
	6	≈ 16,6 дптр
	7	1 м
§ 26	3	≈ 13,3; 80
§ 27	4	−2 дптр
	5	0,5 м
§ 28	6	−1,5 дптр
§ 29	2	9
	3	6; 6
§ 30	1	$4{,}5 \cdot 10^{16}$ Бк
	2	$\approx 0{,}7$ с$^{-1}$
	3	5
	4	2000
	5	≈ 1,4
§ 31	3	0,003 Гр
	4	0,2 Зв; 0,01 Зв; 0,01 Зв
§ 32	2	$\approx 8{,}2 \cdot 10^{16}$ Вт
	3	$38{,}4 \cdot 10^6$ Дж
	4	$\approx 3{,}28 \cdot 10^3$ кг
	5	$41{,}7 \cdot 10^6$ Вт
§ 33	3	$5 \cdot 10^7$ т
	4	$\approx 2{,}3 \cdot 10^{10}$ Вт
§ 34	3	$1{,}7568 \cdot 10^{11}$ Дж

ЗМІСТ

Шановні дев'ятикласники та дев'ятикласниці!..... 3

Інструкція з безпеки життєдіяльності під час проведення навчальних занять у кабінеті фізики..... 5

Інформаційна мапа вивченого у 8 класі..... 7

Розділ I. Електромагнітні явища

§ 1. Магнітні явища. Постійні магніти. Взаємодія магнітів. Магнітне поле. Лінії магнітного поля..... 16

§ 2. Магнітне поле Землі. Сонячна активність та її вплив на магнітне поле планети Земля. Магнітні явища в атмосфері Землі та космічному просторі..... 21

§ 3. Вплив магнітного поля на живі організми..... 25

§ 4. Дослід Ерстеда. Магнітне поле провідника зі струмом 28

§ 5. Дія магнітного поля на провідник зі струмом та рухомі заряди..... 32

§ 6. Магнітні властивості речовин та їх застосування..... 37

§ 7. Електромагніти. Магнітна левітація..... 40

Лабораторна робота № 1..... 46

§ 8. Електродвигуни та їх використання. Електровимірювальні прилади..... 47

§ 9. Явище електромагнітної індукції. Досліди Фарадея..... 53

Здійсніть самоперевірку..... 60

Виконайте проєкт, дотримуючись алгоритму..... 60

Розділ II. Механічні коливання

§ 10. Механічні коливання. Характеристики коливань..... 62

§ 11. Найпростіші коливальні системи. Маятники. Математичний маятник. Пружинний маятник..... 66

Лабораторна робота № 2 71

§ 12. Енергія коливань. Вільні та вимушені коливання. Автоколивання. Резонанс..... 74

Здійсніть самоперевірку..... 80

Виконайте проєкт, дотримуючись алгоритму..... 80

Розділ III. Механічні та електромагнітні хвилі

§ 13. Поширення механічних коливань у пружному середовищі. Поперечні й поздовжні хвилі. Характеристики хвилі..... 82

§ 14. Звук. Джерела та приймачі звукових хвиль. Характеристики звуку. Акустичний резонанс..... 86
Лабораторна робота № 3..... 91
§ 15. Луна. Інфра- та ультразвуки в природі та техніці. Екологічні проблеми акустики..... 92
§ 16. Електромагнітне поле й електромагнітні хвилі. Швидкість поширення, довжина та частота електромагнітної хвилі..... 96
§ 17. Шкала електромагнітних хвиль. Властивості електромагнітних хвиль. Електромагнітні хвилі у природі й техніці..... 99
§ 18. Фізичні основи сучасних бездротових засобів зв'язку та комунікацій..... 105
Здійсніть самоперевірку..... 112
Виконайте проєкт, дотримуючись алгоритму..... 112

Розділ IV. Світлові явища
§ 19. Природа світла (корпускулярно-хвильова теорія). Швидкість поширення світла. Джерела та приймачі світла. Зорі — потужні природні джерела світла..... 114
§ 20. Світловий промінь. Закон прямолінійного поширення світла. Тінь та півтінь. Сонячні та місячні затемнення. Фази Місяця..... 119
Лабораторна робота № 4..... 126
§ 21. Відбивання світла. Закони відбивання світла. Плоске дзеркало..... 127
Лабораторна робота № 5..... 135
§ 22. Заломлення світла. Закони заломлення світла. Повне внутрішнє відбивання..... 136
Лабораторна робота № 6..... 143
§ 23. Світло як електромагнітне випромінювання та його хвильові властивості. Розкладання білого світла на кольори. Спектральний аналіз, спектроскоп..... 145
Здійсніть самоперевірку..... 154
Виконайте проєкт, дотримуючись алгоритму..... 154

Розділ V. Оптичні прилади
§ 24. Лінзи. Оптична сила і фокусна відстань лінзи..... 156
§ 25. Отримання зображень за допомогою лінзи. Формула тонкої лінзи..... 160
Лабораторна робота № 7..... 167

§ 26. Історія винаходу телескопів. Принцип дії і будова телескопів. Сучасні наземні й космічні телескопи. Перші астрономічні обсерваторії. Астрономічні обсерваторії України..... 168
§ 27. Око як оптичний прилад. Вади зору та їх корекція. Окуляри..... 175
Здійсніть самоперевірку..... 180
Виконайте проєкт, дотримуючись алгоритму..... 180

Розділ VI. Атомна і ядерна фізика
§ 28. Сучасна модель атома. Досліди Резерфорда. Протонно-нейтронна модель ядра. Ядерні сили. Ізотопи. Використання ізотопів..... 182
§ 29. Радіоактивність. Радіоактивне випромінювання, його природа і властивості..... 187
§ 30. Період піврозпаду радіонукліда. Активність радіонуклідного зразка. Закон радіоактивного розпаду..... 192
§ 31. Йонізуюча дія радіоактивного випромінювання. Природний радіаційний фон. Дозиметри. Біологічна дія радіоактивного випромінювання..... 196
§ 32. Поділ важких ядер. Ланцюгова ядерна реакція. Ядерний реактор..... 199
§ 33. Атомні електростанції. Атомна енергетика України. Екологічні проблеми атомної енергетики. Альтернативна енергетика..... 205
§ 34. Термоядерні реакції. Енергія Сонця і зір. Будова і розвиток Всесвіту..... 212
Здійсніть самоперевірку..... 216
Виконайте проєкт, дотримуючись алгоритму..... 216

Створення довідника «Путівник по основах фізики»..... 217

Додатки
1. Орієнтовний алгоритм роботи над проєктом..... 218
2. Орієнтовні запитання для оцінювання власної роботи та співпраці в команді..... 218
3. Орієнтовний паспорт проєкту..... 218

Відеоматеріали..... 219
Відповіді до завдань рубрики «Перевірте себе»..... 220

Навчальне видання

МАКСИМОВИЧ Зоряна Юріївна
ВАРЕНИЦЯ Ліана Володимирівна
КОВАЛЬ Галина Степанівна
МИКИТЕЄК Ольга Михайлівна
ОРДИНОВИЧ Марія Богданівна
ШЕВЦІВ Василь Федорович

ФІЗИКА

Підручник для 9 класу закладів загальної середньої освіти

За редакцією
Зоряни МАКСИМОВИЧ

Рекомендовано
Міністерством освіти і науки України

Видано за державні кошти.
Продаж заборонено

Підручник відповідає Державним санітарним нормам і правилам «Гігієнічні вимоги до друкованої продукції для дітей»

У підручнику з навчальною метою використано деякі ілюстративні матеріали, що перебувають у вільному доступі в мережі «Інтернет».

Відповідальна за випуск Г. А. Теремко
Редактор Г. Т. Сенькович
Коректор Т. А. Дічевська
Дизайн (композиція палітурки, титульного аркуша, внутрішнього блоку) книжки В. М. Штогрина
Ілюстрації Н. В. Максимович, Р. О. Самка
Комп'ютерна верстка Є. М. Байдюка
Відеоматеріали І. В. Коваля, Г. С. Коваль, С. А. Гараздовської, Р. Т. Дмитрів, Я. О. Коваль
Е-додаток З. Ю. Максимович, О. М. Микитеєк

Формат 70×100/16. Ум. друк. арк. 18,15. Обл.-вид. арк. 12,01.
Наклад 35 500 прим. Зам.

Видавничий центр «Академія»,
03057, м. Київ, вул. Олександра Довженка, б. 3.
Тел./факс: (044) 456-84-63.
E-mail: academia.book@gmail.com
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи серія ДК № 7175 від 02.11.2020 р.

Видрукувано в АТ «Харківська книжкова фабрика "Глобус" корпоративне підприємство ДАК "Укрвидавполіграфія"»,
вул. Різдвяна, 11, м. Харків, 61012.
Свідоцтво серія ДК № 7032 від 27.12.2019 р.

$$F_A = BIl\sin\alpha$$

$[B]$ — Тл

$[F_A]$ — Н

$$T = \frac{1}{\nu} \qquad T = \frac{t}{N}$$

$[T]$ — с

$$D = \frac{1}{F}$$

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$$

$[D]$ — дптр

$$\Gamma = \frac{f}{d} \qquad \Gamma = \frac{H}{h}$$

$$\nu = \frac{1}{T} \qquad \nu = \frac{N}{t}$$

$[\nu]$ — Гц

$$\lambda = \upsilon T$$

$$\upsilon = \lambda\nu$$

$[\lambda]$ — М

$$A = Z + N$$

$${}^{A}_{z}X \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{A-4}_{z-2}Y$$

$${}^{A}_{z}X \rightarrow {}^{0}_{-1}e + {}^{A}_{z+1}Y$$

$$A = \lambda N \qquad N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$$

$[A]$ — Бк

$[\lambda]$ — $с^{-1}$

$$\beta = \alpha$$

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\gamma} = n_{21}$$

$$n_{21} = \frac{\upsilon_1}{\upsilon_2} \qquad n = \frac{c}{\upsilon}$$

$c = 300\,000$ км/с

$$D = \frac{E}{m} \qquad H = kD$$

$[D]$ — Гр

$[H]$ — Зв

НОВА УКРАЇНСЬКА ШКОЛА

9 клас

Фізика

Чому? Як? Навіщо?

академія