ОСВІТА
ВИДАВНИЧИЙ ДІМ

Тетяна Засєкіна, Максим Гвоздецький
Володимир Сіпій

# ФІЗИКА




## 9 КЛАС

# ПРАВИЛА БЕЗПЕКИ В КАБІНЕТІ ФІЗИКИ



**1** Перед початком роботи організуй робоче місце, забери зайві предмети, щоб вони не заважали. Розміщуй прилади, матеріали, обладнання на своєму робочому місці так, щоб запобігти їх падінню або перекиданню.

**2** Чітко з'ясуй порядок і правила безпечного проведення досліду. Ознайомся з інструкціями до обладнання, якщо це передбачено завданнями дослідження.

**3** Починай виконувати завдання лише після дозволу вчителя.

**4** Не відволікайся на фоточи відеофіксування дослідів, якщо це не передбачено завданнями дослідження.

**5** Поводься надзвичайно обережно з різальними інструментами, відкритим вогнем, скляним посудом чи приладами (термометрами, лінзами, покривними скельцями), обертовими (рухомими) частинами пристроїв та гарячими предметами.

**6** Не торкайся брудними руками очей, носа й рота. Не вживай їжу безпосередньо під час проведення досліджень чи одразу після них, не помивши руки.



**7** Під час проведення дослідів не допускай граничних навантажень вимірювальних приладів. Стеж за справністю всіх кріплень у приладах і пристроях. Не торкайся до тих частин машин, які обертаються, і не нахиляйся над ними.

**8** Під час виконання робіт з електричними приладами не вмикай джерело струму в електричне коло без дозволу вчителя.

**9** Виявивши несправність в електричних пристроях, що перебувають під напругою, негайно вимкни джерело електроживлення й повідом про це вчителя.

**10** Після закінчення дослідження обов'язково прибери на робочому місці, вимий руки. Якщо є необхідність — вийди з приміщення кабінету (лабораторії), щоб провітрити.

**11** Дотримуйся загальних правил безпеки життєдіяльності — протипожежної безпеки, дорожнього руху, користування електричними приладами, поведінки на вулиці, у довкіллі тощо.

**12** Якщо під час досліджень ти отримаєш травму, трапиться неприємна ситуація чи в тебе виникне стан тривожності — негайно повідом учителя / учительку! Що б не сталося — намагайся не панікувати!



## ДОВІДКОВІ ДАНІ

Тера (Т) $1\,000\,000\,000\,000 = 10^{12}$
Гіга (Г) $1\,000\,000\,000 = 10^{9}$
Мега (М) $1\,000\,000 = 10^{6}$
Кіло (к) $1\,000 = 10^{3}$
Гекто (г) $100 = 10^{2}$
Дека (да) $10 = 10^{1}$

Санти (с) $0{,}01 = 10^{-2}$
Мілі (мл) $0{,}001 = 10^{-3}$
Мікро (мк) $0{,}000\,001 = 10^{-6}$
Нано (н) $0,\,000\,000\,001 = 10^{-9}$

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

Підручник розроблено
за модельною навчальною програмою
«Фізика. 7–9 класи» для закладів загальної середньої освіти
(авт. Головко М. В., Засєкін Д. О., Засєкіна Т. М., Крячко І. П.,
Ляшенко О. І., Мацюк В. М., Мельник Ю. С., Непорожня Л. В., Сіпій В. В.)

Інтерактивний електронний додаток
(далі — е-додаток) до підручника
розташовано за посиланням:
https://smarttextbook.com.ua/physics-9/

Тетяна Засєкіна, Максим Гвоздецький, Володимир Сіпій

# ФІЗИКА

Підручник для 9 класу
закладів загальної середньої освіти

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України*

Київ
Видавничий дім «Освіта»
2026

# ЗМІСТ

**Передмова** ..... 4
**Повторення** ..... 6

**Тема 1. РУХ ТІЛА ЗІ ЗМІННОЮ ШВИДКІСТЮ. МЕХАНІЧНІ КОЛИВАННЯ І ХВИЛІ**

§ 1. Досліджуємо прямолінійний рівнозмінний рух ..... 9
§ 2. Досліджуємо сили, що діють на рухоме тіло ..... 15
§ 3. Перевіряємо закони Ньютона ..... 21
§ 4. Досліджуємо силу тяжіння і вільне падіння ..... 26
§ 5. Досліджуємо рух тіла під дією кількох сил ..... 32
§ 6. Дізнаємося про імпульс тіла та закон збереження імпульсу ..... 35
§ 7. Досліджуємо механічну роботу й енергію ..... 42
§ 8. Досліджуємо коливальний рух ..... 48
§ 9. Досліджуємо механічні хвилі ..... 56
§ 10. Досліджуємо звук ..... 61
§ 11. Досліджуємо, як сприймає звук людина ..... 66
ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ ..... 75
ПЕРЕВІР СЕБЕ ..... 76

**Тема 2. ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ЯВИЩА. ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ КОЛИВАННЯ І ХВИЛІ**

§ 12. Досліджуємо магнітні явища ..... 78
§ 13. Досліджуємо магнітні властивості речовини ..... 82
§ 14. Досліджуємо магнітне поле Землі ..... 87
§ 15. Досліджуємо дію магнітного поля на провід зі струмом ..... 91
§ 16. Досліджуємо дію магнітного поля на рамку зі струмом ..... 96
§ 17. Досліджуємо дію магнітного поля на котушку зі струмом ..... 100
§ 18. Досліджуємо явище електромагнітної індукції ..... 105
§ 19. Досліджуємо електрогенератори ..... 111
§ 20. Досліджуємо електромагнітні хвилі ..... 117
§ 21. Досліджуємо властивості електромагнітних хвиль ..... 122
§ 22. Досліджуємо використання електромагнітних хвиль ..... 126
ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ ..... 134
ПЕРЕВІР СЕБЕ ..... 135

## Тема 3. СВІТЛОВІ ЯВИЩА

§ 23. Досліджуємо світло ..... 137
§ 24. Перевіряємо закони геометричної оптики ..... 141
§ 25. Досліджуємо відбиття світла ..... 146
§ 26. Досліджуємо заломлення світла ..... 152
§ 27. Досліджуємо оптичні прилади ..... 258
§ 28. Досліджуємо фотометричні властивості світла ..... 170
§ 29. Досліджуємо хвильові властивості світла ..... 176
ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ ..... 183
ПЕРЕВІР СЕБЕ ..... 184

## Тема 4. АТОМНІ І ЯДЕРНІ ЯВИЩА

§ 30. Досліджуємо будову атома ..... 186
§ 31. Досліджуємо явище радіоактивності ..... 193
§ 32. Досліджуємо активність радіонуклідів ..... 198
§ 33. Досліджуємо ядерні реакції ..... 204
§ 34. Досліджуємо використання ядерної енергії ..... 208
§ 35. Досліджуємо термоядерну енергію ..... 214
§ 36. Досліджуємо дію радіоактивного випромінювання ..... 218
ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ ..... 226
ПЕРЕВІР СЕБЕ ..... 227

## Тема 5. ЗНАЧЕННЯ ФІЗИКИ Й АСТРОНОМІЇ В ЖИТТІ ЛЮДИНИ

§ 37. Досліджуємо астрономічні явища ..... 229
§ 38. Досліджуємо зорі і галактики ..... 234
§ 39. Досліджуємо Сонячну систему ..... 242
§ 40. Досліджуємо значення фізики й астрономії в житті людини ..... 248
ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ ..... 253
ПЕРЕВІР СЕБЕ ..... 254

**Відповіді до вправ** ..... 255
**Покажчик** ..... 256

# ПЕРЕДМОВА



Цьогоріч ти продовжиш захопливі мандри світом фізики. Тобі стануть у пригоді набуті вміння досліджувати фізичні явища, опрацьовувати інформацію, усвідомлювати закономірності природи, співпрацювати в команді, розв'язувати проблеми.

Ти удосконалюватимеш уміння моделювати, організовувати, планувати та проводити дослідження (як теоретичні, так і практичні), аналізувати і тлумачити здобуті дані, аргументувати докази, розв'язувати різними способами фізичні задачі, застосовувати наукові методи дослідження та інженерні підходи до розв'язання проблем. А найголовніше — ти переконаєшся, що фізика знадобиться тобі у виборі майбутньої навчальної та професійної траєкторії.

Допоможе тобі в цьому наш підручник у форматі 4Д:

**ДОСЛІДЖУЙ** **ДІЗНАВАЙСЯ** **ДУМАЙ** **ДІЙ**

На початку кожної теми наведено очікувані результати навчання.



**Твої дії:** Ознайомся з ними. Періодично відстежуй, яких очікуваних результатів вдалося досягти.

На початку кожного параграфа подано діалог між учнем та ученицею, які ставлять проблемне запитання або дискутують.

**Твої дії:** Спробуй одразу дати відповідь на проблемне запитання або визначити свою позицію в дискусії. Щоб переконатися, чи правильна твоя відповідь, чи достатньо аргументована, розпочинай ознайомлення з матеріалом першої рубрики.

**ДОСЛІДЖУЙ**

У цій рубриці запропоновано досліди для самостійного або групового виконання або дослідницькі завдання.

**Твої дії:** Спробуй самостійно виконувати завдання, розміщені в цій рубриці. Можеш виконувати одразу всі завдання або робити їх по черзі. Виконуючи завдання, тобі потрібно пересвідчитись у своїх висновках, спростувати або підтвердити припущення. Допоможе в цьому наступна рубрика.

**ДІЗНАВАЙСЯ**

Тут ти знайдеш новий і цікавий для тебе навчальний матеріал, а також пояснення до завдань.

**Твої дії:** Опрацьовуй самостійно або з допомогою вчителя / вчительки матеріал цієї рубрики. Читай параграф активно. Тут ти побачиш запитання, спонукання до виконання певних завдань — аналізування прочитаного, роботу з малюнками, графіками й таблицями.

**ДУМАЙ** У рубриці дібрано завдання, які допоможуть тобі пересвідчитись у тому, що ти самостійно можеш пояснити вивчене.

**Твої дії:** Шукай відповіді на поставлені запитання. Повертайся до прочитаного, роби нотатки.



**ДІЙ** Наступна рубрика допоможе оволодіти дослідницькими навичками, роботою з інформацією. Вона містить фізичні задачі, завдання для досліджень та для роботи з додатковими джерелами інформації.

**Твої дії:** Навчайся розв'язувати фізичні задачі й виконувати дослідження — це одне з найважчих завдань. Упоратись із ним тобі допоможуть пам'ятки та вказівки, приклади розв'язування задач.

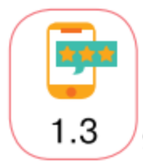
**ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ** У цій рубриці узагальнено матеріал теми, що вивчалася.

**Твої дії:** Самостійно упорядкуй подібну схему або узагальнювальну карту.

**ПЕРЕВІР СЕБЕ** У рубриці запропоновано завдання, подібні до тих, що ти виконував/виконувала впродовж вивчення теми.

**Твої дії:** Виконай ці завдання. Полічи загальну кількість балів, яку ти отримав/отримала. Можливо, потрібно щось повторити?

В інтерактивному електронному додатку ти знайдеш цікаву додаткову інформацію, відео дослідів, явищ і процесів, що вивчаєш, а також інтерактивні завдання і вправи для самоперевірки та дослідницькі задачі.

На сторінках підручника ти побачиш позначку 

, яка вказує на те, що на даному етапі уроку треба виконати завдання в е-додатку (перше число під позначкою вказує на номер параграфа, а друге — на номер завдання).

Е-додаток до підручника за посиланням:

https://smarttextbook.com.ua/physics-9/

Також в е-додатку до кожного параграфа запропоновано відеопояснення від авторів, де стисло і наочно викладено теоретичний матеріал. За допомогою відеопоясненнь ти зможеш узагальнити або повторити набуті знання.

Розвивай у собі 4Д-риси дослідника / дослідниці:

Допитливість | Далекоглядність | Доброчесність | Діловитість

# ПОВТОРЕННЯ

## МЕХАНІЧНІ ЯВИЩА

**Механічний рух** — це зміна з часом положення тіла в просторі відносно інших тіл.

Зміна руху відбувається внаслідок **взаємодії**. Наслідком взаємодії може бути і деформація тіла.

Величиною, що характеризує взаємодію, є **сила**.

| Сила тяжіння | Сила тертя | Сила пружності | Сила Архімеда |
|---|---|---|---|
| $\vec{F}_{тяж} = m\vec{g}$ | $\vec{F}_{тер} = \mu\vec{N}$ | $\vec{F}_{пр} = k\Delta x$ | $\vec{F}_{А} = \rho g V$ |

**Механічна робота**, $A$ — фізична величина, яка характеризує дію сили: $A = F \cdot s$. **Потужність**, $N$ — фізична величина, яка характеризує швидкість виконання роботи: $N = \frac{A}{t}$.

Виконана робота дорівнює зміні енергії: $A = \Delta E$.

### Механічна енергія

- кінетична: $E_к = \frac{mv^2}{2}$;
- потенціальна: $E_п = mgh$, $E_п = \frac{kx^2}{2}$.

Повна механічна енергія тіла: $E = E_к + E_п$.

**Закон збереження і перетворення повної механічної енергії:** повна механічна енергія замкненої системи тіл, які взаємодіють силами тяжіння або (та) пружності, залишається незмінною за будь-яких взаємодій тіл.

## ТЕПЛОВІ ЯВИЩА

**Тепловий рух** — це безперервний, хаотичний рух мікрочастинок (атомів, молекул, йонів), із яких складаються всі тіла, що відбувається завдяки **внутрішній енергії** й визначає температуру тіла.

Кількість теплоти, $Q$ — фізична величина, яка показує, скільки енергії отримало або віддало тіло під час теплообміну.

| | | | |
|---|---|---|---|
| $Q = c \cdot m \cdot (t - t_0)$ нагрівання/ охолодження | $Q = L \cdot m$ (або $Q = r \cdot m$) кипіння/ конденсації | $Q = \lambda \cdot m$ плавлення/ тверднення | $Q = q \cdot m$ згорання палива |

**Закон збереження енергії в процесі теплообміну** — рівняння теплового балансу: $Q_1^+ + Q_2^+ + \ldots + Q_n^+ = Q_1^- + Q_2^- + \ldots + Q_k^-$, де $n$ — кількість тіл ізольованої системи, які отримують енергію; $k$ — кількість тіл, що віддають енергію.

Коефіцієнт корисної дії (ККД) — це фізична величина, що показує ефективність роботи механізму і чисельно дорівнює відношенню корисної роботи до витраченої (повної) роботи: $\eta = \frac{A_к}{A_в} 100\%$. Для теплової машини — $\eta = \frac{A}{Q_1}$.

## ЕЛЕКТРИЧНІ ЯВИЩА

Сила взаємодії електричних зарядів описується законом Кулона:

$$F_{ел} = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{R^2}, \text{ де } k = 9 \cdot 10^9 \frac{Н \cdot м^2}{Кл^2}.$$

Однойменно заряджені тіла відштовхуються, різнойменно заряджені — притягуються. Лінії електричного поля не замкнені.

Електрично нейтральні тіла можуть електризуватися. Під час електризації тіло завжди одержує або віддає деяку кількість електронів.

Повний заряд системи тіл або частинок, що утворюють замкнену систему, під час будь-яких взаємодій у цій системі залишається сталим: $q_1 + q_2 + \ldots + q_n = \text{const}$ **(закон збереження електричного заряду).**

Упорядкований рух електрично заряджених частинок називають електричним струмом.

| | | |
|---|---|---|
| Сила струму: $I = \frac{q}{t}$ | Напруга: $U = \frac{A}{q}$ | Опір: $R = \rho \frac{l}{S}$ |

На ділянці кола електричний струм виконує **роботу:** $A = U \cdot I \cdot t$.

Швидкість виконання струмом роботи характеризує **потужність** електричного струму: $P = U \cdot I$.





# ТЕМА 1. РУХ ТІЛА ЗІ ЗМІННОЮ ШВИДКІСТЮ. МЕХАНІЧНІ КОЛИВАННЯ І ХВИЛІ

## ТИ НАВЧИШСЯ:

- досліджувати властивості рівнозмінного руху тіл, вільного падіння тіл, руху тіл під дією кількох сил (по горизонтальній поверхні), удару пружних і непружних тіл, перетворення механічної енергії, коливань математичного маятника, залежності гучності звуку від амплітуди коливань, залежності висоти тону від частоти коливань.

## ТИ ЗРОЗУМІЄШ:

- причини зміни швидкості руху тіла, особливості руху тіла під дією кількох сил, як відбуваються коливання, як утворюється звук.

## ТИ ЗМОЖЕШ:

- вимірювати / визначати: прискорення тіла, прискорення вільного падіння, рівнодійну сил;
- моделювати процес поширення механічних коливань у пружному середовищі;
- розв’язувати задачі (різних типів) на визначення кінематичних величин прямолінійного руху, застосування законів Ньютона, всесвітнього тяжіння, збереження імпульсу та механічної енергії, на період і частоту коливань маятника;
- формулювати проблему й обирати стратегії її розв’язання;
- оцінювати та систематизувати інформацію, презентувати її в різних формах.

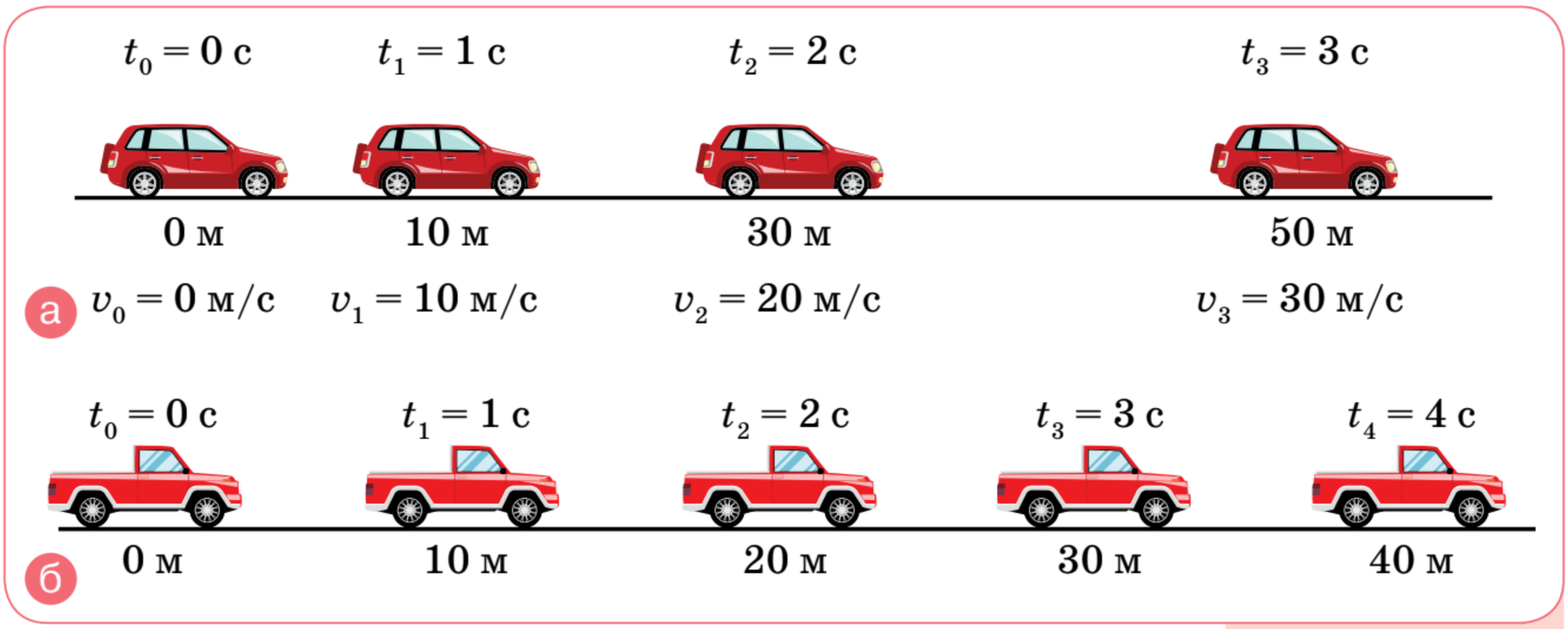
# § 1. ДОСЛІДЖУЄМО ПРЯМОЛІНІЙНИЙ РІВНОЗМІННИЙ РУХ



Знати, як рухаються різні об'єкти, важливо для фахівців багатьох галузей: транспортної, космічної, військової, будівельної. Та й для усіх нас — як учасників / учасниць дорожнього руху.

## ДОСЛІДЖУЙ

Порівняй зображення на малюнках 1.1, а та 1.1, б. Обери із запропонованих нижче тверджень ті, які, на твою думку, описують той чи інший випадок.




Мал. 1.1

1. Автомобіль рухається прямолінійно.
2. Автомобіль проходить однакові відстані за однакові інтервали часу.
3. Автомобіль проходить різні відстані за однакові інтервали часу.
4. Швидкість автомобіля не змінюється.
5. Швидкість автомобіля змінюється на однакову величину за однакові інтервали часу.
6. За малюнком можна виявити закономірність: якщо поділити величину зміни швидкості (наприклад, $v_1 - v_0$) на інтервал часу, за який вона змінюється ($t_1 - t_0$), то отримана величина буде сталою на всій ділянці шляху.
7. За малюнком можна виявити закономірність: якщо поділити величину зміни переміщення (наприклад, $s_1 - s_0$) на інтервал часу, за який вона змінюється ($t_1 - t_0$), то отримана величина буде сталою на всій ділянці.

## ДІЗНАВАЙСЯ

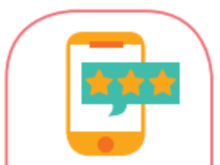
***Який рух називають рівнозмінним.*** У 7 класі ми розглядали механічний рух тіла, під час якого швидкість руху не змінюється (рівномірний рух). Під час рівномірного руху тіло (матеріальна точка) за будь-які однакові інтервали часу здійснює однакові переміщення. Рівномірно рухається кінець стрілки годинника, молекула газу між двома зіткненнями. У реальному житті найчастіше ми маємо справу з нерівномірним рухом, під час якого тіло за однакові інтервали часу здійснює різні переміщення. Тобто швидкість руху тіла постійно змінюється. Під час руху швидкість може змінюватися й дуже стрімко (рух кулі в рушниці, старт ракети, розбіг літака) і порівняно повільно (початок руху потяга, гальмування автобуса). Очевидно, що для характеристики стрімкості зміни швидкості має існувати певна фізична величина. У фізиці цю величину називають *прискоренням*.

Одиниця прискорення — 1 м/с$^2$ (метр за секунду у квадраті).

Прискорення, як і швидкість, є векторною величиною, тобто має числове значення — модуль та напрям. Векторну величину позначають стрілкою над буквеним виразом величини: $\vec{v}$, $\vec{a}$.

**Прискорення,** (*acceleration*) $\boldsymbol{a}$ — це фізична векторна величина, що характеризує стрімкість зміни швидкості руху тіла і визначається відношенням зміни швидкості тіла до інтервалу часу, протягом якого відбулася ця зміна: $a = \frac{v - v_0}{\Delta t} = \frac{\Delta v}{\Delta t}$. Тут $v_0$ — початкова швидкість руху тіла; $v$ — його кінцева швидкість; $\Delta t$ — інтервал часу, протягом якого відбулася зміна швидкості.

Зміна швидкості руху тіла, залежно від умов його руху, може бути довільною. Найчастіше трапляється такий випадок, за якого зміна швидкості характеризується однаковим темпом. Як у випадку на мал. 1.1, а, де за першу секунду автомобіль розвиває швидкість до 10 м/с, за другу секунду — до 20 м/с, ще через секунду він уже рухається зі швидкістю 30 м/с. Щосекунди його швидкість збільшується, і щоразу на 10 м/с. Тобто прискорення руху автомобіля весь час залишається сталим — 10 м/с$^2$. У цьому разі говорять, що автомобіль рухається рівноприскорено.


1.1

Рівноприскорений прямолінійний рух може бути власне прискореним, якщо швидкість тіла із часом зростає (вектор прискорення збігається з вектором швидкості). Або рівносповільненим, якщо швидкість зменшується (тобто вектор прискорення протилежний до вектора швидкості). Відповідно, у формулах або розв'язках можуть бути від'ємні значення величин швидкості або прискорення.

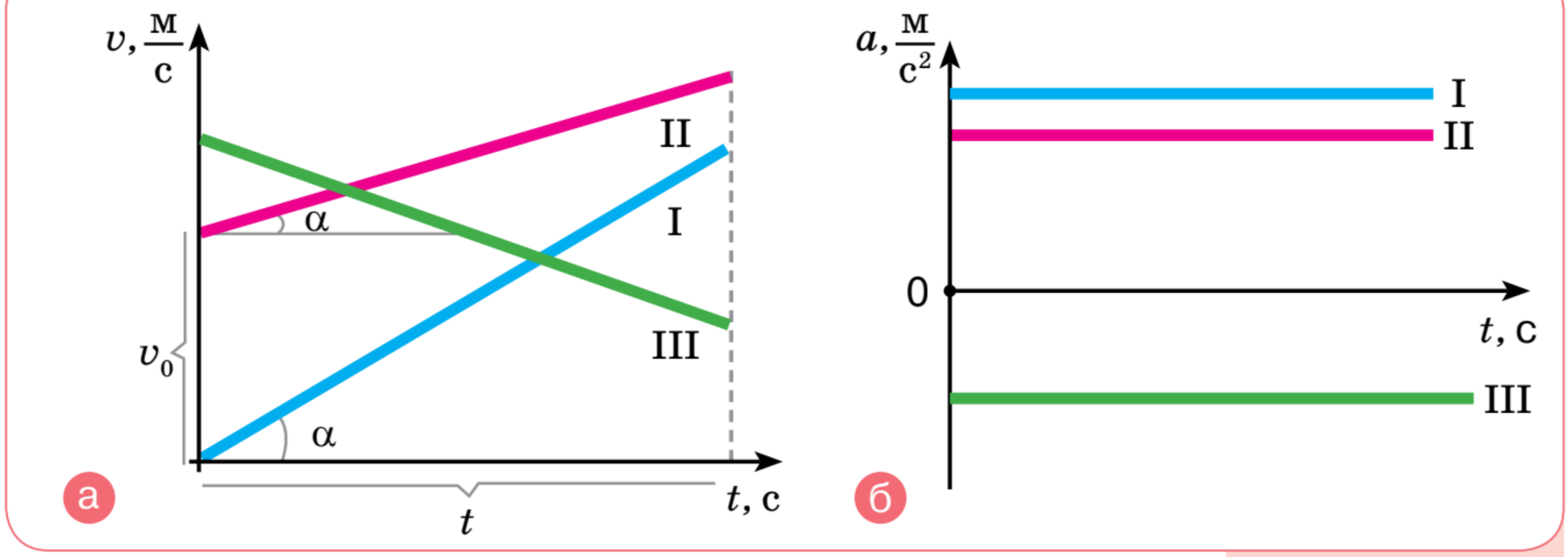
Щоб не акцентувати увагу на тому, прискорюється тіло чи сповільнюється, вживають термін *рівнозмінний рух*.

Як тобі відомо, рівномірно тіло може рухатися прямолінійною траєкторією або по колу. У цих випадках тіло може рухатись і рівнозмінно. Наведи приклади таких рухів.

Рух тіла, під час якого за будь-які однакові інтервали часу швидкість руху тіла змінюється однаково, тобто прискорення під час руху тіла залишається весь час сталим, називають **рівнозмінним**.

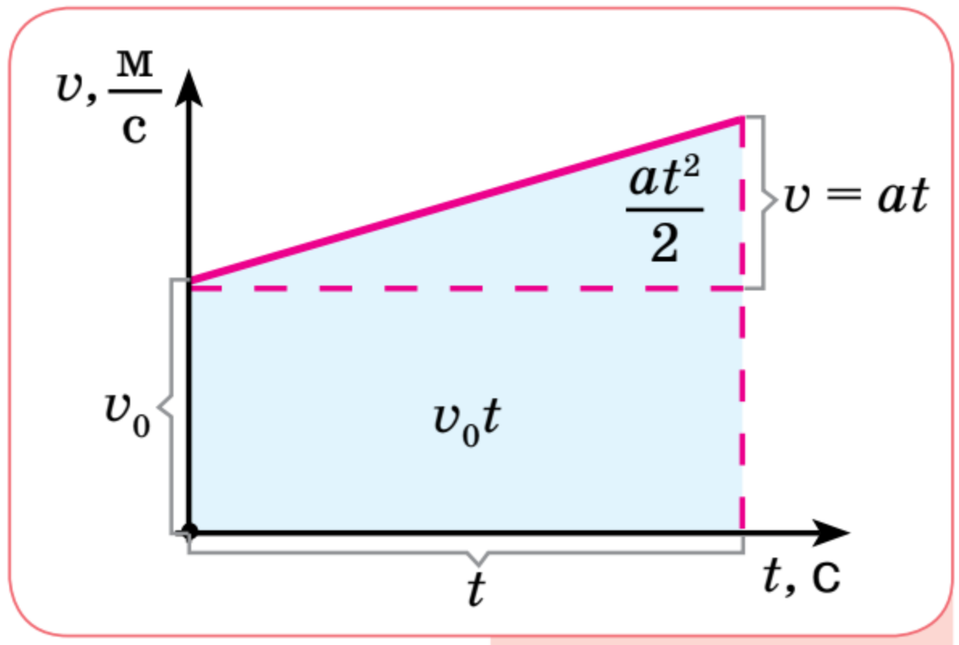
***Навчись описувати рівнозмінний рух графічно.*** Накреслимо графіки залежності швидкості від часу $\upsilon(t)$ для прямолінійного рівнозмінного руху. Як ми бачимо з формули $\upsilon = \upsilon_0 \pm at$, що описує цей рух, між швидкістю й часом існує лінійна залежність, отже, цей графік матиме вигляд прямої лінії, нахиленої до осі часу (мал. 1.2, а). Порівняй графіки I та II. У якому випадку прискорення руху тіла більше? Порівняй графіки I і III. Що можна сказати про прискорення руху тіла III?

Оскільки прискорення із часом не змінюється, то графік залежності прискорення від часу $a(t)$ є прямою лінією, паралельною осі часу (мал. 1.2, б).




Мал. 1.2

Щоб отримати формулу для обчислення переміщення тіла під час рівноприскореного руху, скористаємося графічним методом, який дозволяє обчислити переміщення тіла як площу фігури під графіком залежності проєкції швидкості руху тіла від часу (мал. 1.3).




Мал. 1.3

З курсу геометрії відомо, що площа трапеції дорівнює добутку півсуми основ трапеції на висоту. Таким чином, формула для обчислення переміщення має вигляд: $s = \upsilon_0 t + \frac{at^2}{2}$.

Також користуються й такою формулою: $\upsilon^2 - \upsilon_0^2 = 2as$.

***Переконайся, що знання про рівнозмінний рух (рух із постійним прискоренням) важливі в багатьох сферах діяльності людини.*** Знання про рівнозмінний рух — це не тільки тема курсу, а й основа технологій, транспорту, безпеки і науки.

В транспортній галузі працюють інженери-механіки, транспортні аналітики, випробувачі авто, які: тестують гальмівний шлях та розгон машин, потягів, трамваїв, розраховують прискорення під час удару, щоб забезпечити безпеку при зіткненнях, здійснюють адаптивний круїз-контроль, де аналізують зміни швидкості. Експерти-криміналісти застосовують формули рівнозмінного руху у своїх розслідуваннях для реконструкції ДТП: як змінювалась швидкість авто перед зіткненням.

Космічні агентства (як NASA, ESA або КБ «Південне» в Україні) активно використовують рівняння рівнозмінного руху для польотів і посадок літаків, ракет, супутників. У будівництві та архітектурі здійснюють розрахунок навантажень на конструкції при землетрусах (де прискорення змінюється!). Біомеханіки та фізіотерапевти використовують знання про прискорення для відновлення пацієнтів після травм, для проєктування протезів, екзоскелетів, реабілітаційних систем. У робототехніці важливо проєктувати роботи, дрони, автоматизовані системи, які мають плавно пришвидшити або зупинити рух.

Знати закони рівнозмінного руху мають і люди, які працюють в ІТ-сфері, зокрема геймдизайнери, програмісти, анімаційні художники. Знання рівнозмінного руху є однією з базових вимог для розробників / розробниць комп'ютерних ігор. Часто в іграх персонаж має різні швидкості пересування (біг, ходьба, спринт) та прискорення для кожного / кожної з них. Це додає реалістичності геймплею та вимагає від розробника використання формул рівнозмінного руху для плавного переходу між різними станами швидкості.

**ДУМАЙ**

**1.** Який рух називають рівнозмінним? **2.** Яка фізична величина характеризує зміну швидкості тіла з часом? **3.** Як обчислити прискорення? **4.** У чому різниця між рівномірним і рівнозмінним рухами? **5.** Чому рух кулі в рушниці або старт ракети вважаються прикладами рівнозмінного руху? **6.** Який вигляд має графік залежності швидкості від часу при рівнозмінному русі? **7.** Поясни, чому геймдизайнеру потрібно знати закони рівнозмінного руху.

**ДІЙ**

## УЧИСЬ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ЗАДАЧІ

**Задача.** Кульку штовхнули по похилому жолобу вгору зі швидкістю 6 м/с. Прискорення кульки 0,5 м/с$^2$. Визнач швидкість кульки через 8 с та 16 с після початку руху.

**Дано:**

$v_0 = 6 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

$a = 0,5 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

$t_1 = 8$ с
$t_2 = 16$ с

$v_1$ — ?
$v_2$ — ?

**Розв'язання:**

Рухаючись вгору, кулька зменшує свою швидкість. Відповідно, її рух рівносповільнений.

Щоб знати, який знак буде у формулі, користуються такими правилами розв'язування задач.

Обирають вісь $x$ за напрямом руху. У нашому випадку вісь краще спрямувати вздовж жолоба (мал. 1.4). Проєкція вектора $\vec{v}_0$ збігається з напрямом вісі $x$, оскільки швидкість зменшується, то вектор прискорення $\vec{a}$ напрямлений протилежно до осі $x$.

Векторне рівняння швидкості: $\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}t$.

У проєкціях на вісь $x$ з урахуванням знаків проєкції векторів $\vec{v}_0$, $\vec{a}$: $v = v_0 - at$.

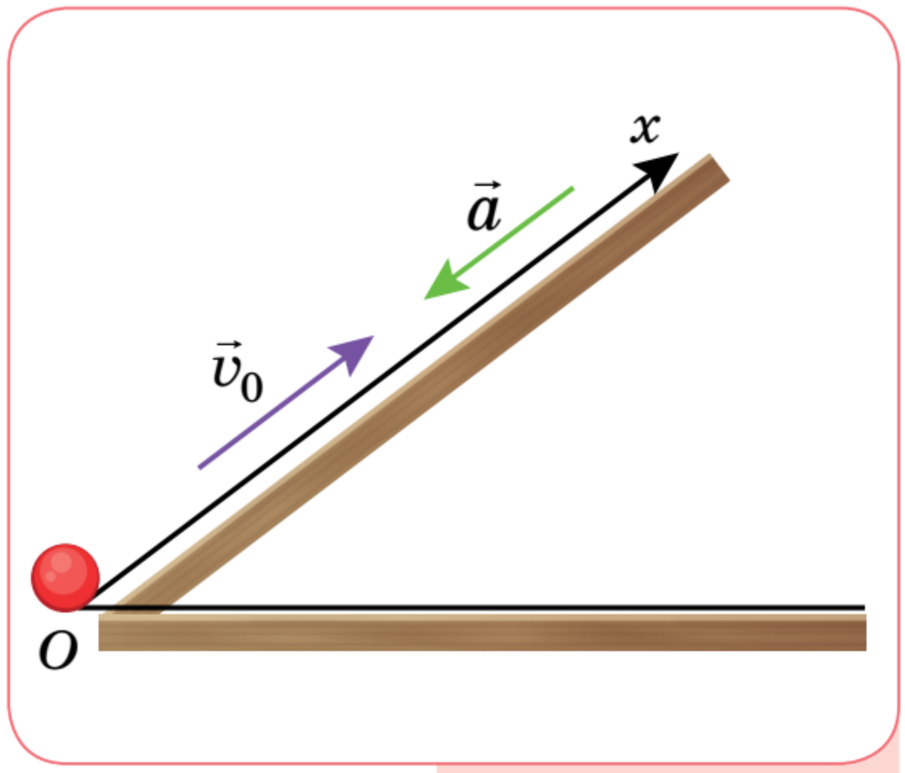
Визначимо швидкість тіла у момент часу $t_1 = 8$ с:

$v_1 = 6$ м/с $- 0,5$ м/с$^2 \cdot 8$ с $= 12$ м/с.

У момент часу $t_2 = 16$ с:

$v_2 = 6$ м/с $- 0,5$ м/с$^2 \cdot 16$ с $= -2$ м/с.

Знак «мінус» означає, що у момент часу $t_2 = 16$ с кулька змінила напрям і скочується вниз.




Мал. 1.4

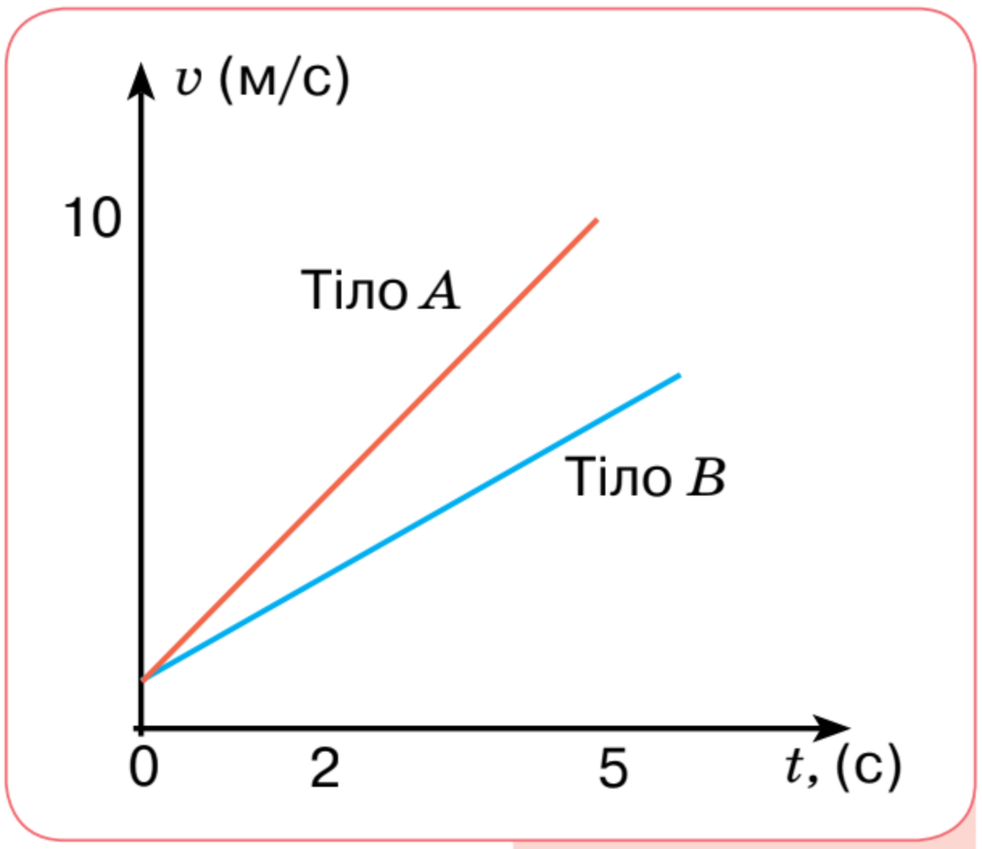
**Відповідь:** $v_1 = 12$ м/с; $v_2 = -2$ м/с.

## РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

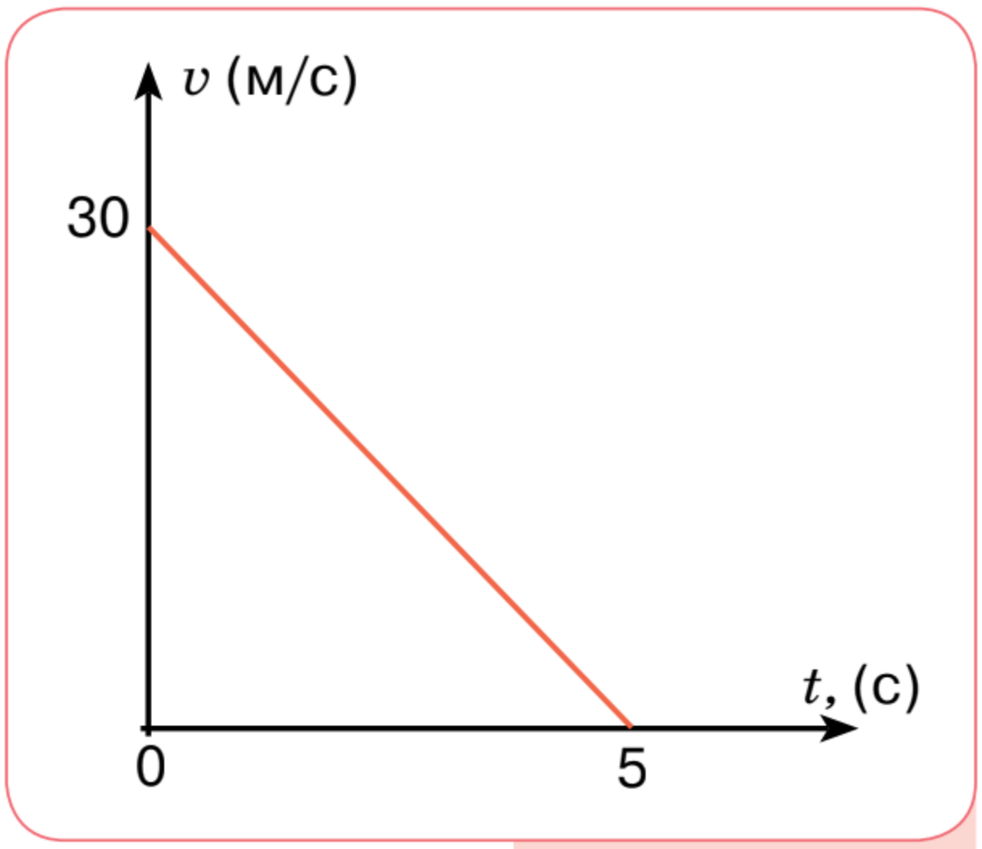
1. Поїзд через 10 с після початку руху набув швидкості 0,6 м/с. Через скільки часу від початку руху швидкість поїзда становитиме 3 м/с?
2. Велосипедистка їде з гори з прискоренням 0,3 м/с$^2$. Якої швидкості набуде велосипедистка через 20 с, якщо її початкова швидкість становила 4 м/с?
3. За який час автомобіль, рухаючись із прискоренням 0,4 м/с$^2$, збільшить свою швидкість від 12 до 20 м/с?
4. Наближаючись до станції, поїзд рухався зі швидкістю 90 км/год й після початку гальмування зупинився через 50 с. Визнач прискорення поїзда під час гальмування.
5. Через скільки секунд після відходу від станції швидкість поїзда метрополітену досягне 72 км/год, якщо прискорення під час розгону становить 1 м/с$^2$?
6. На малюнку 1.5 зображено два графіки залежності швидкості від часу для двох тіл. Яке тіло має більше прискорення? Яке тіло пройшло більшу відстань за 5 с?

**7** Побудуй графік залежності швидкості тіла від часу за наступними даними. Початкова швидкість — 0 м/с. Через 2 с від початку руху швидкість тіла становитиме 4 м/с, через 4 с — 8 м/с, через 6 с — 12 м/с. За графіком визнач прискорення тіла. Скільки часу потрібно тілу, щоб досягти швидкості 20 м/с? Яке переміщення здійснило тіло за перші 6 секунд?

**8** Яке прискорення тіла під час гальмування (мал. 1.6)? Яке переміщення здійснило тіло за цей час? Як зміниться графік, якщо тіло зупиниться за 10 с?




Мал. 1.5




Мал. 1.6

**9** Як би ти запрограмував / запрограмувала рівнозмінний рух в середовищі Scratch або Unity? Як би ти зобразив / зобразила рівнозмінний рух в анімації чи графіці?

**10** Склади власну ситуаційну задачу про рівнозмінний рух у повсякденному житті (транспорт, спорт, ігри).

**11** Виконай завдання за симуляцією у е-додатку 1.2 .

## ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

**Виконуй досліди з дотриманням правил безпеки життєдіяльності!**

Визнач прискорення рівноприскореного руху (за допомогою іграшкового автомобіля).

*Обладнання*: іграшковий автомобіль (на батарейках, пружинному або інерційному механізмі), лінійка або рулетка, секундомір або смартфон із таймером, маркери для позначення положення автомобіля (стікери, клейка стрічка тощо), аркуш паперу та ручка, гладка поверхня (наприклад, парта або підлога).

1. Підготуй трасу для автомобіля — обери рівну, гладку поверхню (наприклад, довгу парту або підлогу). Познач стартову лінію.
2. Підготуй іграшковий автомобіль до старту.
3. Відпусти автомобіль та водночас увімкни секундомір.

4. Через однакові інтервали часу (наприклад, кожну 1 секунду) позначай положення автомобіля.
5. Проведи 3–5 повторів, щоб отримати точні результати. (Для точних вимірювань можна зробити відеозапис руху автомобіля та скористатися програмою обробки відео.)
6. Виміряй довжину кожного пройденого відрізка шляху (від початку до точки 1 с, до 2 с, до 3 с).
7. Обчисли середнє значення пройдених шляхів за кожен інтервал часу.
8. Запиши результати в таблицю.
9. За формулою $a = \frac{2s}{t^2}$ обчисли прискорення для кожного моменту часу.
10. Результати обчислень запиши в таблиці.

| № досліду | Час, с | | |
|---|---|---|---|
| | $t = 1$ с | $t = 2$ с | $t = 3$ с |
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |
| $s$, см | | | |
| $a$, см/с$^2$ | | | |

1.3

# § 2. ДОСЛІДЖУЄМО СИЛИ, ЩО ДІЮТЬ НА РУХОМЕ ТІЛО

Ми з'ясували, що тіло може змінювати швидкість свого руху. Але чому це відбувається? Що є причиною зміни швидкості руху тіла?



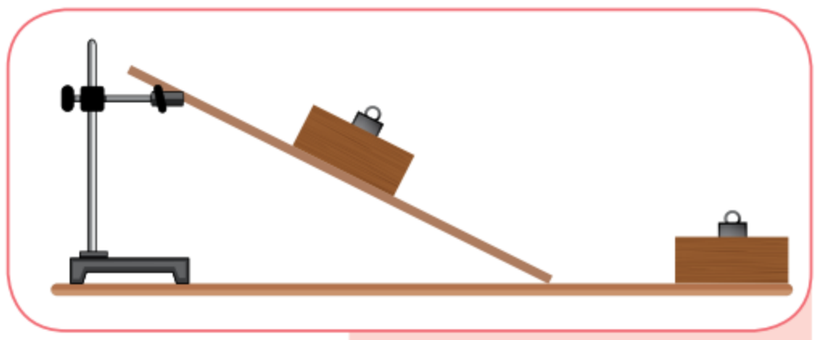
## ДОСЛІДЖУЙ

**1** Розглянь ситуацію. Влад повертався додому на велосипеді. Його швидкість була сталою — близько 18 км/год. Аж перед ним несподівано викотився м'яч, яким гралися діти. Влад різко загальмував і встиг зупинитися лише за кілька метрів.

1. Який тип руху здійснював Влад до початку гальмування?
2. Як змінився характер руху після початку гальмування? Як називають такий рух?

3. Які сили спричинили зміну швидкості велосипеда?
4. Як на процес гальмування могли вплинути: маса велосипеда та Влада, стан дорожнього покриття?
5. Якою стала би траєкторія руху Влада, якби він не загальмував?

**2** Змоделюй подібну ситуацію. Скористайся штативом; дерев'яною планкою та бруском; тягарцями, які можна кріпити на брусок, щоб змінювати його масу; металевою пластиною та наждачною стрічкою, якими можна накрити поверхню парти і якими продовжуватиме рух брусок після спуску з похилої площини (мал. 2.1).



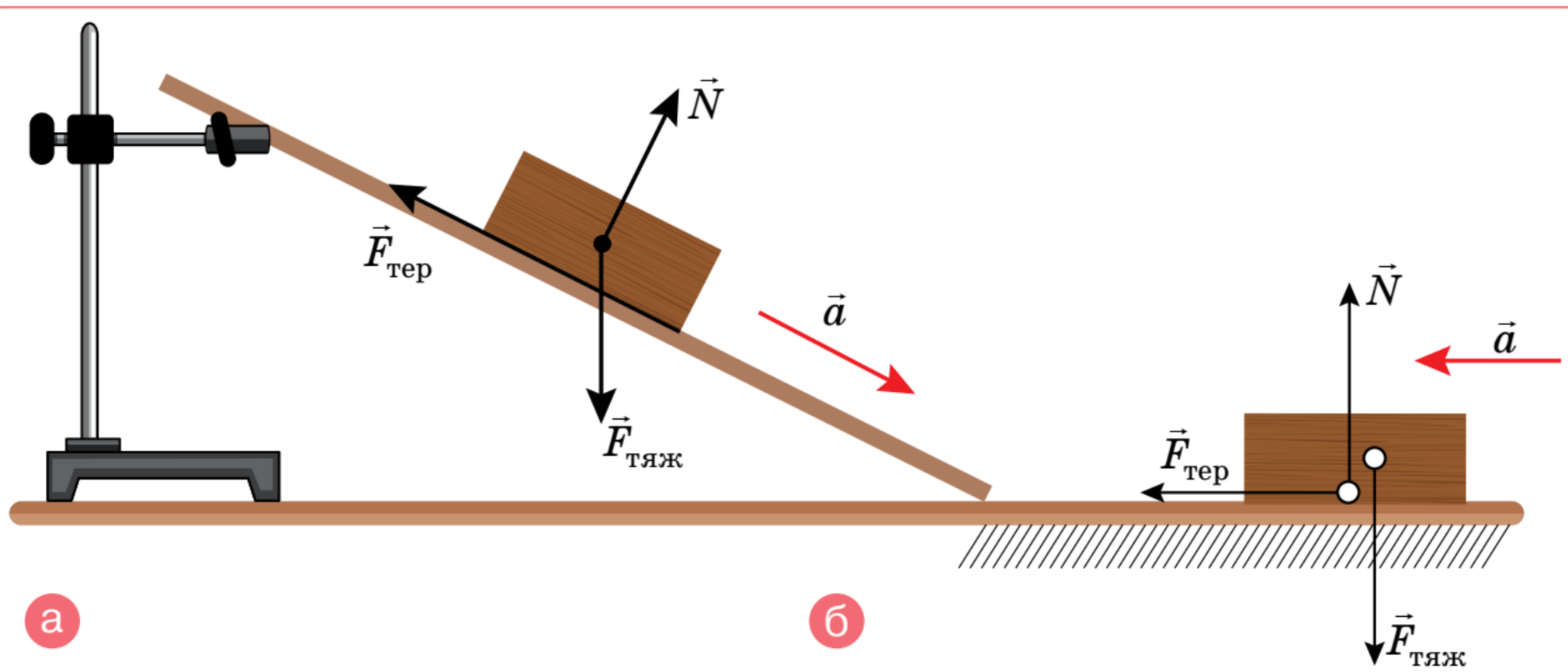
Мал. 2.1

1. Як згадані змінні «маса велосипеда та Влада», «стан дорожнього покриття» відображено за допомогою запропонованого обладнання?
2. Які параметри руху ти вимірюватимеш або спостерігатимеш під час цього експерименту, щоб перевірити свої відповіді на запитання ситуації (1)?

## ДІЗНАВАЙСЯ

***Які сили діють на тіло під час руху?*** Пригадуєш, ми вже вчили, що на всі тіла на Землі діє сила тяжіння, під час пружних деформацій — сила пружності, а між поверхнями — сила тертя. Спробуємо схарактеризувати рух бруска під дією цих сил.

Сила тяжіння визначається за формулою: $F_{тяж} = mg$, де $m$ — маса тіла; $g$ — коефіцієнт прискорення вільного падіння, який має значення $g = 9{,}8$ м/с$^2$. Оскільки сила — векторна величина, то важливо вміти показувати її напрям, а також точку її прикладання. Так, силу тяжіння на малюнку позначають стрілкою, яка прикладена до центра тіла і напрямлена до центра Землі (мал. 2.2).




Мал. 2.2

Брусок тисне на поверхню, внаслідок чого виникає сила нормального тиску. Її позначають літерою $N$ (або $P$). Силу, з якою, протидіючи деформації, поверхня діє на брусок, називають *силою реакції опори*. Її також позначають літерою $N$. Це пара взаємодіючих сил, рівних за величиною і протилежних за напрямом, які діють на різні об'єкти: сила нормального тиску діє на опору, сила реакції опори — на тіло. Ці сили напрямлені перпендикулярно до поверхні опори. На малюнку 2.2, а зображено силу реакції опори, оскільки нас цікавлять ті сили, що діють на тіло.

Між контактуючими поверхнями бруска і дошки діє сила тертя ковзання $F = \mu N$, де $\mu$ — коефіцієнт тертя ковзання, який залежить від матеріалу поверхні; $N$ — сила нормального тиску.

Сила тертя ковзання напрямлена паралельно контактуючим поверхням і протилежно до напряму відносного руху тіла (мал. 2.2, б).

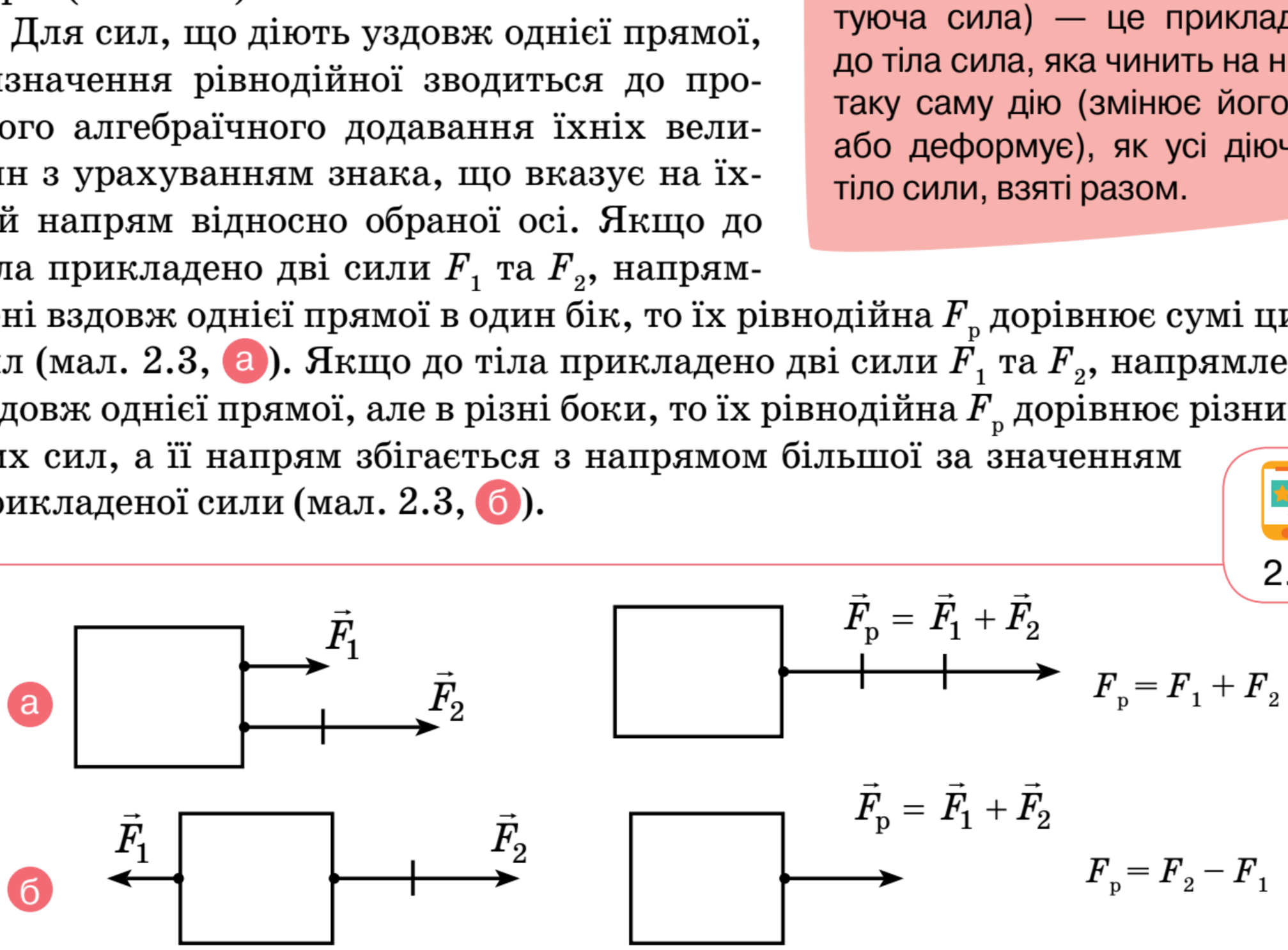
Усі ці сили діють на брусок і змінюють його швидкість, тобто надають тілу прискорення. При цьому співвідношення сил у різних точках траєкторії руху тіла може бути різним. Так, на похилій площині сили не компенсують одна одну, їх результуюча напрямлена вздовж похилої площини і прискорює тіло. На горизонтальній поверхні сила тяжіння і сила реакції опори компенсують одна одну, і брусок сповільнюється під дією сили тертя. Таким чином, причиною зміни стану руху тіла є результуюча сила.

Результуюча сила, або рівнодійна сил визначається за правилом додавання векторів (мал. 2.3).

**Рівнодійна сила** (або результуюча сила) — це прикладена до тіла сила, яка чинить на нього таку саму дію (змінює його рух або деформує), як усі діючі на тіло сили, взяті разом.

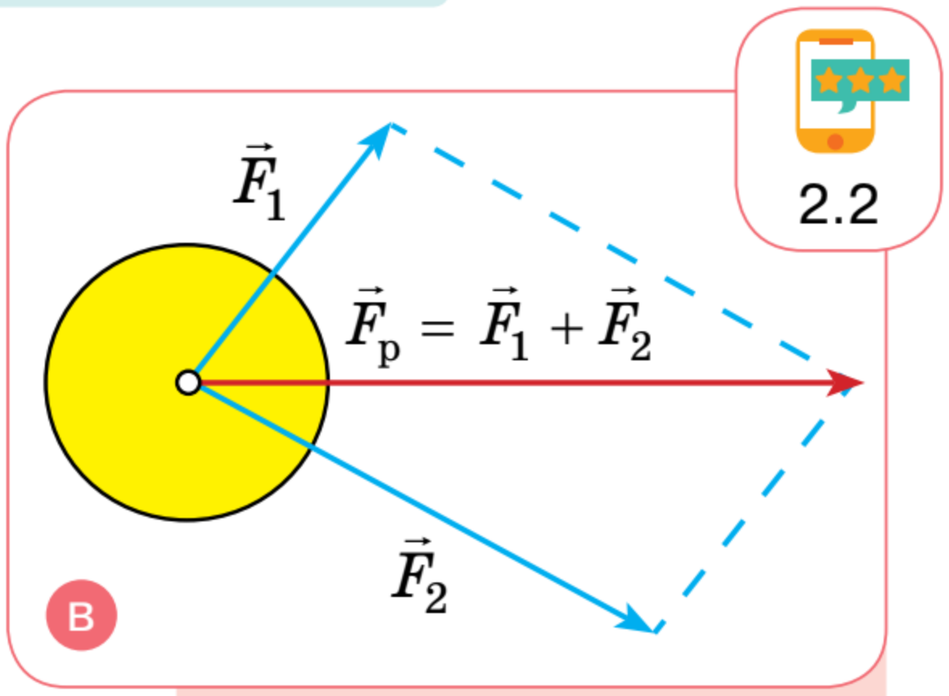
Для сил, що діють уздовж однієї прямої, визначення рівнодійної зводиться до простого алгебраїчного додавання їхніх величин з урахуванням знака, що вказує на їхній напрям відносно обраної осі. Якщо до тіла прикладено дві сили $F_1$ та $F_2$, напрямлені вздовж однієї прямої в один бік, то їх рівнодійна $F_р$ дорівнює сумі цих сил (мал. 2.3, а). Якщо до тіла прикладено дві сили $F_1$ та $F_2$, напрямлені вздовж однієї прямої, але в різні боки, то їх рівнодійна $F_р$ дорівнює різниці цих сил, а її напрям збігається з напрямом більшої за значенням прикладеної сили (мал. 2.3, б).

2.1



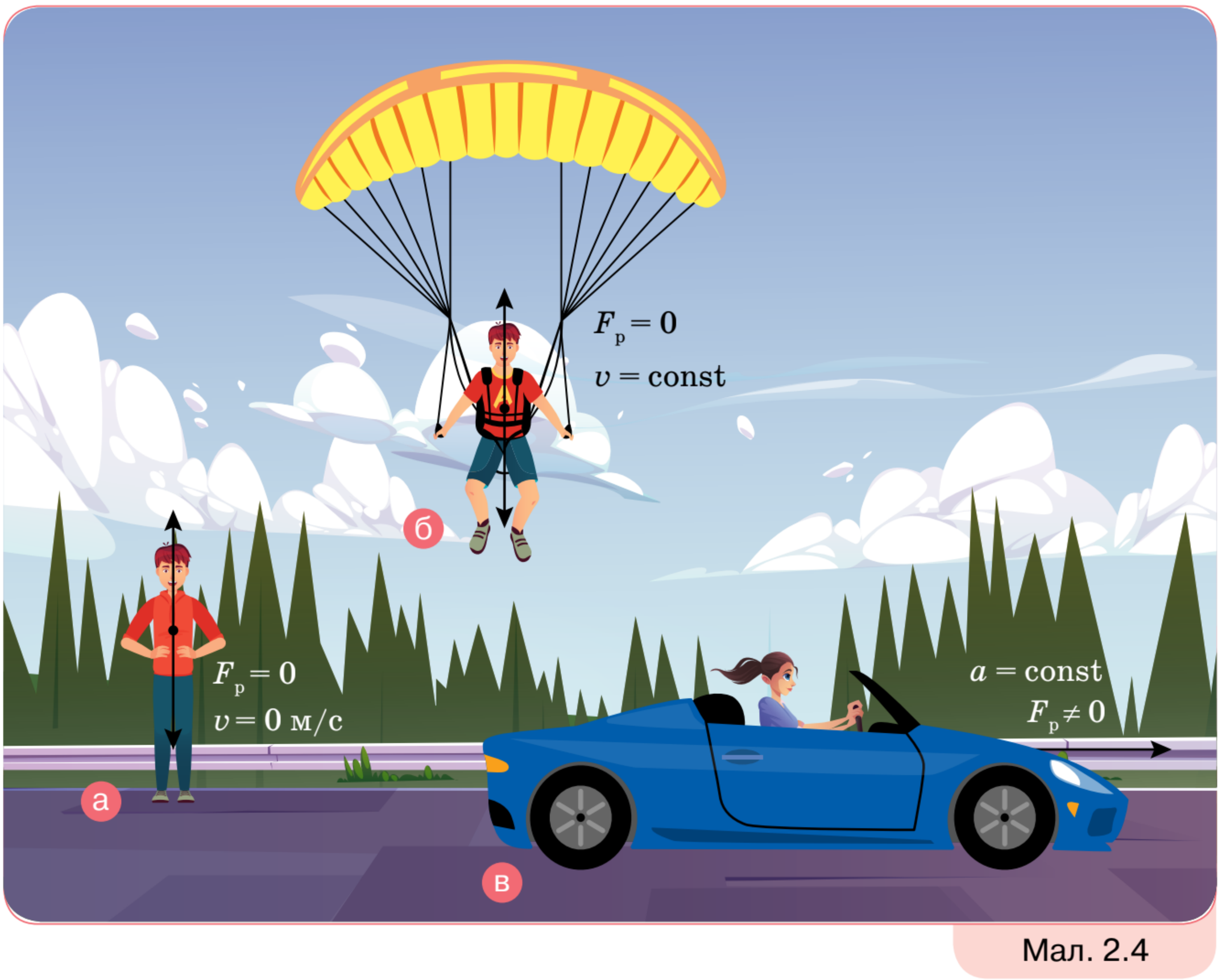

Мал. 2.3

Якщо сили діють під кутом одна до одної, то застосовують правило паралелограма. З однієї точки відкладають вектори обох сил $F_1$ і $F_2$. Добудовують сторони, паралельні векторам сил, щоб отримати паралелограм. Діагональ паралелограма, проведена з тієї самої точки, із якої відкладено вектори сил, і буде вектором рівнодійної сили ($F_р$) (мал. 2.3, в).




Продовження мал. 2.3

Якщо сили, що діють на тіло, скомпенсовано, то тіло перебуває у стані спокою (мал. 2.4, а) або рухається рівномірно прямолінійно (мал. 2.4, б).




Мал. 2.4

Якщо рівнодійна сил, прикладених до тіла, не змінюється з часом, то тіло рухається рівнозмінно прямолінійно. Напрям прискорення руху тіла завжди збігається з напрямом рівнодійної сил, прикладених до тіла (мал. 2.4, в).

***Якими бувають сили?*** У фізиці сила є фундаментальним поняттям, що описує взаємодію між тілами. Вона є причиною зміни стану руху тіла або його деформації. Сила завжди є результатом взаємодії між двома або

більше тілами (або тілом і полем, наприклад, гравітаційним чи електромагнітним полем).

Розглядаючи механічний рух, ми маємо справу лише із гравітаційною силою тяжіння та двома силами електромагнітної природи — силами пружності та силами тертя.

Сила є векторною величиною. Це означає, що для її повного опису необхідно вказати не тільки її числове значення (модуль), але й напрям її дії та точку прикладання.

У Міжнародній системі одиниць (СІ) силу вимірюють у ньютонах (Н).

**Сила** — фізична величина, яка якісно і кількісно характеризує взаємодію тіл, тобто вказує, наскільки інтенсивно одне тіло діє на інше, спричиняючи зміни в його русі або формі.

Вимірюють силу динамометрами, конструкції яких можуть бути різними (мал. 2.5), але принцип дії яких однаковий.



Мал. 2.5

**ДУМАЙ**

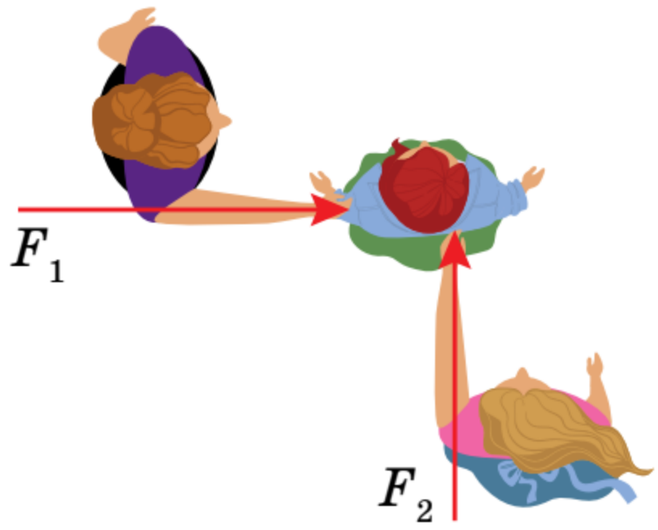
1. Наведи приклад ситуації, яка ілюструє зміну швидкості руху тіла. 2. Що таке сила у фізиці? Які параметри необхідно вказати для повного опису сили? 3. У яких одиницях вимірюють силу в системі СІ? Як визначається ця одиниця? 4. Який прилад використовують для вимірювання сили? На якому принципі ґрунтується його дія? 5. У тексті згадується сила тяжіння як гравітаційна сила. Як вона відрізняється від сил пружності та тертя, згаданих як сили електромагнітної природи? 6. Які сили (дві конкретні, названі в тексті) спричинили зміну швидкості велосипеда в описаній ситуації на початку параграфа? 7. Уяви, що Влад різко загальмував, але не зупинився повністю, а лише зменшив швидкість. Якою була б рівнодійна сила, що діяла на нього в цей момент?

**ДІЙ**

## РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

1. Тяжкий вантаж тягнуть двоє людей, прикладаючи в одному напряму сили 30 Н і 45 Н. Сила опору руху — 15 Н. Чому дорівнює рівнодійна всіх сил, що діють на вантаж?
2. На тіло діють три сили, напрямлені вздовж однієї прямої. Модулі цих сил дорівнюють 1 Н, 2 Н і 3 Н. Чи можуть ці сили врівноважити одна одну? Чому може дорівнювати рівнодійна цих сил за модулем?
3. До тіла прикладено силу 5 Н, напрямлену горизонтально, і силу 4 Н, напрямлену під кутом $60^\circ$ до першої сили. Яка рівнодійна цих сил?

**4** Уяви, що двоє однокласників тиснуть на тебе так, як показано на малюнку 2.6. У якому напрямі ти перемістишся і яким буде модуль результуючої дії, якщо $F_1 = 30$ Н, $F_2 = 40$ Н.




Мал. 2.6

**5** Накресли у зошиті схематичні малюнки, на яких покажи всі сили, що діють на: книжку, що лежить на парті; санки, які тягнуть по снігу; яблуко, що падає з гілки. Намалюй власну ситуацію, де видно взаємодію тіл, і сформулюй запитання для однокласників / однокласниць.

**6** Виконай завдання за симуляцією 2.3 в е-додатку .

## ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

**Виконуй досліди з дотриманням правил безпеки життєдіяльності!**

### Візьми участь у груповій роботі

*Проблемне питання*: Які ознаки та наслідки взаємодії тіл можна спостерігати? Як тіла діють одне на одне?

*Обладнання та матеріали (на кожну групу)*: пластилін, гумка або пружина, два магніти, невеликий іграшковий візок (або машинка на колесах), стіл або гладка поверхня.

Запропонуйте гіпотезу щодо того, які наслідки взаємодії тіл можна спостерігати / виміряти і чи є взаємодія тіл двосторонньою.

Проведіть експерименти.

**1.1. Зміна руху**

- Поставте іграшковий візок на стіл. Штовхніть візок пальцем. Що відбулося з візком? Що ви відчули пальцем?
- Зупиніть візок рукою. Що з ним відбулося? Що ви відчули рукою?
- Зафіксуйте спостереження у таблиці нижче.

**1.2. Деформація**

- Візьміть гумку (або пружину) і розтягніть її. Що відбулося з гумкою? Що ви відчули пальцями?
- Стисніть шматок пластиліну. Що відбулося з пластиліном? Що ви відчули?
- Покладіть пластилін на стіл і вдарте по ньому рукою. Що відбулося з пластиліном? А з вашою рукою?
- Зафіксуйте спостереження у таблиці нижче.

1. Які ознаки взаємодії ви спостерігали?
2. Як ви переконалися, що взаємодія завжди є двосторонньою?
3. Чи підтвердилися ваші початкові гіпотези?
4. Сформулюйте загальний висновок про те, що таке взаємодія тіл, які її основні ознаки та наслідки.

2.4

# § 3. ПЕРЕВІРЯЄМО ЗАКОНИ НЬЮТОНА



Ми з'ясували, що тіло змінює свою швидкість внаслідок взаємодії (дії сили). А чи можна виміряти, на яку величину зміниться швидкість тіла внаслідок дії сили?

Здається, подібне запитання ставив собі англійський вчений Ісак Ньютон. За ним закріпилася відома крилата фраза: *Я бачив далі, бо стояв на плечах гігантів* (англ. If I have seen further than others, it is by standing upon the shoulders of Giants). Ця фраза підкреслює його сором'язливість і визнання того, що його власні відкриття ґрунтувалися на досягненнях великих мислителів і вчених, які працювали до нього. І. Ньютон узагальнив, систематизував та об'єднав розрізнені знання в єдину послідовну систему.





Спробуй і ти, як І. Ньютон, узагальнити закономірності механічного руху.

## ДОСЛІДЖУЙ

**1** Досліди, що відбувається з тілом без сили.

*Обладнання*: візок, гладка і шорстка поверхні, лінійка, таймер.

1. Штовхни візок по шорсткій поверхні та спостерігай за його рухом.
2. Повтори дії на гладкій поверхні.
3. Порівняй шляхи, який пройшов візок у кожному випадку.

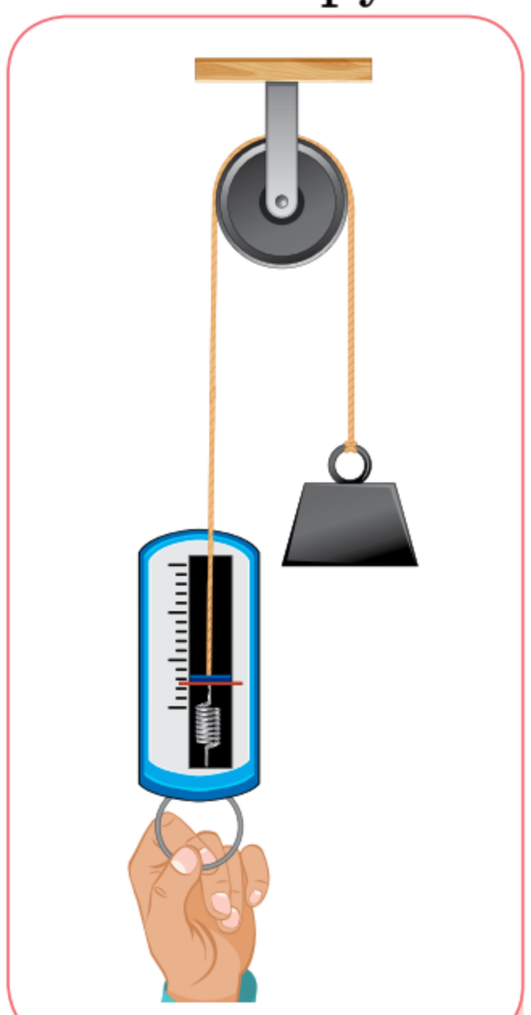
Чи погоджуєшся ти з висновком: що менше тертя, тим довше візок рухається без зупинки?

Узагальни: якби не було тертя (тобто не діяли сили), то рух візка був би...

**2** Досліди залежність зміни швидкості тіла від його маси та прикладеної сили.

*Обладнання*: нерухомий блок, нитка, набір тягарців, динамометр, секундомір.

1. Підвісь тягарець через блок і прикріпи до іншого кінця нитки динамометр (мал. 3.1).
2. Тягни легенько за динамометр і фіксуй час, за який тягарець пройде певну відстань.



Мал. 3.1

3. Збільшуй силу, із якою ти тягнеш тягарець, і фіксуй час проходження тієї самої відстані.
4. Зміни умови досліду. Тепер тягни з однаковою силою один тягарець, а потім два.

Чи погоджуєшся ти, що внаслідок дії більшої сили тягарець рухається швидше, тобто прискорення зростає?

Чи погоджуєшся ти, що чим більшою є маса, тим повільніше рухається тягарець, тобто його прискорення менше?

Узагальни: прискорення тіла прямо пропорційне... та обернено пропорційне...

**3** Досліди протидію.

*Обладнання*: парта, повітряна кулька.

1. Натисни рукою на парту. Що ти відчуваєш?
2. Надуй повітряну кульку та відпусти.

Чи погоджуєшся ти, що на кожну дію є протидія?

Узагальни: на кожну дію є протидія, рівна за модулем і протилежна за...

## ДІЗНАВАЙСЯ

***Дізнаємося про закони Ньютона.*** Видатний італійський учений-дослідник Галілео Галілей дійшов висновків щодо причини руху і його зміни. Він здійснив досить багато дослідів. Деякі з них вважаються фундаментальними, оскільки на їхніх результатах ґрунтуються важливі фізичні закони і теорії. Згодом висновки, отримані Галілео Галілеєм та іншими дослідниками, було сформульовано Ісаком Ньютоном у вигляді трьох законів механіки.

**Перший закон Ньютона:** існують такі системи відліку, відносно яких матеріальна точка зберігає стан спокою або рівномірного прямолінійного руху, якщо на неї не діють інші тіла або дію зовнішніх тіл скомпенсовано.

Перший закон Ньютона ще називають законом інерції, системи відліку — інерціальними, а явище збереження стану рівномірного прямолінійного руху — інерцією. До того ж будь-яка система відліку, що рухається відносно інерціальної системи відліку поступально, рівномірно і прямолінійно, також є інерціальною системою. Суттєвим є те, що в інерціальних системах, наприклад в автобусі на зупинці, для збереження спокою не потрібно прикладати ніяких зусиль, а в неінерціальних системах відліку, наприклад в автобусі у момент різкого гальмування, пасажирам доводиться напружувати м’язи, тримаючись за поручень, не зважаючи на те, що додаткової дії у межах самого салону автобуса не виникає.

Якщо на тіло одночасно діють кілька сил, то результуюче прискорення визначається рівнодійною сил. З другого закону Ньютона випливає: коли рівнодійна сил дорівнює нулю, прискорення тіла теж дорівнює нулю. Те саме для цього випадку стверджує і перший закон Ньютона.

**Другий закон Ньютона:** в інерціальній системі відліку прискорення $\vec{a}$, якого набуває тіло масою $m$ під дією сили $\vec{F}$, прямо пропорційне силі, обернено пропорційне масі тіла і має той самий напрям, що й прикладена сила: $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$.

Для багатьох практичних завдань зручним для використання є запис другого закону Ньютона у такій математичній формі:

$$\vec{F} = m\vec{a}.$$

За цією формулою визначають одиницю сили.

Зазначимо, що математична форма запису другого закону Ньютона у вигляді $\vec{F} = m\vec{a}$ є дещо відмінною від записаної самим Ньютоном, але це не змінює суті закону. Другий закон Ньютона узагальнює надзвичайно важливий факт: *дія сил не спричиняє самого руху, а лише змінює його, адже сила викликає зміну швидкості, тобто прискорення, а не саму швидкість.*

Ні у першому, ні у другому законах не йдеться про те, що відбувається з другим взаємодіючим тілом. Нам здається, що, вдаривши ногою по м'ячу, тільки ми подіяли на нього з деякою силою. Але мало хто замислюється, що у момент удару м'яч теж вдарив нас з такою самою силою! Це підтверджує третій закон Ньютона.

Цей закон відображає той факт, що у природі немає і не може бути односторонньої дії одного тіла на інше, а існує лише взаємодія.

Третій закон Ньютона формулюють ще й так: *у дії завжди є протидія*.

**Третій закон Ньютона:** в інерціальній системі відліку сили, із якими тіла діють одне на одне, напрямлені вздовж однієї прямої, рівні за модулем та протилежні за напрямом: $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$.

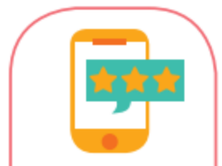
Сили будь-якої природи (гравітаційні, електромагнітні) під час взаємодії тіл виникають попарно, мають протилежні напрями, однакові за модулем. Природа обох сил під час взаємодії однакова.

*Важливо наголосити*, що сили взаємодії хоча і рівні та протилежно напрямлені, але вони не врівноважують одна одну, оскільки прикладені до різних тіл.

***З'ясовуємо межі застосування законів Ньютона.*** Закони Ньютона діють для тіл, що нас оточують, так званих макроскопічних тіл. Для руху частинок мікросвіту закони Ньютона можна застосовувати лише у деяких випадках.

Закони механіки Ньютона встановлено для тіл, що рухаються порівняно з *невеликими швидкостями*, набагато меншими від швидкості світла $c$ у вакуумі ($v \ll c$, де $c = 3 \cdot 10^8$ м/с).

Закони механіки, сформульовані Ньютоном, — незмінні в усіх інерціальних системах відліку. Незмінними є час, маса тіла, прискорення і сила, а траєкторія, швидкість та переміщення різні у різних інерціальних системах відліку.




**ДУМАЙ**

**1.** На основі чиїх висновків Ісак Ньютон сформулював закони механіки? **2.** Чому візок продовжує рухатися після штовхання, навіть якщо його вже ніхто не торкається? Як називають це явище? **3.** Що таке інерціальна система відліку? Наведи приклад інерціальної та неінерціальної систем відліку. **4.** Як визначають одиницю сили (1 Н) на основі другого закону Ньютона? **5.** Що важливе випливає з другого закону Ньютона щодо дії сил на рух тіла? **6.** Поясни, чому сили дії та протидії не врівноважують одна одну, незважаючи на те, що вони рівні за модулем і протилежні за напрямом. **7.** Для яких тіл і за яких умов застосовуються закони Ньютона, а для яких їх застосування обмежене?

**ДІЙ**

## УЧИСЬ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ЗАДАЧІ

**Задача.** На тіло масою 2 кг протягом 5 с діє сила 2 Н. Якої швидкості набуде тіло і який шлях воно пройде за цей час, якщо на початку взаємодії воно було нерухомим?

**Дано:**

$m = 2$ кг

$t = 5$ с

$F = 2$ Н

$v_0 = 0$

$v$ — ?

$s$ — ?

**Розв'язання:**

Рух відбувається в горизонтальному напрямі, і напрями сили, прискорення і швидкості збігаються.

Згідно з другим законом Ньютона тіло отримує прискорення, модуль якого $a = \frac{F}{m}$.

За формулами кінематики і враховуючи, що $v_0 = 0$, виразимо прискорення: $a = \frac{v - v_0}{t} = \frac{v}{t}$.

Прирівнюючи формули, визначаємо швидкість: $\frac{F}{m} = \frac{v}{t}$; $v = \frac{Ft}{m}$.

Переміщення у рівноприскореному русі за $v_0 = 0$: $s = \frac{at^2}{2} = \frac{Ft^2}{2m}$.

$v = \frac{2\text{Н} \cdot 5\ \text{с}}{2\ \text{кг}} = 5\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$. $s = \frac{2\ \text{Н} \cdot 25\ \text{с}^2}{2 \cdot 2\ \text{кг}} = 12{,}5\ \text{м}$.

**Відповідь:** $v = 5\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$; $s = 12{,}5$ м.

## РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

1 Під дією сили 20 Н тіло рухається з прискоренням 0,4 м/с². З яким прискоренням рухатиметься тіло під дією сили 50 Н?

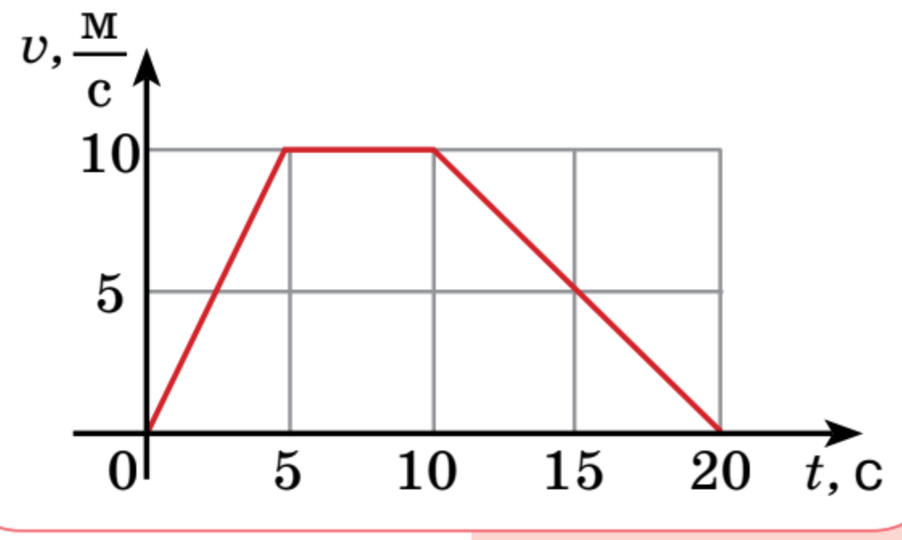
2 На тіло масою 2160 кг, що лежить на горизонтальній поверхні, діє сила, під дією якої тіло за 30 секунд проходить відстань 500 метрів. Визнач величину цієї сили.

3 Моторний човен рухається з прискоренням 2 м/с² під дією трьох сил: сили тяги двигуна $F_1 = 1$ кН, сили вітру $F_2 = 1$ кН та сили опору води $F_3 = 414$ Н. У якому напрямі рухається човен та яка його маса, якщо сила $F_1$ напрямлена на південь, сила $F_2$ — на захід, а сила $F_3$ — проти руху човна.

4 Вагон масою 20 т рухається рівносповільнено з прискоренням 0,3 м/с² і початковою швидкістю 54 км/год. Визнач силу гальмування, яка діє на вагон, час руху вагону до зупинки і переміщення вагону.

5 М'яч масою 0,5 кг після удару, що тривав 0,02 с, набуває швидкості 10 м/с. Визнач середню силу удару.

6 На мал. 3.2 зображено графік зміни швидкості тіла масою 2 кг. Визнач силу, що діє на тіло протягом усього часу руху.



Мал. 3.2

7 Під дією сили 60 Н тіло набуває прискорення 0,8 м/с². Яка сила надасть цьому тілу прискорення 2 м/с²?

8 Дві дівчинки, маси яких 40 кг і 50 кг, стоять на ковзанах на льоду. Перша дівчинка відштовхується від другої із силою 10 Н. Яке прискорення дістають дівчата?

9 Виконай завдання за симуляціями 3.2, 3.3 в е-додатку.

## ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

**Виконуй досліди з дотриманням правил безпеки життєдіяльності!**

### Візьми участь у груповій роботі

1 Візьміть два пружинні динамометри. Один динамометр тримає один учень/ одна учениця, інший — другий учень/ друга учениця. З'єднайте гачки динамометрів. Один учень / одна учениця тягне свій динамометр, а інший / інша просто тримає свій, дозволяючи йому вимірювати силу. Зверніть увагу на показання обох динамометрів. Вони рівні чи ні?

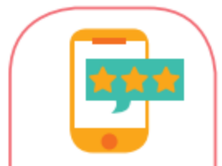
2 Виконай віртуальну лабораторну роботу 3.4 в е-додатку.

## ОПРАЦЮЙ ІНФОРМАЦІЮ

Більшість історій про дитинство І. Ньютона, що дійшли до нас, стосуються його здібностей до винахідництва та конструювання.

- *Водяний годинник*: Він нібито змайстрував дуже точний водяний годинник.
- *Сонячний годинник*: У шкільному дворі Ньютон зробив сонячний годинник.
- *Моделі вітряків*: Він будував діючі моделі вітряних млинів, які працювали, приводячи в рух маленьку фігурку.
- *Запуск паперових зміїв з ліхтарями*: Щоб налякати сусідів, Ньютон запускав паперових зміїв з ліхтарями в темний час доби.
- *Стрибки за вітром і проти*. Вирішив з'ясувати, наскільки швидко дме вітер.

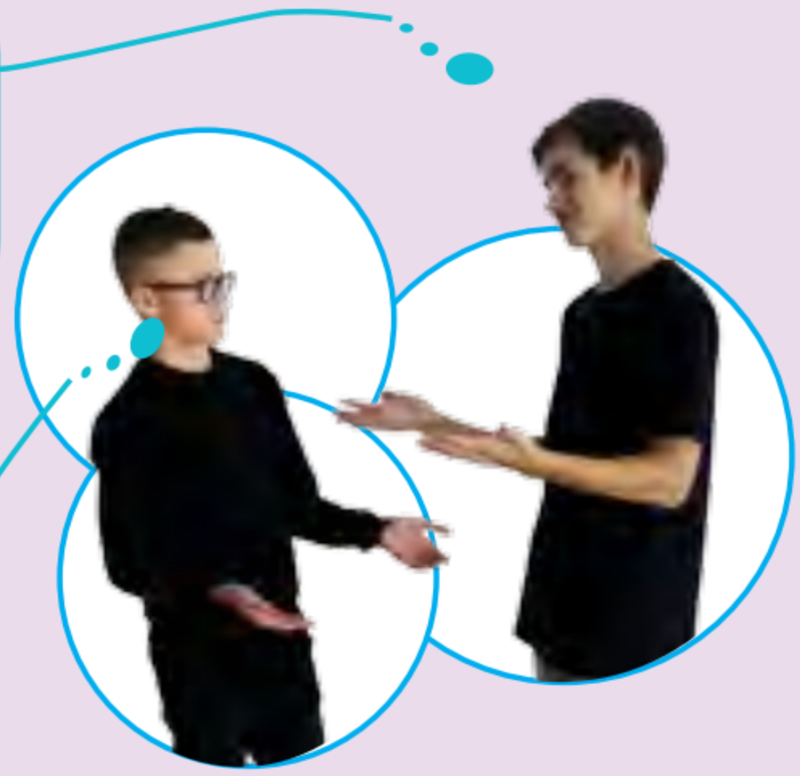
Які з цих історій є правдивими? Зроби схематичний малюнок до останньої історії та опиши, як І. Ньютону вдалося визначити швидкість вітру.


3.5

# § 4. ДОСЛІДЖУЄМО СИЛУ ТЯЖІННЯ І ВІЛЬНЕ ПАДІННЯ

Я здогадуюсь, що саме ми вивчатимемо. Як яблуко впало на голову Ньютона... Усім відомо, що Земля має силу тяжіння.

А я думаю, що мова піде не лише про це. Я нещодавно бачив в інтернеті, як вчені проводили дослід і показали, що легка пір'їнка і гиря впали на підлогу одночасно. Але не пам'ятаю, чому. Може, в параграфі знайду відповідь.



## ДОСЛІДЖУЙ

Досліди, як пов'язані сила тяжіння і маса тіла. Підвісь тіло на динамометр. Зачекай, поки стрілка зупиниться, і зафіксуй значення сили (у ньютонах). Повтори дослід з іншими тілами з відомою масою. Поділи значення сили на масу тіла у кожному випадку. Який результат ти отримав / отримала?

## ДІЗНАВАЙСЯ

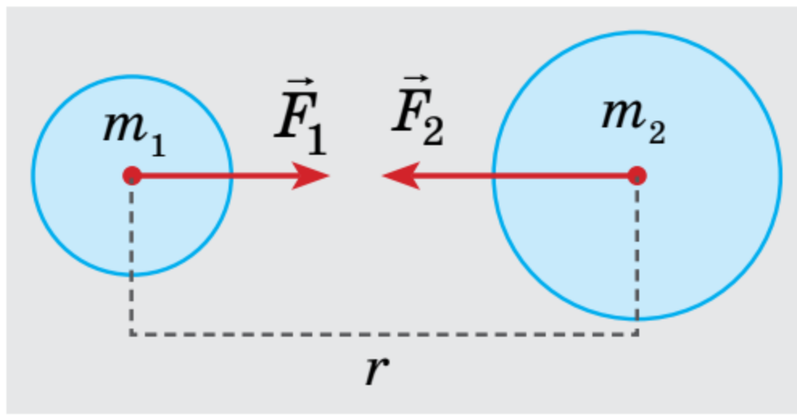
***Дізнаємося про закон всесвітнього тяжіння.*** До XVII ст. вчені вважали, що тільки Земля має особливу властивість притягувати до себе всі тіла, що знаходяться поблизу її поверхні. У 1667 р. І. Ньютон висловив дивне для тих часів припущення, що між усіма тілами діють сили взаємного тяжіння. Це припущення було дивним тому, що у повсякденному житті люди не помічали, що оточуючі їх предмети притягаються один до одного. Аналізуючи наявні на той час результати астрономічних спостережень, а саме, що: 1) усі тіла падають на землю; 2) прискорення, із яким тіла падають на землю, однакове для всіх тіл; 3) Місяць обертається навколо Землі майже по коловій орбіті з періодом обертання 27,3 доби; 4) радіус орбіти Місяця дорівнює приблизно 60 радіусам Землі, і застосувавши сформульовані ним закони щодо руху Місяця навколо Землі, І. Ньютон встановив закон всесвітнього тяжіння.

Коефіцієнт пропорційності $G$ називають *гравітаційною сталою*. Гравітаційну сталу $G$ було визначено експериментальним шляхом. У СІ гравітаційна стала має значення $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11}\ \text{Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2$.

Отже, два тіла масою 1 кг кожне, центри яких розміщено на відстані 1 м один від одного, взаємно притягаються гравітаційною силою, що дорівнює $6{,}67 \cdot 10^{-11}$ Н.

**Закон всесвітнього тяжіння:** два тіла, які можна розглядати як матеріальні точки, притягуються одне до одного з силою, прямо пропорційною добутку їх мас та обернено пропорційною квадрату відстані між ними: $F = G\dfrac{m_1 m_2}{r^2}$.

У формулюванні цього закону вказано, що «тіла» треба розглядати як матеріальні точки. Це означає, що закон справедливий лише тоді, коли геометричні розміри тіл малі порівняно з відстанню між ними і їх можна вважати матеріальними точками. Разом із тим закон справедливий і для великих однорідних куль на невеликих відстанях, якщо можна вважати масу куль зосередженою в їх центрах (мал. 4.1).




Мал. 4.1

***Дізнаємося про прискорення вільного падіння.*** Тривалий час вважали, що тілам різної маси Земля надає різного прискорення, і тому вони падають на неї з різними швидкостями: важчі — швидше, легші — повільніше. У цьому начебто переконував життєвій досвід: легка пір'їна, що падає в повітрі з однакової висоти разом із свинцевою кулькою, досягала землі пізніше, ніж кулька. Цей, на перший погляд, очевидний факт

змушував багатьох людей спотворено уявляти справжній перебіг явища вільного падіння тіл.

Італійський фізик Галілео Галілей, вивчаючи рух тіл по похилому жолобу, встановив, що кулі однакового діаметра, виготовлені з дерева, заліза, слонової кістки тощо, мають однакове прискорення, тобто їх прискорення не залежить від маси куль. Збільшуючи кут нахилу, він дійшов висновку, що значення прискорення при цьому збільшується, але залишається однаковим для всіх тіл, не залежно від їхньої маси. Далі він зазначив: якщо збільшувати кут нахилу жолоба до 90°, тобто до вертикального його положення, висновки щодо прискорення тіл не зміняться, а відмінність у падінні тіл спричинена лише опором повітря. Для перевірки цієї думки Г. Галілей провів свій відомий дослід, скинувши з великої висоти мушкетну кулю і гарматне ядро (маси тіл відрізнялися майже у 400 разів, проте опір повітря для них був порівняно однаковим). Для проведення цього досліду Галілей використав вежу, збудовану в італійському місті Піза (мал. 4.2, а). Дослід підтвердив припущення (гіпотезу) Галілея: кинуті одночасно куля і ядро впали теж практично одночасно, хоча ядро в 400 разів важче від кулі!

Подальше вивчення вільного падіння здійснювалося різними способами і за допомогою різних експериментальних установок. Так, І. Ньютон використовував велику скляну трубку, з якої можна було викачати повітря, і спостерігав, що пір'їна і сталева кулька у вакуумі падають одночасно (мал. 4.2, б).

4.1



а

б

Мал. 4.2

Після численних вимірювань було встановлено середнє значення *прискорення вільного падіння*: $g = 9{,}81$ м/с$^2$. Вектор прискорення вільно-

го падіння завжди напрямлений вертикально вниз.

Рух тіла під дією земного тяжіння, за умови, що опір повітря незначний і на тіло не діють інші сили, називають **вільним падінням** (*free fall*).

Значення прискорення вільного падіння можна обчислити і з таких міркувань. Згідно із законом всесвітнього тяжіння модуль сили тяжіння, яка діє на будь-яке тіло масою $m$ поблизу Землі (на відстані $h$ від її поверхні), можна обчислити за формулою: $F = G\dfrac{M_З m}{(R_З + h)^2}$.

Якщо на тіло масою $m$ діє тільки сила тяжіння, то це тіло вільно падає, рухаючись із прискоренням (у цьому випадку із прискоренням вільного падіння). Згідно з другим законом Ньютона $\vec{F} = m\vec{g}$.

Прирівнюючи дві формули $F = G\dfrac{M_З m}{(R_З + h)^2}$. і $F = mg$, отримаємо формулу для обчислення прискорення вільного падіння: $g = G\dfrac{M_З}{(R_З + h)^2}$.

Його значення трохи відрізняється на екваторі і на полюсах Землі. Ця різниця виникає тому, що радіус Землі (найкоротша відстань від поверхні до центра Землі) різний на полюсах і на екваторі: $g_е = 9{,}780$ м/с$^2$; $g_п = 9{,}832$ м/с$^2$. У приблизних розрахунках його зазвичай приймають рівним 9,81; або 9,8 або 10 м/с$^2$.

Звідси випливає, що в системі відліку, пов'язаній із Землею, на будь-яке тіло діє сила тяжіння, напрямлена до центра Землі, і яка дорівнює добутку його маси $m$ на прискорення вільного падіння $g$:

$$\vec{F}_{тяж} = m\vec{g}.$$

***Рівняння руху тіла у вертикальному напрямі.*** Рух тіла у вертикальному напрямі описується рівняннями рівноприскореного руху:

$$h = v_0 t \pm \frac{gt^2}{2},\ v = v_0 \pm gt,$$

де $h$ — переміщення по вертикалі; $v_0$, $v$ — швидкість на початку та в кінці руху; $g$ — прискорення вільного падіння.

Рух тіла, кинутого вертикально вгору до максимальної висоти підйому, є рівносповільненим, вниз — рівноприскореним, без початкової швидкості. Час підйому дорівнює часу падіння.

З певної висоти тіло можуть кидати вниз, надаючи йому деякої початкової швидкості, а можуть відпускати — тоді тіло падає без початкової швидкості (тіло, що вільно падає).

**ДУМАЙ**

**1.** У чому полягає закон всесвітнього тяжіння? Який фізичний зміст гравітаційної сталої? **2.** Що слід розуміти під $r$ у формулі закону всесвітнього тяжіння при розрахунку сили гра-

вітаційної взаємодії двох тіл? **3.** Для яких тіл справедливий закон всесвітнього тяжіння? **4.** У чому полягає суть досліду Г. Галілея? **5.** Що таке вільне падіння тіл? Який це рух? Чому?

## ДІЙ

## УЧИСЬ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ЗАДАЧІ

**Задача 1.** Обчисли масу Землі, якщо відомо, що її радіус дорівнює $R = 6{,}37 \cdot 10^6$ м.

**Дано:**

$R = 6{,}37 \cdot 10^6$ м

$g = 9{,}81 \ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$

$G = 6{,}67 \cdot 10^{-11} \ \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}^2}$

$M_З$ — ?

**Розв'язання:**

Усі тіла притягуються до Землі. Силу притягання можна визначити двома способами:

$F = mg$ та $F = G\frac{mM_З}{R_З^2}$.

Прирівнюючи формули, отримуємо:

$mg = G\frac{mM_З}{R_З^2}$, або $g = G\frac{M_З}{R_З^2}$.

Звідки $M_З = \frac{gR_З^2}{G}$, $M_З = \frac{9{,}81 \text{ м/с}^2 \cdot 6{,}37^2 \cdot 10^{12} \text{м}^2}{6{,}67 \cdot 10^{-11} \text{ Н} \cdot \text{м}^2/\text{кг}^2} \approx 5{,}98 \cdot 10^{24}$ кг.

**Відповідь:** $M_З \approx 5{,}98 \cdot 10^{24}$ кг.

**Задача 2.** З висоти 45 м падає тіло. Визнач (у мілісекундах) час, за який тіло пролетить останній метр польоту.

**Дано:**

$h = 45$ м

$g = 10$ м/с$^2$

$t$ — ?

**Розв'язання:**

Оскільки тіло вільно падає, то $v_0 = 0 \ \frac{\text{м}}{\text{с}}$ і рівняння руху має вигляд: $h = \frac{gt^2}{2}$.

Знайдемо, на скільки час польоту тіла з висоти $h = 45$ м більший за час польоту з висоти $h_1 = 44$ м. $\Delta t = \sqrt{\frac{2h}{g}} - \sqrt{\frac{2h_1}{g}}$,

$\Delta t = \sqrt{\frac{2 \cdot 45 \text{ м}}{9{,}8 \ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}}} - \sqrt{\frac{2 \cdot 44 \text{ м}}{9{,}8 \ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}}} = 3 \text{ с} - 2{,}96 \text{ с} = 0{,}04 \text{ с} = 40$ мс.

**Відповідь:** 40 мс.

## РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

1 З якою силою притягуються одна до одної дві книжки масою 0,2 кг кожна, що перебувають на відстані 1 м одна від одної?

2 Визнач силу гравітаційної взаємодії Землі і Місяця, якщо маса Землі становить $5{,}98 \cdot 10^{24}$ кг, маса Місяця $7{,}35 \cdot 10^{22}$ кг, а середня відстань між ними дорівнює $3{,}84 \cdot 10^{8}$ м.

3 У скільки разів зменшується сила притягання до Землі космічної ракети під час її віддалення від поверхні Землі на відстань, що дорівнює радіусу Землі? П'ятьом радіусам Землі?

4 Середня відстань між центрами Землі і Місяця дорівнює 60 земним радіусам, а маса Місяця у 81 раз менша від маси Землі. У якій точці на прямій, що з'єднує їх центри, тіло притягатиметься до Землі і до Місяця з однаковими силами?

5 Яке прискорення вільного падіння на висоті, що дорівнює половині радіуса Землі?

6 Тіло вільно падає зі стану спокою з висоти 39,2 м. За який час тіло пройде перший метр свого шляху?

7 Дівчинка кинула вертикально вгору м'яч і впіймала його через 2 с. На яку висоту піднявся м'яч і яка його початкова швидкість?

8 На деякій ділянці шляху швидкість тіла, що вільно падає, збільшилася від 7 м/с до 21 м/с. Знайди час, протягом якого відбулася зміна швидкості, і шлях, пройдений тілом за цей час.

9 За останню секунду вільного падіння тіло пройшло половину свого шляху. З якої висоти і скільки часу падало тіло?

10 Тіло кинуто вертикально вгору зі швидкістю 30 м/с. Знайди, через який час тіло буде на висоті 25 м; максимальну висоту підняття; час піднімання і час падіння.

11 Виконай завдання за симуляцією 4.2 в е-додатку .

## ОПРАЦЮЙ ІНФОРМАЦІЮ

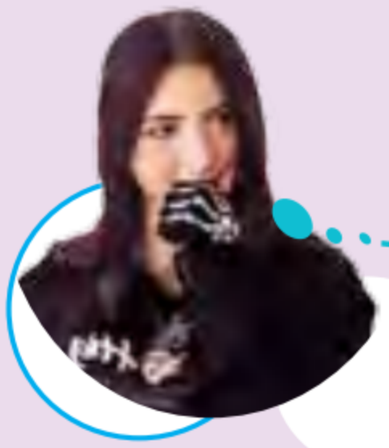
Обери 5–7 різних небесних тіл у Сонячній системі (наприклад: Сонце, Місяць, Меркурій, Марс, Юпітер, Сатурн, Земля).

Побудуй діаграми і графік:

- стовпчасту діаграму, що відображає прискорення вільного падіння (або твою вагу) на кожному з обраних небесних тіл;
- кругову діаграму, що показує відносні маси планет (без Сонця);
- графік залежності прискорення вільного падіння від маси планети (або від радіуса планети) для обраних тіл.


4.3

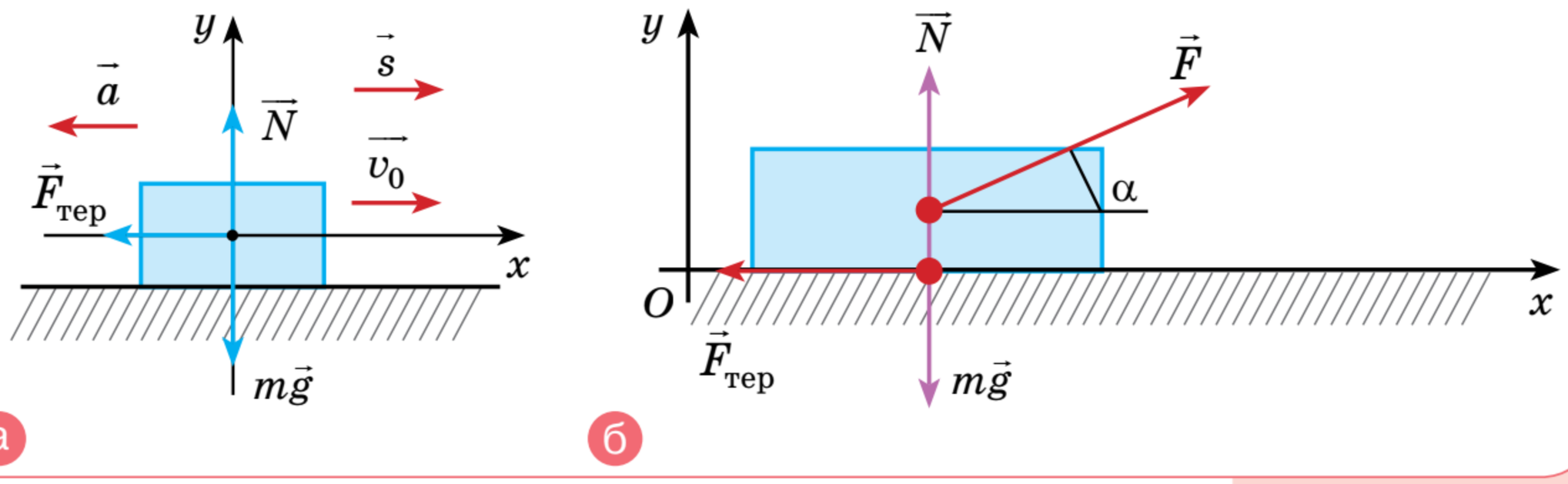
# § 5. ДОСЛІДЖУЄМО РУХ ТІЛА ПІД ДІЄЮ КІЛЬКОХ СИЛ



Так, ми уже розглядали рух тіла під дією кількох сил у параграфі 3. Невже щось нове буде у цьому параграфі?

## ДОСЛІДЖУЙ

**1** Розглянь малюнки 5.1 а, б та охарактеризуй за ними рухи тіл.




Мал. 5.1

**2** Зроби схематичний малюнок до такої умови задачі: велосипедист, який рухається зі сталою швидкістю, побачив попереду перешкоду і різко загальмував.

## ДІЗНАВАЙСЯ

***Досліджуємо сили, що діють на тіло, яке рухається горизонтально.*** У розглянутих раніше задачах вже описувалися ситуації, коли тілу надають прискорення одразу декілька діючих сил. Рухів, які відбуваються під дією лише однієї сили, у земних умовах практично немає. Розглядаючи механічний рух, ми маємо справу, у першу чергу, з силою гравітаційної взаємодії — силою тяжіння і з двома групами сил електромагнітної взаємодії (пружності і тертя).

Визначаючи ці сили і знаючи закони Ньютона, можна розв'язати основну задачу механіки: за відомими силами визначити прискорення

руху тіла, за прискоренням — швидкість і, нарешті, положення тіла в будь-який наступний момент часу.

Пригадай загальні ознаки сил, що діють в механічних процесах (с. 6).

Ознайомся із алгоритмом розв'язування задач з динаміки.

1. Уважно прочитай умову задачі. З'ясуй, які сили діють на тіло, яким є характер його руху (рухається з прискоренням чи рівномірно прямолінійно).
2. Запиши коротку умову задачі. У разі необхідності переведи значення фізичних величин в одиниці СІ.
3. Виконай пояснювальний малюнок, на якому зазнач сили, що діють на тіло, і напрям прискорення руху тіла. Тіло вважай матеріальною точкою, тому всі сили прикладай до однієї точки.
4. Вибери інерціальну систему відліку. Осі координат бажано спрямувати так, щоб якнайбільше сил було напрямлено вздовж цих осей (це не змінить результату розв'язання, але значно його спростить).
5. Запиши рівняння другого закону Ньютона у векторному вигляді та в проєкціях на осі координат. Запиши формули для обчислення сил. Після одержання системи рівнянь розв'яжи її відносно невідомої величини. Якщо в задачі є додаткові умови, використай їх.
6. Перевір одиницю та знайди числове значення шуканої величини. Проаналізуй результат, запиши відповідь.

**ДУМАЙ**

**1.** Як рухатиметься тіло, якщо рівнодійна прикладених до нього сил дорівнюватиме нулю? **2.** За яких умов тіло рухатиметься рівноприскорено? Рівносповільнено?

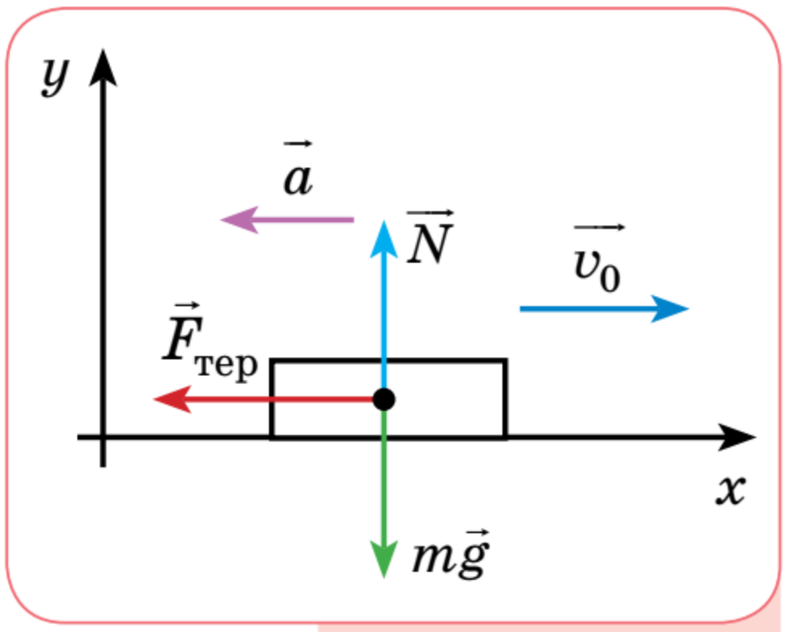
**ДІЙ**

## УЧИСЬ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ЗАДАЧІ

Велосипедистка, яка рухається зі швидкістю 36 км/год, побачила попереду приблизно в 10 м від себе перешкоду і різко загальмувала. Чи встигне вона зупинитися, якщо:
а) дорога суха і коефіцієнт тертя 0,7;
б) дорога слизька і коефіцієнт тертя 0,4;
в) швидкість його руху вдвічі більша?



| **Дано:** | **СІ** | **Розв'язання:** |
|---|---|---|
| $v_0 = 36$ км/год<br>$s = 10$ м<br>а) $\mu = 0{,}7$<br>б) $\mu = 0{,}4$<br>в) $v_0 = 20$ м/с<br>$s$ — ? | $v_0 = 10$ м/с | Розглядатимемо рух велосипедиста з моменту гальмування (мал. 5.2).<br>Вісь $x$ спрямовуємо у напрямі руху. Сила тертя ковзання та зумовлене нею прискорення напрямлені у протилежному напрямі.<br>За другим законом Ньютона:<br>$\vec{N} + m\vec{g} + \vec{F}_{\text{тер}} = m\vec{a}$. |



Мал. 5.2

В проєкціях на координатні осі:
вісь $x$: $-F_{\text{тер}} = -ma$, або $F_{\text{тер}} = ma$ (1);
вісь $y$: $N - mg = 0$, або $N = mg$ (2).
Сила тертя ковзання визначається за формулою: $F_{\text{тер}} = \mu N$. Враховуючи формулу (2), можемо записати, що $F_{\text{тер}} = \mu mg$. Підставляючи цю формулу у рівність (1), отримуємо: $\mu mg = ma$ (3).
Згідно з формулами кінематики $2\vec{a}\vec{s} = \vec{v}^2 - \vec{v}_0^2$. Оскільки рух рівносповільнений і у момент зупинки кінцева швидкість $v = 0$, то у проєкціях $-2as = -v_0^2$, звідки $a = \dfrac{v_0^2}{2s}$.

Підставляємо цей вираз у формулу (3): $\mu mg = m\dfrac{v_0^2}{2s}$, звідки $s = \dfrac{v_0^2}{2\mu g}$.

Як бачимо, довжина гальмівного шляху не залежить від маси рухомого тіла, а визначається його початковою швидкістю та коефіцієнтом тертя.

При $\mu = 0{,}7$: $s = \dfrac{100\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}}{2 \cdot 0{,}7 \cdot 9{,}8\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} \approx 7$ м — велосипедист встигає зупинитися до перешкоди.

При $\mu = 0{,}4$: $s = \dfrac{100\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}}{2 \cdot 0{,}4 \cdot 9{,}8\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} \approx 13$ м — гальмівний шлях більший за відстань до перешкоди.

При $v_0 = 20\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$ та $\mu = 0{,}7$: $s = \dfrac{400\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}}{2 \cdot 0{,}7 \cdot 9{,}8\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} \approx 29$ м — гальмівний шлях збільшується у 4 рази.

**Відповідь:** 7 м; 13 м; 29 м.

## РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

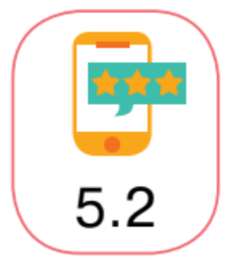
1 Через який час після аварійного гальмування зупиниться автобус, що рухається з швидкістю 12 м/с, якщо коефіцієнт тертя дорівнює 0,4?

2 Тролейбус, маса якого 10 т, рушаючи з місця, на шляху 50 м набирає швидкість 10 м/с. Визнач коефіцієнт опору, якщо сила тяги дорівнює 14 кН.

3 Пружину одним кінцем прикріплено до бруска масою 0,6 кг, який розміщено на гладкому горизонтальному столі. Вільний кінець пружини почали переміщувати прямолінійно вздовж стола з прискоренням 0,2 м/с$^2$. Визнач жорсткість пружини, якщо вона розтягнулася на 2 см. Масою пружини знехтувати.

4 По горизонтальній дорозі тягнуть за мотузок під кутом 30° вантаж, загальна маса якого 80 кг. Сила натягу 50 Н. Визнач коефіцієнт тертя ковзання, якщо вантаж рухається з прискоренням 0,15 м/с$^2$.

5 Виконай завдання за симуляцією 5.1. в е-додатку .


5.2

# § 6. ДІЗНАЄМОСЯ ПРО ІМПУЛЬС ТІЛА ТА ЗАКОН ЗБЕРЕЖЕННЯ ІМПУЛЬСУ



О, будемо вчити імпульс! Це щось про поштовх, спонукання до дії, імпульсивні дії.
«Between stimulus and response there is a space. In that space is our power to choose our response. In our response lies our growth and our freedom.» — Viktor E. Frankl



Хоча корінне значення терміна *імпульс* пов'язане з поштовхом або рухом, у фізиці воно набуває точного кількісного визначення.

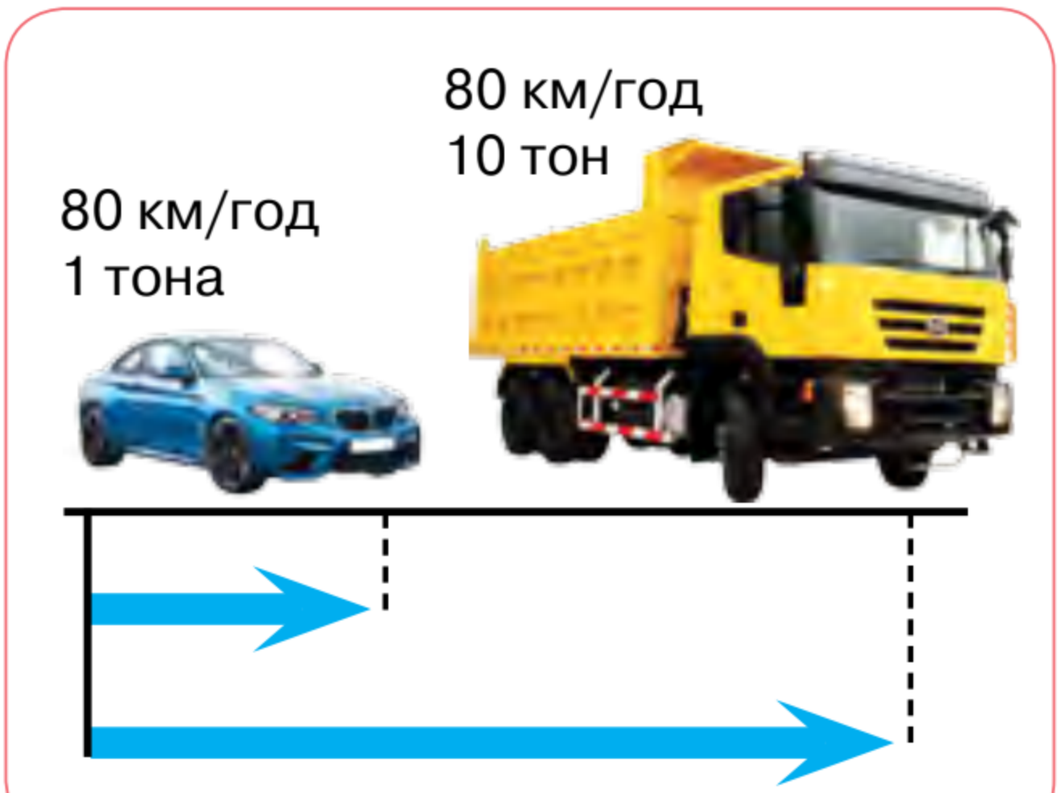
## ДОСЛІДЖУЙ

Як ти вважаєш, яку кулю легше зупинити: тенісний м'яч, що летить зі швидкістю 5 м/с, чи кулю для боулінгу, що рухається з такою самою швидкістю? Який автомобіль швидше зупиниться: той, що рухається зі швидкістю 20 км/год, чи такий самий, але швидкість якого 100 км/год?

Змоделюй подібні ситуації, щоб перевірити свої припущення на практиці.

## ДІЗНАВАЙСЯ

***Дізнаємося, що таке імпульс тіла та імпульс сили.*** Важливими характеристиками руху тіла є його маса і швидкість, зміну якої характеризує прискорення. Тіла однієї й тієї самої маси, що мають різні швидкості, рухаються по-різному. Маленька піщинка, що з прискоренням вільного падіння осідає на руку, майже не відчутна. Ця сама піщинка, приведена в рух ураганом, досить відчутна.



Мал. 6.1

Аналогічно по-різному рухаються й тіла, що мають однакові швидкості, але різні маси. Так, наприклад, легковий і вантажний автомобілі, що рухаються з однаковими швидкостями, матимуть різний гальмівний шлях (мал. 6.1).

Такі принципові відмінності в русі тіл зумовлено наявністю, крім маси та швидкості, ще однієї важливої характеристики руху, яку у фізиці називають *імпульсом тіла*. Термін «імпульс» походить від лат. *impulsus*, що означає «поштовх».

Запишемо другий закон Ньютона $\vec{F} = m\vec{a}$ в іншому вигляді. За визначенням прискорення, $\vec{a} = \dfrac{\vec{v} - \vec{v}_0}{t}$, де $\vec{v} - \vec{v}_0$ — зміна швидкості; $t$ — час, за який ця зміна відбувається, а отже, і час дії сили. Підставимо цей вираз у формулу закону й отримаємо: $\vec{F}t = m\vec{v} - m\vec{v}_0$. Добуток $m\vec{v}$ називають *імпульсом тіла*, або кількістю руху $\vec{p}$ (так називав цю величину І. Ньютон), а добуток $\vec{F}t$ — *імпульсом сили*.

Одиниця імпульсу тіла — кілограм на метр за секунду, 1 кг · м/с.

Одиниця імпульсу сили — ньютон-секунда, 1 Н · с.

**Імпульс тіла** (*Momentum*) — це фізична величина, що характеризує механічний рух і дорівнює добутку маси тіла $m$ на його швидкість $\vec{v}$: $\vec{p} = m\vec{v}$.

Отже, через поняття імпульсу другий закон Ньютона записують так:

$\vec{F}t = \vec{p} - \vec{p}_0$, або $\vec{F}t = \Delta\vec{p}$ — зміна кількості руху тіла дорівнює імпульсу всіх сил, що на нього діють.

**Імпульсом сили** (*Impulse*) називають добуток середнього значення сили $F$ за певний інтервал часу та тривалості цього інтервалу $t$. Позначається $\vec{F}t$.

Саме у такому вигляді був сформульований самим І. Ньютоном другий закон динаміки.

Імпульс тіла та імпульс сили є векторними величинами. Вектор імпульсу напрямлений так само, як і вектор швидкості руху тіла, а вектор імпульсу сили — так, як вектор сили.

Як видно з формули $\vec{F}t = m\vec{v} - m\vec{v}_0$, імпульс сили — це фізична величина, яка одночасно враховує вплив модуля, напряму і часу дії сили на зміну стану руху тіла. А це означає, що:

- одна і та сама сила протягом одного і того самого інтервалу часу викликає у будь-якого тіла однакову зміну імпульсу;
- одна і та сама сила, що діє протягом одного і того самого інтервалу часу, викликає у тіл різної маси різну зміну швидкості;
- однакові наслідки взаємодії можуть бути отримані у разі, коли на тіло діє незначна сила, але протягом тривалого часу, і у разі, якщо велика сила діє короткочасно.

Останній висновок широко використовується і враховується в техніці та побуті. Так, правила роботи на баштових кранах забороняють піднімати великі вантажі ривком, оскільки для зміни імпульсу вантажу за дуже короткий час слід прикласти дуже велику силу, яка може перевищити міцність тросів. Так само пояснюється обривання гички буряка чи моркви, якщо спробувати різко смикнути їх. Для «пом'якшення удару» при гальмуванні на різних видах транспорту застосовують ресори та амортизатори — пристрої, за допомогою яких збільшується час гальмування, і таким чином зменшується сила удару.

***Закон збереження імпульсу.*** У природі всі тіла взаємодіють між собою. Проте взаємодія з деякими тілами настільки незначна, що її можна не враховувати. Для цього у фізиці використовують поняття ізольованої, або замкненої системи тіл.

Сили, з якими тіла взаємодіють усередині замкненої системи, називають внутрішніми. Тож можна стверджувати, що на замкнену систему не діють зовнішні сили.

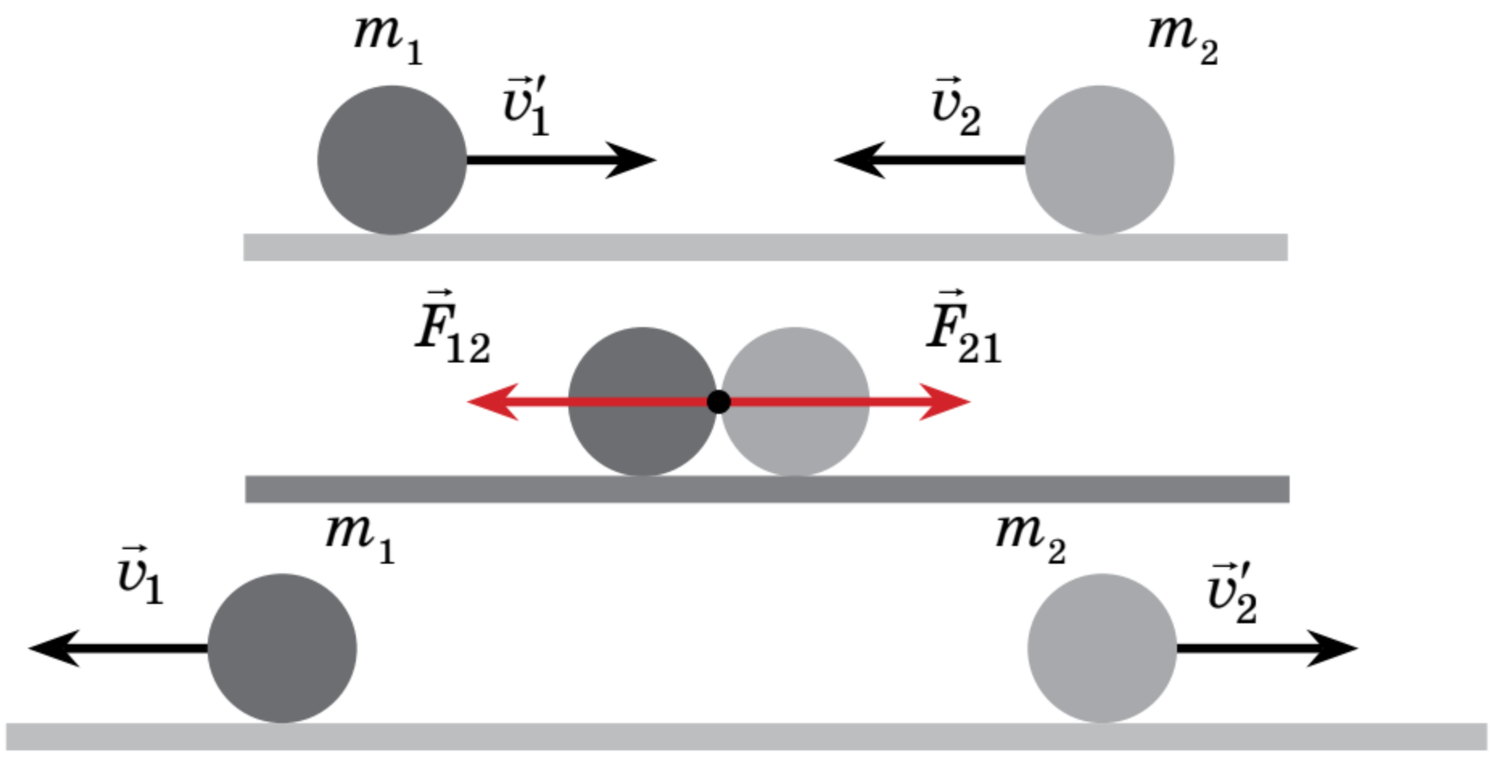
**Замкнена (ізольована) система** — це система тіл, які взаємодіють лише між собою і не взаємодіють з тілами, що не входять до цієї системи.

Розглянемо замкнену систему (мал. 6.2, с. 38), що містить два тіла масами $m_1$ та $m_2$, які у початковий момент часу у вибраній інерціальній системі відліку мали швидкості $\vec{v}_1$ і $\vec{v}_2$.

Через деякий час їх швидкості внаслідок взаємодії змінилися до $\vec{v}_1'$ та $\vec{v}_2'$. За третім законом Ньютона тіла взаємодіють з силами, рівними за модулем і протилежними за напрямом: $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$. Виразимо ці сили за другим законом Ньютона, записавши його через імпульси:

$\vec{F}_{12} = m_1 \dfrac{\vec{v}_1' - \vec{v}_1}{t}$, $\vec{F}_{21} = m_2 \dfrac{\vec{v}_2' - \vec{v}_2}{t}$. Тоді $\dfrac{m_1\vec{v}_1' - m_1\vec{v}_1}{t} = -\dfrac{m_2\vec{v}_2' - m_2\vec{v}_2}{t}$.

Якщо записати імпульси тіл до взаємодії з одного боку рівності, а після взаємодії — з іншого, то отримаємо вираз, який називають *законом збереження імпульсу*.




Мал. 6.2

Виконання закону збереження імпульсу ми показали на прикладі системи, що складається з двох взаємодіючих тіл. Закон виконується і для ізольованої системи з довільною кількістю тіл. Зазначимо, що закон збереження імпульсу можна застосовувати і для неізольованих систем за умови, що сума імпульсів зовнішніх сил дорівнює нулю.

**Закон збереження імпульсу:** геометрична сума імпульсів тіл, які утворюють замкнену систему, залишається сталою під час будь-яких рухів і взаємодій тіл системи: $m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2 = m_1\vec{v}_1' + m_2\vec{v}_2'$.

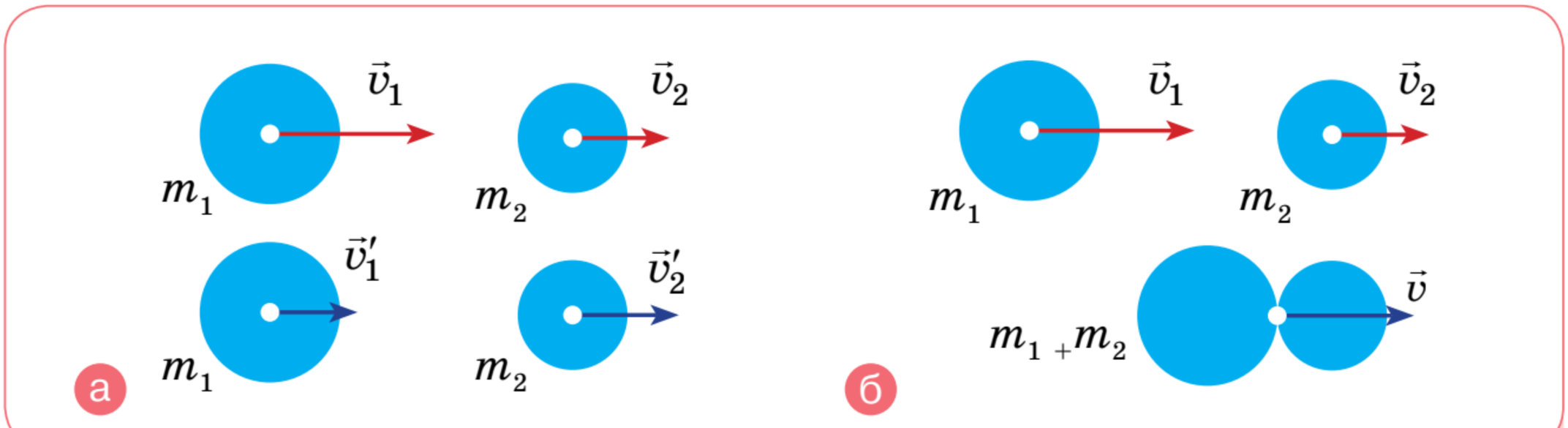
6.1

Ми отримали закон збереження імпульсу, виходячи із законів Ньютона, але слід наголосити, що закон збереження імпульсу не є наслідком законів Ньютона. Це — *самостійний фундаментальний закон природи*. А це означає, що він виконується для тіл макро- і мікросвіту. Згідно з цим законом, що б ні відбувалося у замкненій системі (співудари, вибухи, хімічні реакції тощо), імпульс системи тіл залишається незмінним. Це надає можливості аналізувати рух тіл системи навіть у тих випадках, коли внутрішні сили невідомі.

***Пружна і непружна взаємодія.*** Одним із прикладів прояву закону збереження імпульсу є удар. Під ударом розуміють таку взаємодію тіл, яка здійснюється миттєво. Як правило, під час удару взаємодія відбувається через сили пружності, які виникають у тілах внаслідок їх деформації під час стискання. Якщо після удару розміри і форма взаємодіючих тіл повністю відновлюються, то такий удар називають *абсолютно пружним*.

У природі спостерігаються також взаємодії, які називають *непружними*. У випадку абсолютно непружного удару утворюється нове тіло, маса якого дорівнює сумі мас взаємодіючих тіл.

За малюнком 6.3 опиши випадки пружної (а) і непружної (б) взаємодій.




Мал. 6.3

**ДУМАЙ**

**1.** Що таке імпульс тіла та імпульс сили? Який між ними зв'язок? **2.** Як залежить зміна імпульсу тіла від значення сили і часу її дії? **3.** Як записується II закон Ньютона в імпульсній формі? **4.** Що таке зовнішні і внутрішні сили системи тіл? **5.** У чому суть закону збереження імпульсу?

**ДІЙ**

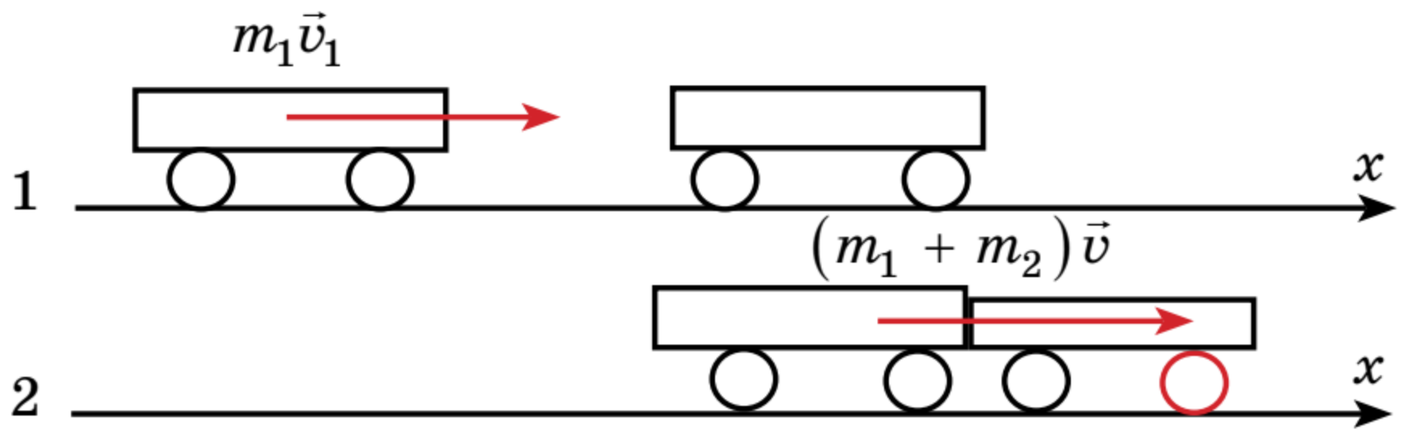
## УЧИСЬ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ЗАДАЧІ

**Задача 1.** Вагон масою 30 т рухається зі швидкістю 4 м/с і стикається з нерухомою платформою масою 10 т. Визнач швидкість вагона і платформи після того, як спрацює автозчеплення.

**Дано:**
$v_1 = 4$ м/с
$m_1 = 30$ т
$m_2 = 10$ т

$v$ — ?

**Розв'язання:**
За умовою задачі відбувається непружна взаємодія, оскільки тіла після зіткнення рухаються як одне тіло (мал. 6.4). Систему можна вважати замкненою, оскільки сили тяжіння, що діють на вагон і платформу, компенсуються силами реакції опори.




Мал. 6.4

Рівняння закону збереження імпульсу у випадку такої непружної взаємодії має вигляд: $m_1\vec{v}_1 + 0 = (m_1 + m_2)\cdot\vec{v}$, $(v_2 = 0)$.
У проєкції на вісь $x$: $m_1v_1 = (m_1 + m_2)\cdot v$.

Звідси $v = \dfrac{m_1v_1}{m_1 + m_2}$, $v = \dfrac{30\cdot10^3\ \text{кг}\cdot 4\ \frac{\text{м}}{\text{с}}}{30\cdot10^3\ \text{кг} + 10\cdot10^3\ \text{кг}} = 0,75\ \dfrac{\text{м}}{\text{с}}$.

**Відповідь:** 0,75 м/с.

**Задача 2.** Граната, що летить зі швидкістю 20 м/с, розривається на два уламки масами 1,2 кг і 1,8 кг. Більший уламок продовжує рухатися в тому самому напрямі зі швидкістю 50 м/с. Визнач швидкість меншого уламка.

**Дано:**
$v = 20$ м/с
$v_1 = 50$ м/с
$m_1 = 1,8$ кг
$m_2 = 1,2$ кг

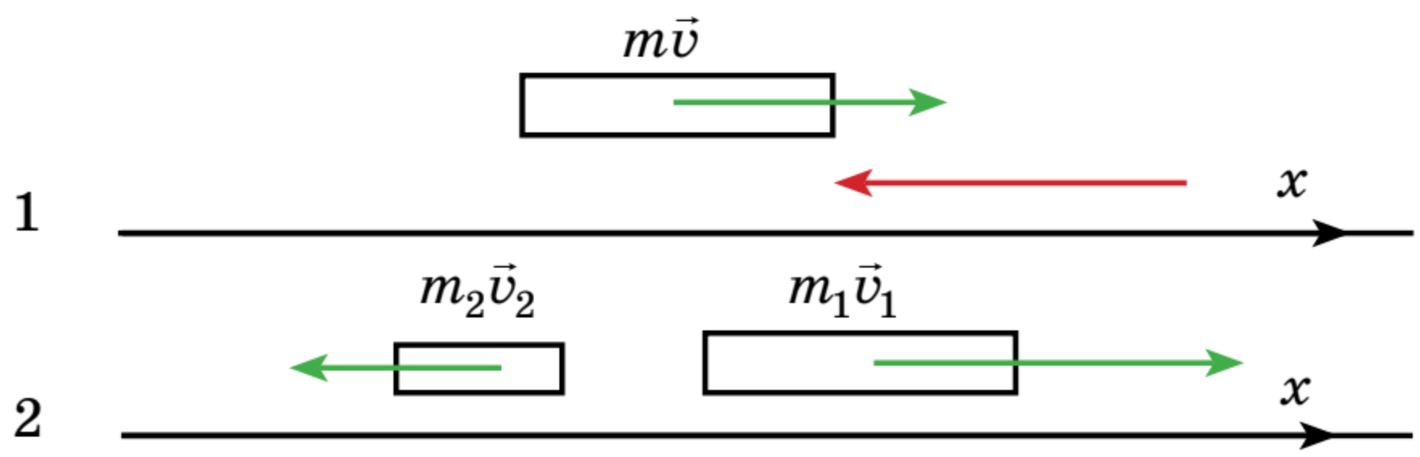
$v_2$ — ?

**Розв'язання:**

Повний імпульс гранати дорівнює $(m_1 + m_2)\vec{v}$, після розриву гранати її імпульс став $m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2$.

За законом збереження імпульсу:
$(m_1 + m_2)\vec{v} = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2$.

Виберемо додатний напрям осі $x$ вздовж руху більшого уламка (мал. 6.5). Оскільки напрям руху меншого уламка невідомий, то припустимо, що після розриву гранати він рухається в протилежному напрямі від більшого уламка.




Мал. 6.5

Запишемо рівняння з урахуванням проєкції векторів швидкості на ординатну вісь: $(m_1 + m_2)v = m_1v_1 - m_2v_2$. Звідси $v_2 = \dfrac{m_1v_1 - (m_1 + m_2)v}{m_2}$,

$v_2 = \dfrac{1,8\ \text{кг}\cdot 50\ \frac{\text{м}}{\text{с}} - (1,8\ \text{кг} + 1,2\ \text{кг})\cdot 20\ \frac{\text{м}}{\text{с}}}{1,2\ \text{кг}} = 25\ \dfrac{\text{м}}{\text{с}}$.

Отримано додатне число. Це вказує на те, що швидкість меншого уламку дійсно напрямлена протилежно до напряму руху більшого уламка.

**Відповідь:** 25 м/с.

## РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

**1** Рух матеріальної точки описується рівнянням $x = 5 - 8t + 4t^2$. Вважаючи, що маса точки дорівнює 2 кг, визнач імпульс через 2 с і через 4 с після початку відліку часу.

**2** Два непружні тіла масою 2 кг і 6 кг рухаються назустріч одне одному зі швидкістю 2 м/с кожне. З якою швидкістю і в який бік рухатимуться ці тіла після удару?

**3** На вагонетку масою 800 кг, яка котиться по горизонтальній колії зі швидкістю 0,2 м/с, насипали 200 кг щебеню. На скільки при цьому зменшилася швидкість вагонетки?

**4** Вагон масою 20 т, рухаючись зі швидкістю 0,3 м/с, наздоганяє вагон масою 30 т, що рухається зі швидкістю 0,2 м/с. Якою стане швидкість вагонів після взаємодії, якщо удар непружний?

**5** Під час запуску моделі ракети масою 250 г з неї вийшло майже миттєво 50 г стиснутого повітря зі швидкістю 2 м/с. Визнач швидкість, із якою рухатиметься ракета.

**6** Куля вилітає з рушниці в горизонтальному напрямі зі швидкістю 800 м/с. Яка швидкість рушниці при віддачі, якщо її маса в 400 разів більша за масу кулі?

**7** Вантажівка масою 4000 кг, що рухається зі швидкістю 36 км/год, вдаряється у легковий автомобіль масою 1000 кг, що стоїть перед світлофором. Тривалість удару — 0,2 с. Яких прискорень вони набувають у результаті аварії? Яка частина кінетичної енергії вантажівки витрачається на деформацію автомобіля?

**8** Виконай завдання за симуляціями 6.2, 6.3 .

## ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

**Виконуй досліди з дотриманням правил безпеки життєдіяльності!**

**1** Досліди залежність імпульсу тіла від маси та швидкості.

*Обладнання*: візок або брусок, лінійка, тягарці для зміни маси, секундомір, динамометр або пружна стрічка, гладка поверхня (можна лінійка з жолобом).

1. Постав візок на горизонтальну поверхню. Придай йому рух (наприклад, штовхни або використай пружину).
2. Виміряй швидкість візка (за часом проходження певної відстані).
3. Визнач масу візка (з гирями чи без).
4. Обчисли імпульс тіла: $p = mv$.
5. Повтори дослід зі збільшеною масою і зафіксуй новий імпульс.

*Аналіз та висновки:*

1. Як змінюється імпульс при збільшенні маси?
2. Як залежить імпульс від швидкості?

3. Як можна пояснити зміну руху при ударі тіл?
4. Уяви ситуацію з повсякденного життя, де імпульс відіграє важливу роль (наприклад, футбол, автомобільне гальмування, бокс). Поясни, як у цій ситуації допомагають знання про імпульс.

2 Виконай віртуальну лабораторну роботу 6.4 .

## ОПРАЦЮЙ ІНФОРМАЦІЮ

Дізнайся із додаткових джерел про реактивний рух. Наведи щонайменше три приклади використання реактивного руху в сучасній техніці та поясни його роль у кожному випадку. Яка роль належить Україні у розробленні космічних апаратів? Чи бере Україна участь у сучасних міжнародних космічних проєктах або має власні супутники на орбіті? Наведи приклади. Чи зустрічається реактивний рух у живій природі? Наведи 1–2 приклади організмів.

6.5

# § 7. ДОСЛІДЖУЄМО МЕХАНІЧНУ РОБОТУ Й ЕНЕРГІЮ



Цікавий виходить у нас ланцюжок досліджень механічного руху. Рух існує сам по собі. Якщо сили скомпенсовано, то рух буде прямолінійним і рівномірним. Якщо діють сили — то тіло змінює швидкість, набуває прискорення. Імпульс тіла характеризує, наскільки «важко» змінити його швидкість. А що ж тоді характеризує енергія?

## ДОСЛІДЖУЙ

### Які об’єкти могли «запускати рух» інших?

1 Поклади м’яч на підлогу. Іншим м’ячем штовхни його. Що сталося з першим м’ячем? Як другий м’яч вплинув на нього?

2 Зігни злегка один край пластмасової лінійки. Поклади на нього гумку і відпусти край лінійки. Що змусило гумку летіти? Що зробила лінійка?

3 Заведи пружинну машинку і відпусти. Звідки вона «взяла силу» на рух?

4 Поклади на дошку під нахилом кульку. Відпусти її. Чому кулька почала котитися?

## ДІЗНАВАЙСЯ

***Дізнаємося про механічну енергію.*** У XVII–XIX століттях вчені далі більше досліджували рух, силу, теплоту, пружність тощо і помітили дещо важливе. Потрібно було пояснити, як діють машини і механізми. Млини, важелі, годинники, парові двигуни — усе це перетворювало один вид «сили» на інший. Наприклад: підняття вантажу → обертання колеса, теплота → рух поршня.

Але сила зникала, змінювалася, передавалася — і треба було ввести поняття, яке об'єднувало б рух і положення, а не тільки силу. Потрібно було єдине поняття для рухомих тіл, піднятих тіл і пружних. Так виникло поняття *енергія* — універсальна величина, яка відображує здатність тіла виконувати роботу, як загальна характеристика стану тіла або системи.

Механічна енергія має такі види.

**МЕХАНІЧНА ЕНЕРГІЯ**
характеризує здатність тіла виконувати роботу:
$E = E_к + E_п$, Дж

**КІНЕТИЧНА ЕНЕРГІЯ**
енергія рухомих тіл:
$$E_к = \frac{mv^2}{2}$$

**ПОТЕНЦІАЛЬНА ЕНЕРГІЯ**
енергія можливості

Потенціальна енергія тіла, що знаходиться на деякій висоті:
$E_п = mgh$

Потенціальна енергія пружно деформованого тіла:
$$E_п = \frac{kx^2}{2}$$

Одиниця механічної енергії (як кінетичної, так і потенціальної) в системі СІ — 1 Дж (джоуль).

Суму кінетичної та потенціальної енергій тіла називають *повною механічною енергією тіла*: $E = E_к + E_п$.

***Дізнаємося про закон збереження і перетворення енергії.*** Кінетична і потенціальна енергії тіл з часом можуть змінюватися, але в замкненій системі їх сума залишається сталою. Розглянемо перетворення енергії у замкненій системі, у якій тіла взаємодіють одне з одним силами пружності або (та) силами тяжіння, і ніякі зовнішні сили на них не діють. Така система може мати як кінетичну, так і потенціальну енергію. Кінетичну — внаслідок руху тіл системи, потенціальну — внаслідок їх взаємодії.

Як ми вже з'ясували, за будь-яких взаємодій тіл робота сил пружності (тяжіння) визначається зміною їх потенціальної енергії, взятої з протилежним знаком: $A = -(E_{п_2} - E_{п_1})$.

Разом з тим робота тих самих сил визначається зміною їх кінетичної енергії: $A = E_{п_2} - E_{п_1}$. Прирівнюючи ці вирази, отримаємо: $-(E_{п_2} - E_{п_1}) = E_{п_2} - E_{п_1}$ або: $E_{п_1} + E_{п_1} = E_{п_2} + E_{п_2}$. Цей вираз є математичним рівнянням закону збереження повної механічної енергії.

Формулюючи цей закон, завжди підкреслюють, що *він справджується лише тоді, коли тіла взаємодіють силами пружності або (та) тяжіння без дії сторонніх сил*.

**Закон збереження і перетворення повної механічної енергії:** повна механічна енергія замкненої системи тіл, які взаємодіють силами тяжіння або (та) пружності, залишається незмінною за будь-яких взаємодій тіл.

***Дізнаємося про механічну роботу і потужність.*** Для пояснення роботи машин і механізмів застосовують ще терміни *механічна робота* і *потужність*.

З повсякденного життя ти знаєш, що роботу виконують найрізноманітніші машини і механізми, а також людина за допомогою своїх м'язів. Робота зводиться до надання руху навколишнім тілам, підтримки або зупинки рухомого тіла. Такі зміни механічного руху відбуваються в результаті взаємодії тіл. Тож якщо до тіла прикладено певну силу і воно переміщується під її дією, то сила виконує механічну роботу.

*Механічною роботою*, або роботою сили $A$ називають фізичну величину, що характеризує дію сили протягом певного переміщення і яка визначається добутком сили $\vec{F}$ і переміщення $\vec{s}$ та косинусом кута $\alpha$ між векторами сили і переміщення: $A = Fs\cos\alpha$.

Робота — величина скалярна. Одиниця роботи — джоуль, $1\ Дж = 1\ Н \cdot м$.

Часто використовують несистемну одиницю роботи кВт · год, $1\ кВт \cdot год = 3{,}6 \cdot 10^6\ Дж$.

З формули $A = Fs\cos\alpha$ випливає, що значення роботи може бути додатним, від'ємним або дорівнювати нулю — залежно від того, який кут між напрямами сили і переміщення, а саме: $A > 0$, якщо $\alpha < 0$; $A = 0$, якщо $\alpha = 90^\circ$; $A < 0$, якщо $\alpha > 90^\circ$.

Наприклад, під час рівномірного підняття вантажу за допомогою підйомного крана на вантаж діють сила натягу тросу, напрямлена вгору (у напрямі руху вантажу), і сила тяжіння, напрямлена вниз (проти руху вантажу). У такому випадку робота сили натягу додатна, а робота сили тяжіння — від'ємна. Оскільки рух вантажу рівномірний, то сили рівні за модулем. Роботи сил рівні за модулем і протилежні за знаком (а не за напрямом, оскільки робота — величина скалярна).

У випадку рівномірного руху тіла по колу робота сили, що зумовлює такий рух, дорівнює нулю, оскільки вектор швидкості (а отже, і переміщення) напрямлений перпендикулярно до напряму дії сили. Наприклад, при обертанні тіла, закріпленого на мотузці, сила натягу мотузки не виконує роботу, хоча саме вона змушує тіло так рухатися. Не виконує роботу і сила всесвітнього тяжіння, під дією якої обертаються штучні супутники Землі.

Від'ємну роботу виконують, наприклад, сили тертя. Якщо тіла зміщуються одне відносно іншого, то сила тертя завжди напрямлена протилежно до напряму переміщення кожного тіла.

Якщо на тіло одночасно діють кілька сил, вони виконують роботу також одночасно. У такому випадку $F$ у формулі для роботи означає *модуль рівнодійної всіх сил*.

Розглянемо випадок, коли напрями дії сили і переміщення однакові. Робота сили у цьому випадку обчислюється за формулою: $A = Fs$. Силу можна визначити за другим закон Ньютона: $F = ma$, а переміщення — за формулами кінематики: $s = \frac{v^2 - v_0^2}{2a}$, де $v$, $v_0$ — модулі векторів швидкості на початку та в кінці ділянки $s$. Таким чином, $A = ma\frac{v^2 - v_0^2}{2a} = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2}$. Тобто робота сили (рівнодійної сил) дорівнює зміні кінетичної енергії тіла.

Зв'язок механічної енергії і роботи видно ще й в тому, що ці величини вимірюються в однакових одиницях. Тому висновок про те, що механічна робота виконується за рахунок зміни енергії, справджується і для потенціальної енергії.

Швидкість виконання роботи характеризується такою величиною, як *потужність*.

**Потужність ($N$)** — скалярна фізична величина, яка дорівнює роботі $A$, виконаній за одиницю часу $t$: $N = \frac{A}{t}$.

Одиницею потужності є ват, $1\ \text{Вт} = 1\ \frac{\text{Дж}}{\text{с}}$ (Потужність раніше вимірювали кінськими силами, $1\ \text{к. с.} = 735\ \text{Вт}$.)

**ДУМАЙ**

**1.** Що таке повна механічна енергія тіла чи системи тіл? **2.** Чи можуть кінетична і потенціальна енергії тіла бути від'ємними? **3.** Що спільного у виразах для роботи сили пружності і роботи сили тяжіння? Що спільного в потенціальних енергіях тіла, на яке діє сила тяжіння, і тіла, на яке діє сила пружності? **4.** Автомобіль руха-

ється рівною дорогою. Чи здійснює роботу сила тяжіння, що діє на автомобіль? **5.** Тіло кинуто вертикально вгору. Визнач, додатну чи від'ємну роботу виконує сила тяжіння: а) під час підняття тіла; б) під час його падіння.

## ДІЙ

## УЧИСЬ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ЗАДАЧІ

**Задача 1.** Під час пострілу з пружинного пістолета вертикально вгору куля масою 20 г піднялася на висоту 5 м. Знайди жорсткість пружини пістолета, якщо вона була стиснута на 10 см. Масою пружини знехтувати.

**Дано:**

$m = 2 \cdot 10^{-2}$ кг
$v_0 = 0$
$h = 5$ м
$x = 0{,}1$ м

$k$ — ?

**Розв'язання:**

Система куля–Земля є замкненою, де діють сила тяжіння і сила пружності, тому для неї виконується закон збереження повної механічної енергії: $E_{к_1} + E_{к_1} = E_{к_2} + E_{к_2}$. Оскільки у початковому і кінцевому станах куля перебуває у стані спокою, то $E_{к_1} = E_{к_2} = 0$.

Потенціальна енергія системи у початковому стані дорівнює потенціальній енергії стисненої пружини, а в кінцевому — потенціальній енергії кулі на висоті $h$.

$E_{п_1} = E_{п_2}$ або $\frac{kx^2}{2} = mgh$. Звідки: $k = \frac{2mgh}{x^2}$,

$$k = \frac{2 \cdot 2 \cdot 10^{-2}\ \text{кг} \cdot 9{,}8\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2} \cdot 5\ \text{м}}{(0{,}1)^2\ \text{м}^2} = 196\ \frac{\text{Н}}{\text{м}}.$$

**Відповідь:** 196 Н/м.

## РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

1 На яку відстань дівчинка перемістила санки, прикладаючи до мотузки санок силу 23 Н під кутом 30° до напряму руху і виконавши роботу 1,2 кДж?

2 Шофер вимкнув двигун автомобіля на швидкості 72 км/год. Пройшовши відстань 34 м, автомобіль зупинився. Якою була кінетична енергія автомобіля у момент вимкнення двигуна, якщо сила тертя коліс об дорогу 5880 Н? Яка маса автомобіля?

3 Яку роботу виконує сила тертя, коли автомобіль масою 1000 кг, що мав швидкість 90 км/год, гальмує до швидкості 54 км/год?

4 Яку роботу виконує людина, піднімаючи тіло масою 2 кг на висоту 1 м з прискоренням 3 м/с²?

5 Яку роботу треба виконати, щоб розтягнути пружину, жорсткість якої 40 кН/м, на 0,5 см?

6 Куля масою 3 кг падає з висоти 3 м на пружину і стискає її. Визнач максимальний стиск пружини, якщо її жорсткість 700 Н/м. Масою пружини знехтувати.

7 М'яч підкинули з висоти 1,5 м вертикально вгору зі швидкістю 3 м/с. На якій висоті від землі кінетична енергія м'яча дорівнюватиме потенціальній?

8 Виконай завдання за симуляцією 7.1 .

## ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

**Виконуй досліди з дотриманням правил безпеки життєдіяльності!**

### Візьми участь у груповій роботі

1 Перевірте експериментально закон збереження механічної енергії в системі тіло–Земля на прикладі руху кульки похилим жолобом.

*Обладнання*: кулька (металева або пластикова), жолоб (або дошка під кутом), лінійка або рулетка, секундомір (або відеозйомка з розрахунком швидкості), терези (для визначення маси кульки).

1. Виміряйте висоту $h$ початкового положення кульки на жолобі.
2. Визначте масу кульки $m$.
3. Відпустіть кульку без поштовху, дозвольте їй самостійно скотитися.
4. Виміряйте час $t$, за який вона проходить певну горизонтальну ділянку.
5. Обчисліть швидкість $v$ в нижній точці: $v = \frac{s}{t}$, де $s$ — пройдена відстань.
6. Обчисліть потенціальну енергію на вершині та кінетичну внизу.
7. Порівняйте значення.
8. Зробіть висновок. Чому значення не ідентичні? Що могло вплинути на результат?

2 Виконай віртуальну лабораторну роботу 7.2 .

## ОПРАЦЮЙ ІНФОРМАЦІЮ

Мехатроніка — це галузь інженерії, що поєднує механіку, електроніку, системи керування та програмування для створення керованих, адаптивних і інтелектуальних технічних систем. Простими словами: якщо механіка — це «тіло» системи, електроніка — її «нервова система», то комп'ютерний код — це її «мозок».

Мехатроніка є популярною та перспективною спеціальністю в багатьох закладах вищої освіти, зокрема і в Україні. Дізнайся на сайтах закладів вищої освіти, де є така спеціальність.

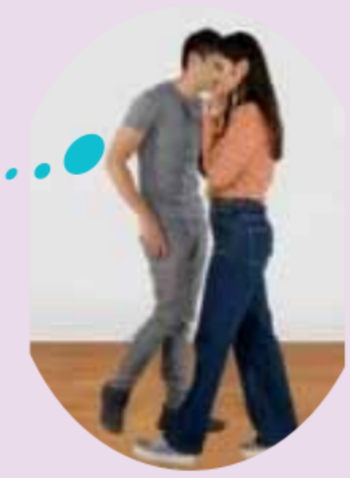
7.3

# § 8. ДОСЛІДЖУЄМО КОЛИВАЛЬНИЙ РУХ



Дарино, Вікторе, що ви ходите вперед і назад, як ті коливні тіла?

Чого це ми коливні тіла? Наші рухи прямолінійні. Хоча, можливо, ти і маєш рацію. Схоже, що коливальні. А чим характерні коливальні рухи?



## ДОСЛІДЖУЙ

Спробуй самостійно дібрати відповідні характеристики кожного виду механічного руху. Накресли цю таблицю в зошиті та запиши у кожній комірці номер твердження, яке відповідає тому чи іншому руху. Наведи приклади кожного виду руху.

| Характеристика | Прямолінійний рівномірний рух | Рівнозмінний прямолінійний рух | Коливальний рух | Рівномірний рух по колу |
|---|---|---|---|---|
| Траєкторія | | | | |
| Швидкість | | | | |
| Прискорення | | | | |
| Ключові величини | | | | |

1. Пряма лінія.
2. Коло.
3. Дуга або відрізок прямої.
4. Постійна за модулем (у разі рівномірного руху), але змінюється за напрямом.
5. Змінюється, досягаючи максимального значення в положенні рівноваги і нульового значення в крайніх точках.
6. Змінюється на однакову величину.
7. Постійна/постійне.
8. Відсутнє.
9. Змінна/змінне.
10. Шлях, переміщення, швидкість.
11. Швидкість, прискорення, переміщення.
12. Радіус, період, частота, лінійна та кутова швидкості.
13. Амплітуда, період, частота, циклічна частота.

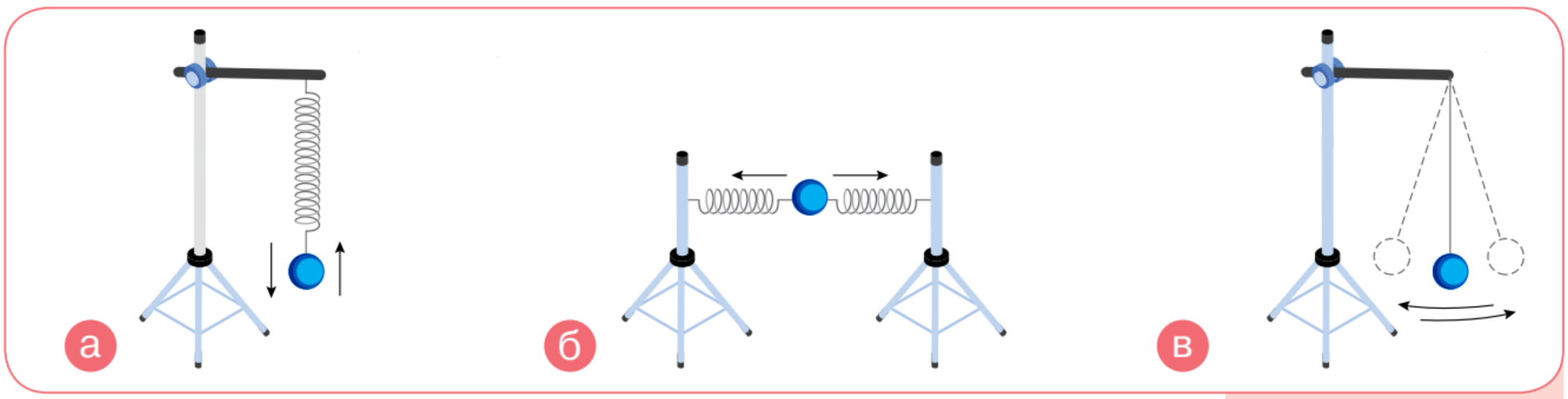
## ДІЗНАВАЙСЯ

***Дізнаємося про коливальний рух.*** Перевір себе, чи всі характеристики коливального руху обрано правильно. *Коливальний рух* — це рух, що повторюється через рівні проміжки часу.

8.1

Коливальні рухи оточують нас повсюди: серцебиття, вібрація голосових зв'язок під час розмови, робота поршнів у двигуні автомобіля, коливання земної кори під час землетрусів, коливання маятників.

Для коливальних рухів існують певні закономірності, які можна дослідити за допомогою *коливних систем* — маятників: пружинного вертикального (мал. 8.1, а), пружинного горизонтального (мал. 8.1, б) та нитяного (мал. 8.1, в).




Мал. 8.1

Траєкторія коливального руху, або коливань, залежить від його типу, але найчастіше це крива лінія або відрізок прямої, що повторюється. У випадку гойдалки або математичного маятника траєкторія є дугою кола або частиною кола. У випадку Дарини і Віктора або пружинного горизонтального маятника рух відбувається вперед-назад, і траєкторія є відрізком прямої.

У будь-якому випадку коливне тіло рухається навколо положення рівноваги. *Положення рівноваги* — це точка, у якій тіло перебуває в стані спокою, коли на нього не діють зовнішні сили. Максимальне відхилення тіла від положення рівноваги називають *амплітудою коливань*. Її позначають буквою $A$. Одиниця амплітуди — метр.

Час, за який коливне тіло проходить шлях від однієї крайньої точки до іншої і повертається назад, тобто проходить шлях у чотири амплітуди, або здійснює одне повне коливання називають *періодом коливань (Time period)*. Його позначають буквою $T$. $T = t/N$ одиниця періоду — секунда.

Частота і період коливань є обернено пропорційними величинами: $\nu = 1/T$.

*Частота коливань (Frequency)* — це кількість повних коливань за одиницю часу. Частоту коливань позначають буквою $\nu$. $\nu = N/t$ одиницею частоти є Герц (Гц) або $с^{-1}$.

***Дізнаємося про види коливань.*** Існує кілька видів коливань, які розрізняються за причинами їх виникнення та характером зміни їхніх характеристик з часом.

*Вільні коливання* (*власні коливання*) — це коливання, що виникають у системі після того, як її вивели зі стану рівноваги, і відбуваються під дією лише внутрішніх сил цієї системи (наприклад, сили пружності, сили тяжіння). Прикладом вільних коливань є коливання маятника, який відхилили і відпустили, або пружини з вантажем, яку розтягнули і відпустили. У реальних умовах через опір середовища вільні коливання завжди є згасаючими.

*Згасаючі коливання* — це коливання, амплітуда яких з часом зменшується. Зменшення амплітуди відбувається через розсіювання енергії системи, наприклад, через тертя або опір середовища.

*Незгасаючі коливання* — це коливання, амплітуда яких з часом не змінюється. Щоб коливання були незгасаючими, необхідно постійно поповнювати енергію системи ззовні. Прикладами можуть бути коливання годинникового маятника (де механізм постійно підтримує коливання) або вимушені коливання.

*Вимушені коливання* — це коливання, які відбуваються під дією періодичної зовнішньої сили, що постійно поповнює енергію системи. Частота вимушених коливань визначається частотою зовнішньої сили. Прикладом є коливання підвіски автомобіля під час його руху нерівною дорогою.

Під час вимушених коливань може настати резонанс, коли частота зовнішньої сили збігається з власною частотою системи, що призводить до значного збільшення амплітуди коливань.

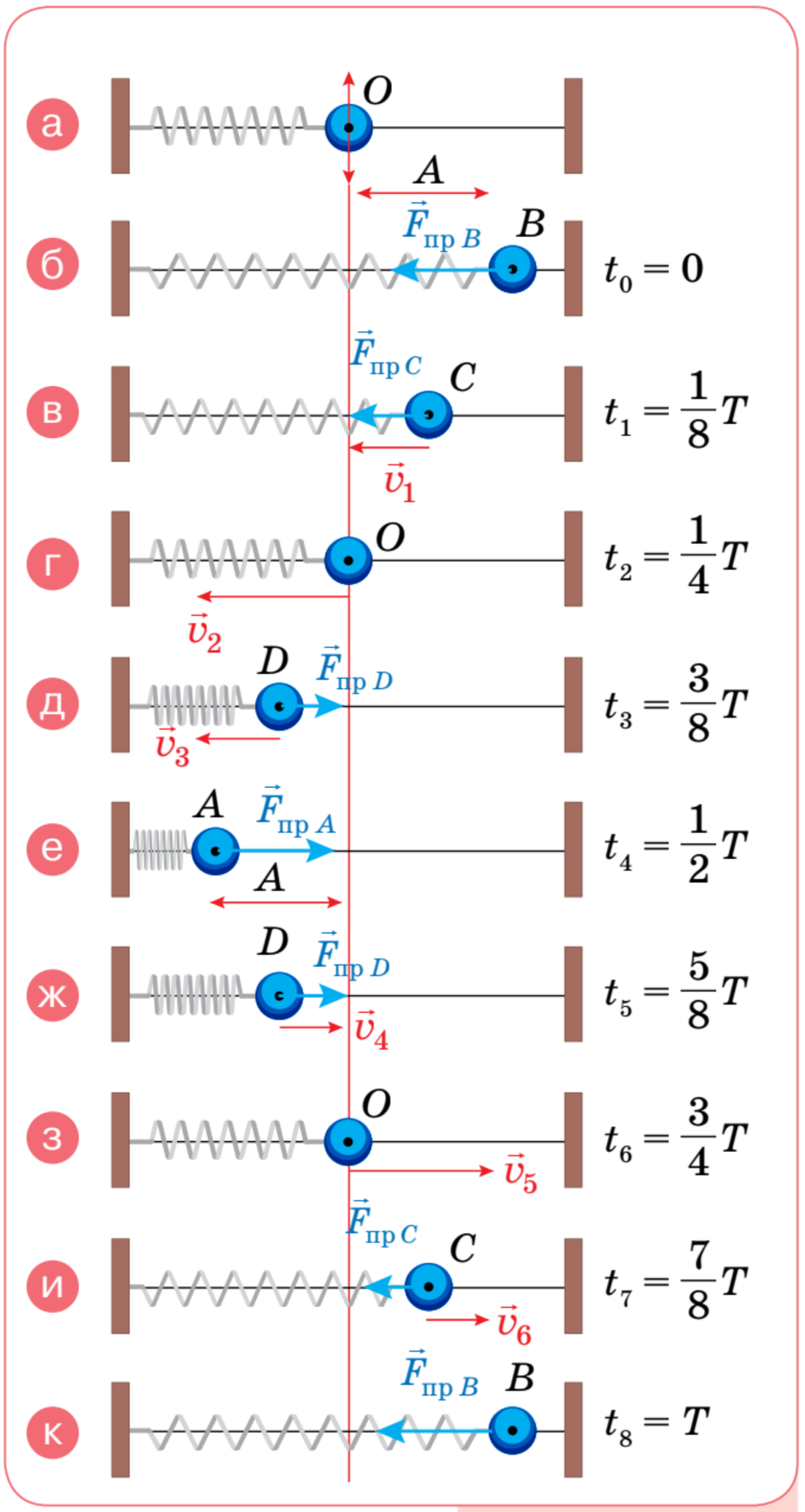
*Гармонічні коливання* — це найпростіший вид коливань, при яких зміщення коливної точки від положення рівноваги змінюється з часом за законом синуса або косинуса. Гармонічні коливання є ідеалізованою моделлю, але багато реальних коливань при малих амплітудах можна наближено вважати гармонічними.

Розуміння коливального руху є основою для вивчення таких важливих розділів фізики, як акустика, оптика та електродинаміка.

***Досліджуємо коливальний рух маятників.*** Розглянемо горизонтальний пружинний маятник. Коли на кульку у горизонтальному напрямі не діють зовнішні сили, то вона перебуває у стані рівноваги (мал. 8.2, а) (сила тяжіння, що діє на кульку у вертикальному напрямі, зрівноважується дією сили реакції стрижня). Щоб маятник почав рухатися, його необхідно вивести зі стану рівноваги.

Відведемо кульку у крайнє праве положення (мал. 8.2, б). При цьому згідно із законом Гука виникає сила пружності, яка діє на кульку і напрямлена до положення рівноваги.

Якщо відпустити кульку, то вона почне рухатися під дією сили пружності, її швидкість збільшуватиметься, а відхилення і сила пружності зменшуватимуться (мал. 8.2, в). У положенні рівноваги (мал. 8.2, г) пружина набуває своєї початкової форми, тобто сила пружності дорівнює нулю, і на кульку не діють сили (силу тяжіння і силу реакції стрижня, як і раніше, скомпенсовано). А як ти знаєш, якщо на тіло не діють сили або дію сил скомпенсовано, то тіло зберігає свою швидкість, тобто рухається за інерцією. Тому кулька не зупиняється в положенні рівноваги, а продовжує свій рух, стискаючи пружину (мал. 8.2, д). Виникає сила пружності, яка і в цьому разі буде напрямлена до положення рівноваги. Оскільки сила пружності напрямлена проти руху кульки, то вона її гальмуватиме, швидкість кульки зменшуватиметься, і в крайньому лівому положенні кулька зупиниться (мал. 8.2, е). Цей час відповідає половині періоду коливань. Проте, оскільки пружина максимально деформована, сила пружності зумовить рух кульки до положення рівноваги (мал. 8.2, ж). Її швидкість знову збільшуватиметься, проходячи положення рівноваги за інерцією, кулька розтягуватиме пружину, внаслідок чого виникне сила пружності, яка зупинить кульку у крайньому правому положенні. Маятник здійснив одне повне коливання.

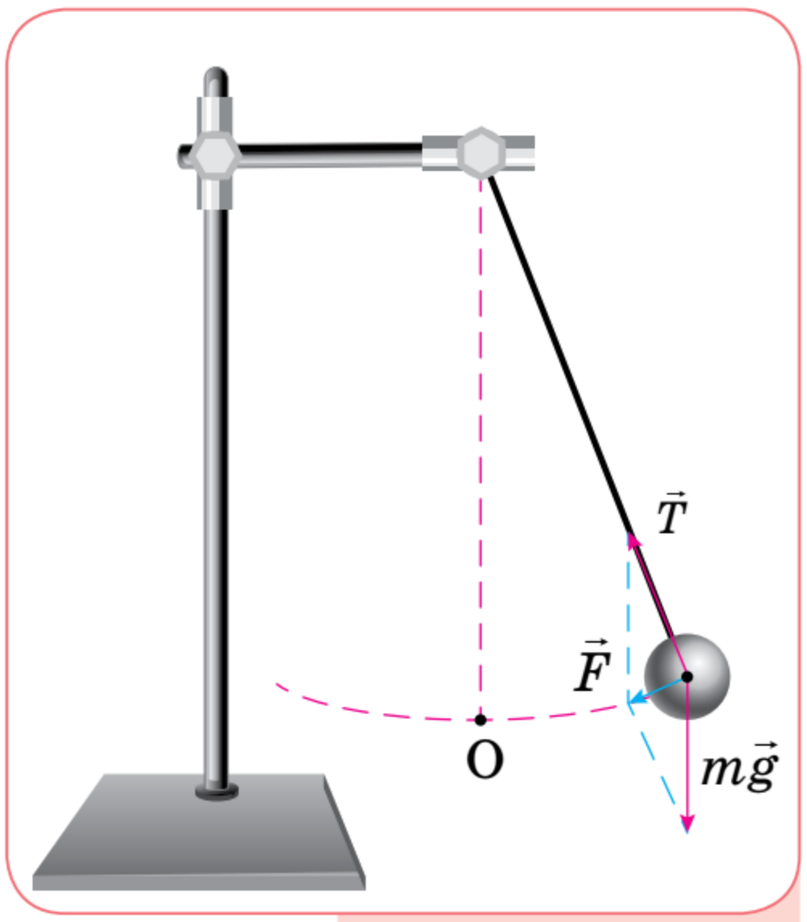


Мал. 8.2

Розглядаючи коливальний рух, ми бачимо, що кулька двічі проходить всі точки траєкторії руху (окрім двох крайніх) — один раз в одному напрямі, другий — у зворотному.

Період та частота коливань пружинного маятника залежить від маси тягарця та жорсткості пружини. Дану залежність можна виразити формулою: $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$.

Коливання математичного маятника (мал. 8.3) відбувається під дією двох основних сил — сили тяжіння ($F_т = mg$), яка завжди напрямлена вертикально вниз, і сили натягу нитки ($T$), яка напрямлена вздовж нитки до точки підвісу. Рівнодійна цих двох сил $F$, яка є дотичною до траєкторії маятника і напрямлена до положення рівноваги, змушує його коливатися. Спробуй самостійно описати рух кульки.



Мал. 8.3

Період та частота коливань математичного маятника залежать від довжини нитки. Дану залежність можна виразити формулою: $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$, де $g = 9{,}8$ Н/кг.

## ДУМАЙ

**1.** Дай визначення коливального руху. Наведи приклади коливань, що зустрічаються в житті. **2.** Назви основні характеристики коливального руху і поясни, що означає кожна з них. **3.** Чому коливне тіло не зупиняється у точці рівноваги під час коливань? **4.** Чим відрізняються вільні коливання від вимушених? Як пов'язані між собою період коливань і частота коливань? **5.** Поясни, що таке резонанс. Наведи приклад цього явища. **6.** Чому вільні коливання в реальних умовах є затухаючими? **7.** Які сили діють під час коливань на: пружинний маятник? математичний маятник? **8.** Як зміниться період коливань математичного маятника, якщо збільшити довжину нитки?

## ДІЙ

## УЧИСЬ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ЗАДАЧІ

**1** Визнач період і частоту коливань маятника, довжина якого 1 м.

**Дано:**
$l = 1$ м

$T$ — ?
$\nu$ — ?

**Розв'язання:**

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}};\ T = 2 \cdot 3{,}14\sqrt{\frac{1\ \text{м}}{9{,}8\ \frac{\text{м}}{\text{с}^2}}} \approx 1{,}99\ \text{с}.$$

$$\nu = \frac{1}{T};\ \nu = \frac{1}{1{,}99} \approx 0{,}5\ \text{Гц}.$$

**Відповідь:** $T \approx 1{,}99$ с; $\nu \approx 0{,}5$ Гц.

**2** Тягарець підвісили до пружини, і він почав здійснювати вертикальні гармонічні коливання. Період коливань становить $T = 1{,}2$ с, а жорсткість пружини — $k = 50$ Н/м. Визнач масу тягарця.

**Дано:**
$T = 1{,}2$ с
$k = 50$ Н/м

$m$ — ?

**Розв'язання:**

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}};\ T^2 = 4\pi^2\frac{m}{k};\ m = \frac{T^2k}{4\pi^2};$$

$$m = \frac{1{,}2^2\ \text{с}^2 \cdot 50\ \frac{\text{Н}}{\text{м}}}{4 \cdot 3{,}14^2} \approx 1{,}83\ \text{кг}.$$

**Відповідь:** 1,83 кг.

## РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

**1** Математичний маятник здійснює коливання з періодом 2 с. Визнач довжину нитки.

**2** У скільки разів зміниться період коливань математичного маятника, якщо його довжину збільшити у 4 рази?

**3** Тіло масою 0,5 кг підвішено до пружини жорсткістю $k = 200$ Н/м. Знайди період коливань.

**4** Період коливань тіла на пружині становить 0,5 с. Визнач жорсткість пружини, якщо маса тіла 0,2 кг.

**5** Яким стане період коливань пружинного маятника, якщо масу вантажу збільшити у 4 рази?

**6** Виконай завдання за симуляціями 8.2, 8.3 .

## ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

**Виконуй досліди з дотриманням правил безпеки життєдіяльності!**

### Візьми участь у груповій роботі

**1** Експериментально дослідіть перетворення кінетичної та потенціальної енергій під час коливань маятника та перевірте виконання закону збереження механічної енергії.

*Гіпотеза (сформулюй власну).*

*Наприклад: «Припускаю, що якщо нехтувати опором повітря, маятник повинен підніматися на ту саму висоту, з якої його відпустили, тому що механічна енергія зберігається.»*

*Обладнання*: штатив з лапкою та муфтою, нитка (міцна, довжиною близько 1 метр), невеликий важкий тягарець (кулька, гайка), лінійка або рулетка (довжиною до 1 метра).

1. Розмістіть штатив на столі таким чином, щоб маятник міг вільно коливатися, не зачіпаючи перешкод.
2. Помістіть лінійку або рулетку вертикально біля точки найнижчого положення маятника та на рівні його початкового підйому, щоб можна було вимірювати висоту.
3. Відведіть тягарець маятника вбік від положення рівноваги на певну невелику висоту $h_1$ (наприклад, 10–15 см від найнижчої точки). *Важливо*: відпускайте тягарець без початкового поштовху, просто відпускаючи його.
4. Спостерігайте за рухом маятника. Зверніть увагу на максимальну висоту $h_2$, на яку підіймається тягарець з протилежного боку.
5. Повторіть дослід 3–5 разів, щоразу вимірюючи $h_1$ і $h_2$. Записуйте результати в таблицю.

| № | Початкова висота ($h_1$), см | Кінцева висота ($h_2$), см |
|---|---|---|
| 1 | | |
| 2 | | |

6. Порівняйте значення $h_1$ та $h_2$ у кожній спробі. Чи однакові вони? Якщо ні, то чим, на вашу думку, зумовлено відмінність?
7. Сформулюйте висновок, у якому підтвердіть або спростуйте вашу гіпотезу, посилаючись на отримані дані.
8. Дайте відповіді на запитання.

✓ У якій точці траєкторії маятника його потенціальна енергія максимальна? Мінімальна?

✓ У якій точці траєкторії маятника його кінетична енергія максимальна? Мінімальна?

✓ Опишіть, як відбувається перетворення потенціальної енергії на кінетичну, і навпаки, під час одного повного коливання маятника.

✓ Як би змінився результат експерименту, якби його проводили у вакуумі (без повітря)?

✓ Як цей експеримент підтверджує (або не підтверджує) закон збереження механічної енергії?

**2** Дослідіть гармонічні коливання математичного маятника, експериментально визначте період коливань і порівняйте його з теоретичним значенням.

8.4

*Обладнання*: штатив з підвісом, нитка (тонка, нееластична), тягар металевий (кулька або гайка), секундомір, лінійка або мірна стрічка, транспортир.

1. Закріпіть маятник на штативі. Виміряйте довжину нитки від точки підвісу до центра мас тягарця — це і буде довжина маятника $l$.
2. Відведіть маятник на малий кут (не більше $10^\circ$), щоб забезпечити гармонічність коливань. Скористайтеся транспортиром.

3. Виміряйте час 10 повних коливань за допомогою секундоміра. Повторіть вимірювання 3 рази.
4. Обчисліть середній час за 10 коливань та період одного коливання: $T_{\text{експ}} = t_{\text{сер}}/10$.
5. Обчисліть теоретичне значення періоду за формулою $T_{\text{теор}} = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$.
6. Порівняйте експериментальне і теоретичне значення.
7. Обчисліть відносну похибку: $\varepsilon = \left|\frac{T_{\text{експ}} - T_{\text{теор}}}{T_{\text{теор}}}\right| \cdot 100\ \%$.
8. Записуйте результати в таблицю.

| Довжина маятника, $l$, м | Час за 10 коливань | | | | Період, $T_{\text{експ}}$, с | Період, $T_{\text{теор}}$, с | Відносна похибка, % |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | $t_1$, с | $t_2$, с | $t_3$, с | $t_{\text{сер}}$, с | | | |
| | | | | | | | |

9. Зазначте у висновку, чи співпадають експериментальні та теоретичні значення періоду. Вкажіть причини можливих розбіжностей.

## ОПРАЦЮЙ ІНФОРМАЦІЮ

Резонанс — це явище, при якому амплітуда вимушених коливань різко зростає, якщо частота зовнішньої сили, що діє на систему, збігається з власною частотою її коливань. Це якби ти штовхав / штовхала гойдалку в такт її природному руху — кожен поштовх додає енергії, і амплітуда стає все більшою.

Перевір, чи всі приклади резонансу є правдивими.

- ✓ Оперний співак може розбити кришталевий келих, якщо заспіває на його власній резонансній частоті. Звукові хвилі передають енергію коливанням келиха, амплітуда яких зростає настільки, що матеріал не витримує і руйнується.
- ✓ Міст Такома-Нерроуз (1940 р.) зруйнувався під впливом вітру. Хоча сам вітер був помірним, він спричинив коливання з частотою, що збіглася з власною резонансною частотою мосту, що призвело до його руйнування.
- ✓ Резонанс може розігнати об'єкт настільки, щоб він телепортується.
- ✓ Існує резонансна пам'ять, тобто деякі об'єкти можуть «зберігати» інформацію через резонансні коливання.
- ✓ Фізичне явище резонансу є причиною не тільки руйнувань, але й важливих технологій. Воно лежить в основі роботи мікрохвильових печей, МРТ-апаратів і багатьох інших пристроїв.

8.5

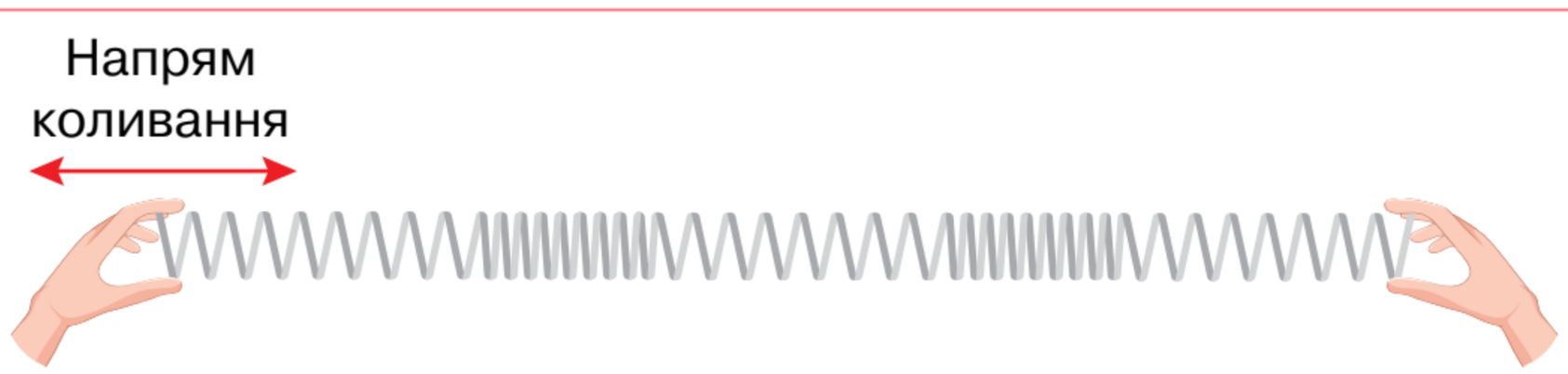
# § 9. ДОСЛІДЖУЄМО МЕХАНІЧНІ ХВИЛІ



У попередньому параграфі як приклад наведено коливання земної кори під час землетрусів. А я у репортажі про землетрус чув про сейсмічні хвилі. От цікаво, у чому між ними різниця?

## ДОСЛІДЖУЙ

Переконайся, чи можна з коливань утворити хвилю. Об'єднайтесь в пари. Візьміть за кінці пружину-веселку (мал. 9.1). Один / одна із вас має тримати кінець пружини нерухомо. Інший / інша має створити одне різке коливання, швидко рухаючи руку вперед-назад вздовж пружини. Це локальне коливання. Спробуйте повторити рух руки, але вже ритмічно, тобто створити серію коливань. Спостерігайте за результатом.



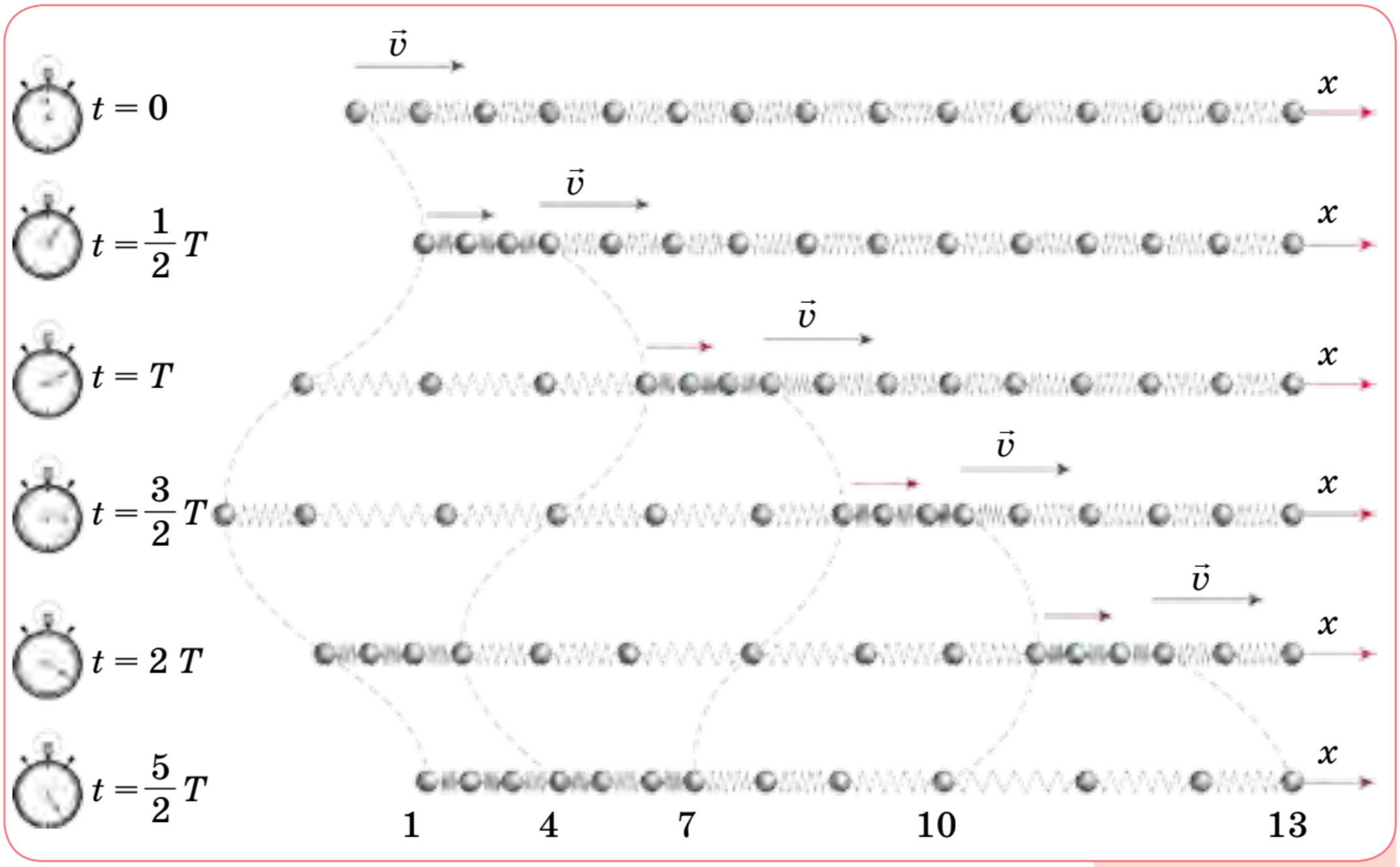

Мал. 9.1

## ДІЗНАВАЙСЯ

***Дізнаємося, як утворюються механічні хвилі.*** Дослідй випадки, коли коливання можуть передаватися за межі коливної системи і поширюватися у середовищі.

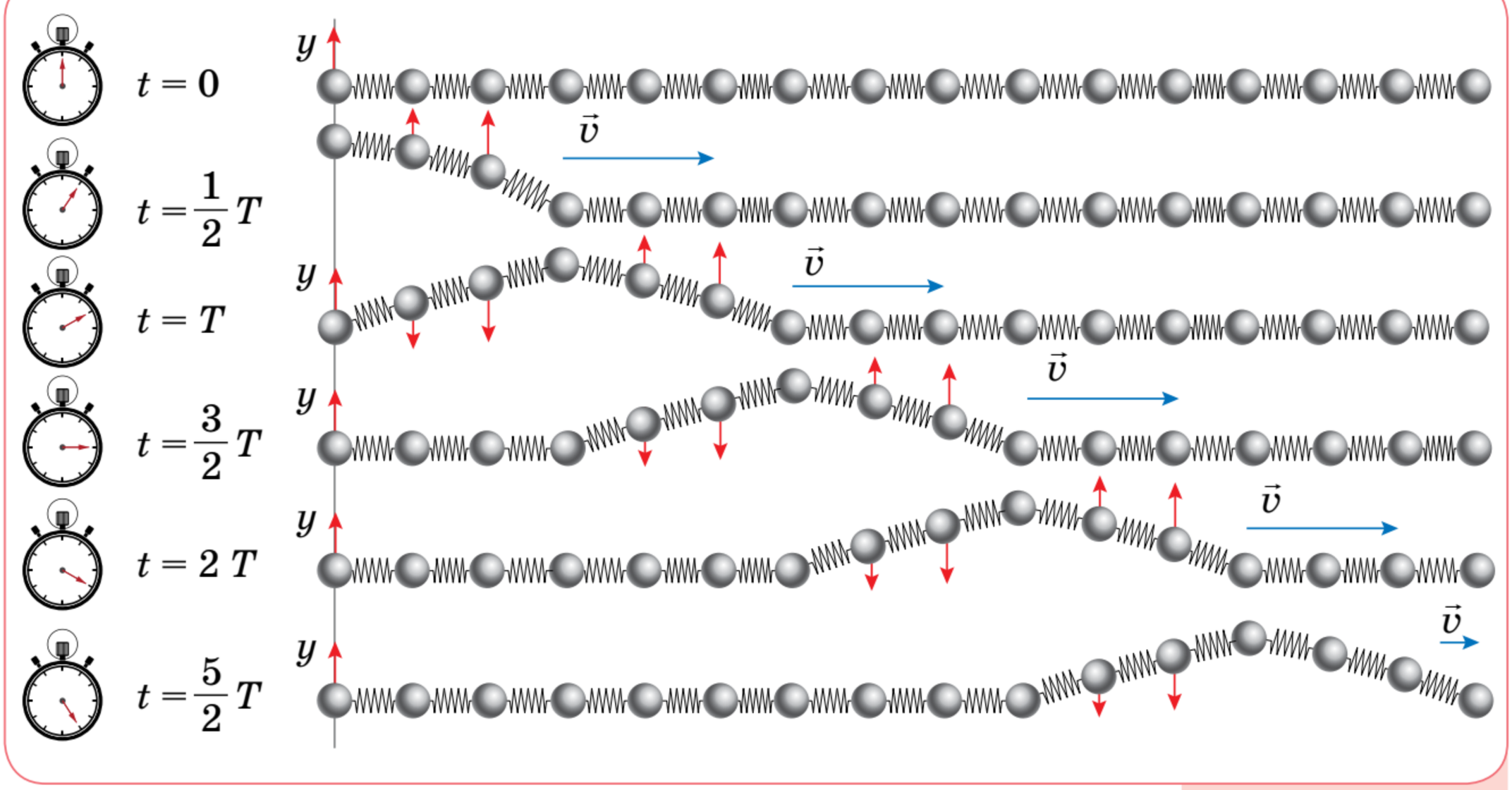
Для цього скористайся моделлю пружного середовища — сукупністю кульок, пружно зв'язаних між собою (мал. 9.2). Така модель відтворює внутрішню будову речовини як сукупність атомів і молекул, які безперервно і хаотично рухаються і взаємодіють між собою.

Якщо штовхнути крайню ліву кульку вправо вздовж ряду кульок, вона почне коливатися сама і приведе у коливальний рух сусідню кульку, та, у свою чергу, передасть коливальний рух наступній тощо (мал. 9.2). У результаті всі кульки поступово почнуть коливатись, однак не одночасно, а так, що кожна наступна кулька почне коливання дещо пізніше за попередню, тому коливатимуться вони з одним і тим самим періодом, але в різній стадії коливного процесу.




Мал. 9.2

Поширити коливання кульок можна і в тому разі, якщо кульку вивести з положення рівноваги не в горизонтальному, а у вертикальному напрямі, наприклад, поштовхом вгору (мал. 9.3).




Мал. 9.3

У цьому випадку виведена із стану рівноваги кулька також змусить рухатися сусідні кульки за рахунок їх пружного зв'язку. Оскільки коливання першої кульки передаються іншим не миттєво, а протягом де-

якого часу, коливання наступних кульок починаються з деяким запізненням. Тому кульки коливатимуться з одним і тим самим періодом, але в різних стадіях коливного процесу.

Розглянуті процеси поширення механічних коливань у пружному середовищі називають *хвильовим процесом*, або просто *хвилею*.

Для утворення й існування механічної хвилі необхідна наявність:

— джерела, тобто коливання тіл;

— пружного середовища, що передає взаємодію частинок середовища між собою.

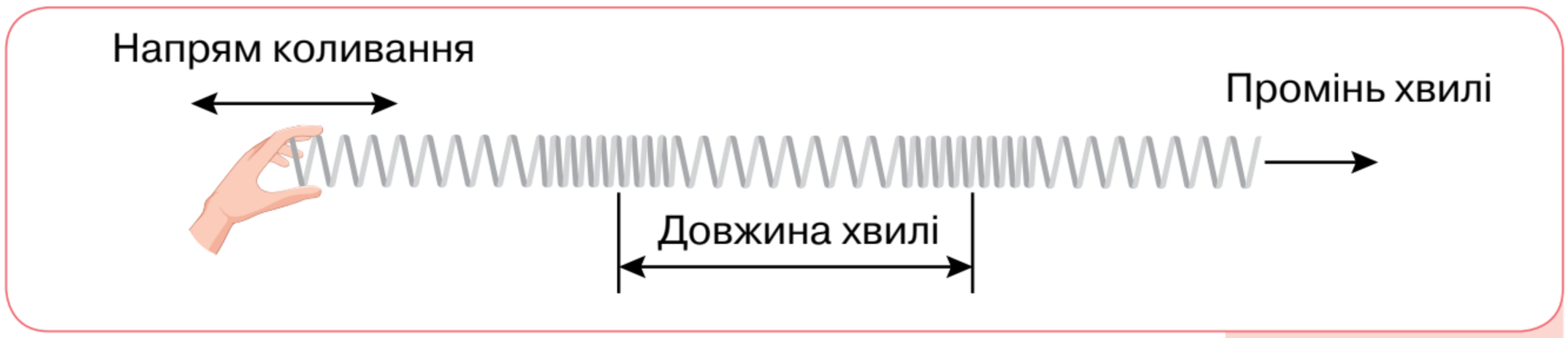
**Механічна хвиля** (*mechanical wave*) — процес поширення коливань у пружному середовищі з плином часу.

Основна властивість механічних хвиль — перенесення ними енергії без перенесення речовини. Під час поширення хвиль частинки середовища лише коливаються відносно своїх положень рівноваги, тому перенесення речовини не відбувається. (Останнє іноді може відбуватися як супутнє явище у випадку сильних збурень, так звана *ударна хвиля*.)

***Вивчаємо види хвиль.*** Розглянені механізми утворення механічних хвиль демонструють поздовжню (мал. 9.2) і поперечну (мал. 9.3) хвилі.

Поздовжня хвиля утворюється, якщо коливання частинок середовища відбуваються у напрямі поширення хвилі (мал. 9.4) (напрям поширення хвилі називають променем). Поздовжні хвилі виникають у середовищах, де можливі пружні деформації стиску та розтягу. Прикладом поздовжньої механічної хвилі є звук.

**Поздовжніми** називають хвилі, коливання частинок у яких відбувається вздовж променя хвилі.

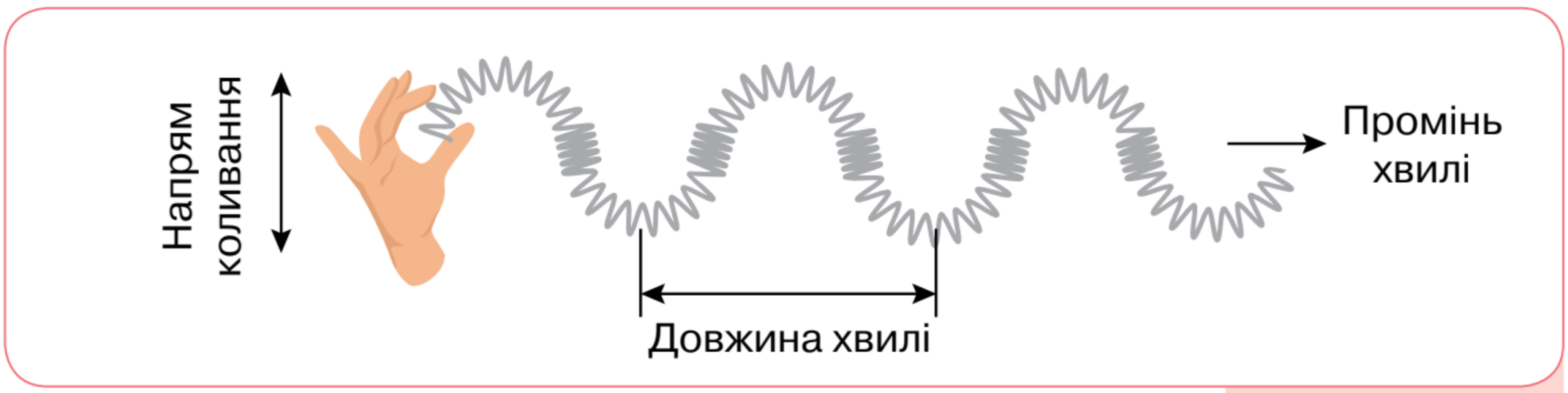



Мал. 9.4

Поперечні хвилі (мал. 9.5) виникають у середовищах, де можливі пружні деформації зсуву (у твердих тілах і в поверхневих шарах рідин). Прикладом такої хвилі є хвиля, утворена внаслідок коливання шнура. У поперечній хвилі частинки коливаються у площинах, перпендикулярних до напряму поширення хвилі.

**Поперечними** називають хвилі, коливання частинок у яких відбувається перпендикулярно до променя хвилі.

У газах і рідинах виникають лише поздовжні хвилі, які є чергуванням розріджень і згущень середовища. У твердих тілах можливі як поздо-




Мал. 9.5

вжні, так і поперечні пружні хвилі. Іншими словами, поздовжні хвилі можуть поширюватися у будь-якому середовищі, а поперечні — тільки у твердому середовищі.

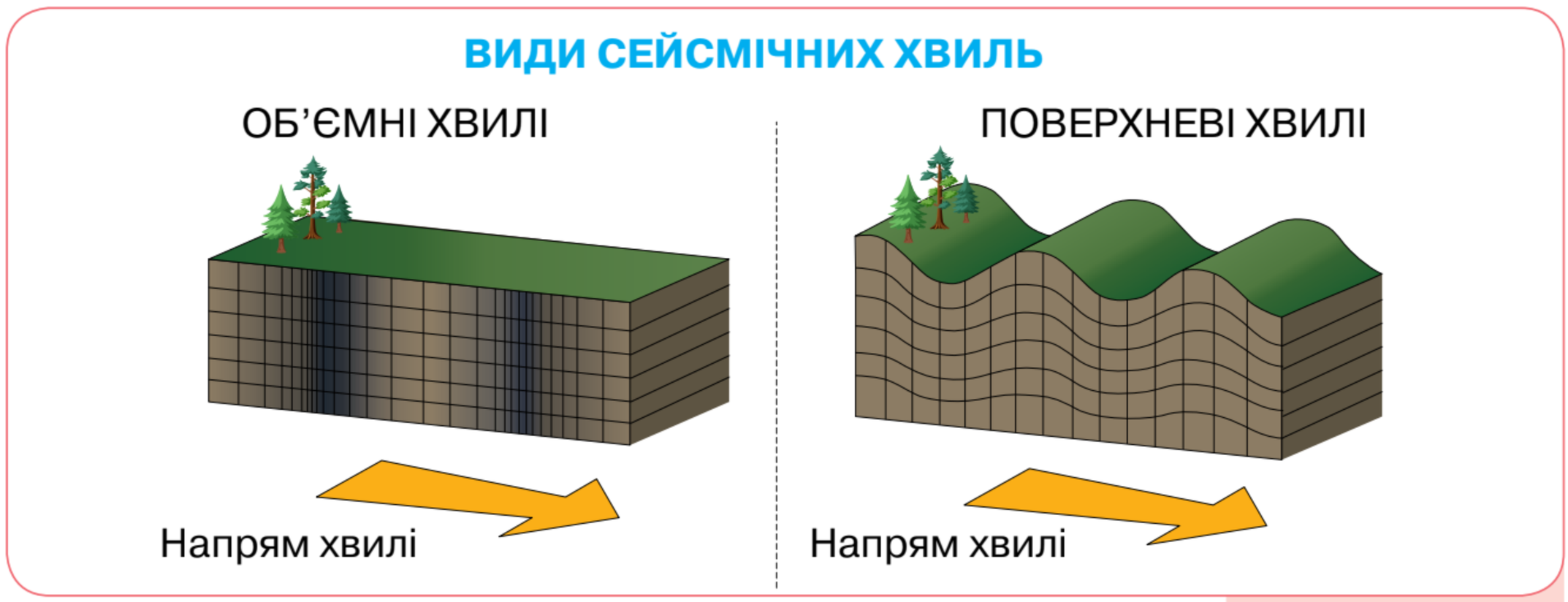
***Дізнаємося про довжину хвилі.*** Швидкість поширення механічної хвилі залежить від пружних властивостей і густини середовища. В однорідному середовищі від точки, яка коливається, коливання поширюються в усіх напрямах зі сталою швидкістю.

9.1

Якщо розглянути малюнки 9.4 і 9.5, то бачимо, що на них позначено певні ділянки хвилі, які називають *довжиною хвилі*.

***Спостерігаємо механічні хвилі.*** Спостерігати механічні хвилі у природі можна на прикладі поширення коливань часток повітря або поверхні рідини. Прикладом механічних хвиль є сейсмічні хвилі, які поширюються в земній корі та мантії (мал. 9.6).

**Довжина хвилі,** $\lambda$ — це відстань, на яку поширюється хвиля протягом одного періоду коливань. Довжина хвилі $\lambda$, її швидкість $v$ і період коливань джерела хвилі $T$ пов'язані співвідношенням: $\lambda = vT$.




Мал. 9.6

Вони виникають внаслідок раптового вивільнення енергії, як правило, під час землетрусів, вулканічних вивержень або великих вибухів. Сейсмічні хвилі поділяються на два основні типи, які відрізняються способом поширення та швидкістю.

1. Об’ємні (Body) хвилі поширюються в усьому об’ємі Землі.
2. Поверхневі (Surface) хвилі поширюються лише вздовж поверхні Землі.

Вивчення сейсмічних хвиль має важливе наукове й практичне значення, оскільки дає змогу досліджувати внутрішню будову Землі та підвищувати безпеку життя і діяльності людини. Сейсмічні хвилі виникають під час землетрусів, вулканічних виверженьабо штучних вибухів і по-різному поширюються в надрах планети залежно від властивостей середовища. Аналіз їх швидкості, відбиття й заломлення дозволив ученим установити шарувату будову Землі, з’ясувати рідкий стан зовнішнього ядра та твердий — внутрішнього, а також визначити властивості гірських порід на великих глибинах. Дослідження сейсмічних хвиль має й прикладне значення: воно є основою оцінювання сейсмічної небезпеки, розроблення норм сейсмостійкого будівництва та систем раннього попередження про землетруси. Сейсмічні методи також застосовують у геологічній розвідці, для моніторингу вулканів, зсувів і техногенних процесів. Цими дослідженнями займаються сейсмологи, геофізики та інженери-сейсмологи, які використовують отримані дані для вивчення Землі й проєктування безпечних споруд.

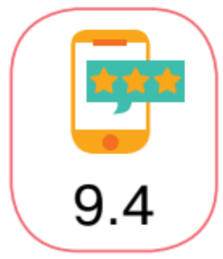
**ДУМАЙ**

1. Поясни механізм утворення пружних механічних хвиль. 2. У чому полягає відмінність між поздовжніми та поперечними хвилями? У яких середовищах можуть поширюватися поздовжні хвилі, а в яких — поперечні? 3. Що називають довжиною хвилі? 4. Від чого залежить швидкість поширення хвилі у пружному середовищі?

**ДІЙ**

## РОЗВ’ЯЖИ ЗАДАЧІ

1. Механічна хвиля поширюється по натягнутому шнуру з частотою 25 Гц і довжиною хвилі 0,4 м. Знайди швидкість поширення хвилі.
2. По натягнутій струні поширюється хвиля зі швидкістю 12 м/с, частота коливань 6 Гц. Знайди довжину хвилі.
3. Дві точки на поверхні води розташовано на відстані 6 м. Довжина хвилі становить 1,5 м. Скільки повних хвиль укладається між цими точками?
4. Рибалка помітив, що за 10 с поплавок зробив на хвилях 20 коливань, а відстань між сусідніми гребнями хвиль дорівнює 1,2 м. Яка швидкість поширення хвиль?
5. Відстань між гребнями хвиль у морі дорівнює 5 м. Коли катер іде проти хвилі, то вона за 1 с ударяється об його корпус 4 рази, а коли за хвилею — двічі. Визнач швидкість руху катера і поширення хвилі.
6. Виконай завдання за симуляціями 9.2, 9.3 .


9.4

# § 10. ДОСЛІДЖУЄМО ЗВУК

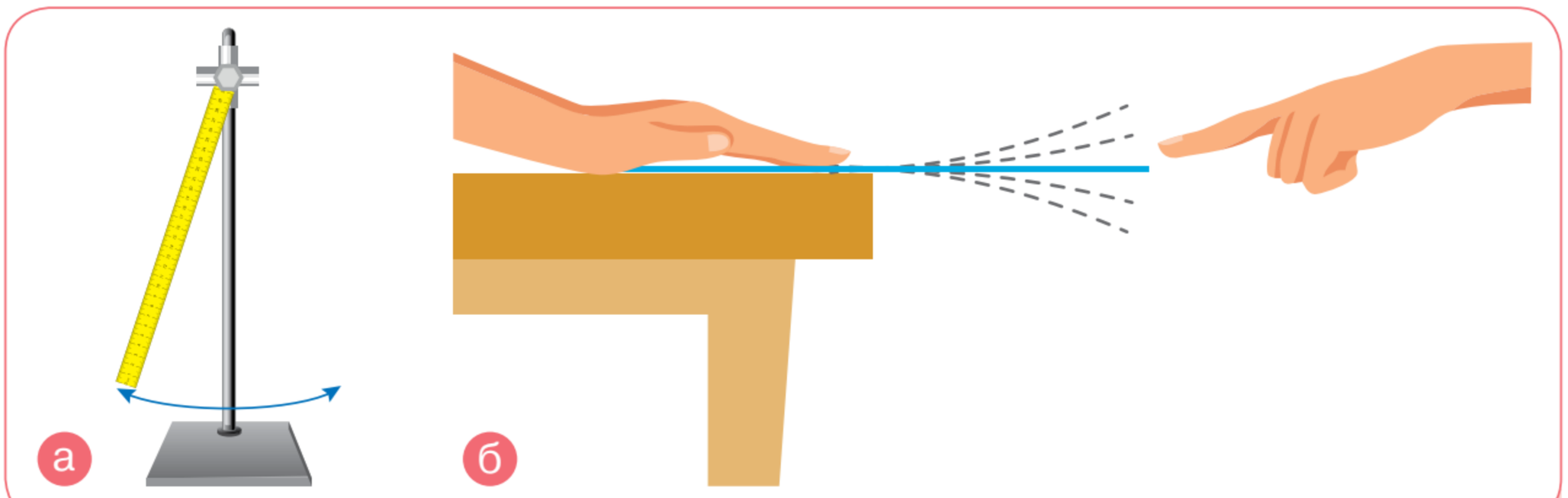
У попередньому параграфі згадувалося, що звук — це поздовжня механічна хвиля. Отже, як і будь-яка хвиля, її джерелом є коливання. Але чому я чую шум листя, коли його сильно коливає вітер, і не чую звук, коли коливаю ручку в руках?



## ДОСЛІДЖУЙ

**З'ясуй умови виникнення звуку.**

1. **Закріпи вертикально лінійку та коливай її (мал. 10.1, а). Тепер притисни лінійку до краю парти й також утвори коливання. Змінюй довжину вільного кінця лінійки, доки не почуєш звук коливань (мал. 10.1, б). Зроби висновок.**




Мал. 10.1

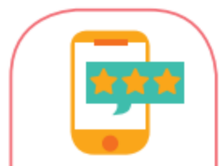
2. **Надуй повітряну кульку й приклади її до вуха. Злегка дряпни кульку. Який звук чуєш? Чи таким самим буде звук, якщо віддалити кульку і так само дряпнути?**

## ДІЗНАВАЙСЯ

***Дізнаємося про звук.*** Як бачиш, не кожне коливання утворює звук. У першому досліді підвішена лінійка коливається беззвучно. Проте ми чуємо коливання цієї самої лінійки, закріпленої на краю парти. Річ у тім, що лінійка під час коливань стискає шар повітря з того боку, у який рухається, і водночас створює розрідження з іншого боку. Ці стиснення й розрідження чергуються та поширюються у вигляді поздовжньої хвилі. Якщо ж коливання стають частішими, ніж 16 разів за секунду (від 16 до 20 000), то такі коливання людське вухо розпізнає як звук. У випадку із лінійками досягти потрібної частоти коливань вдалося за рахунок змі-

ни довжини коливної частини лінійки. Чим коротша вільна (коливна) частина лінійки, тим частіші коливання.

Отже, умови виникнення та поширення звуку такі.

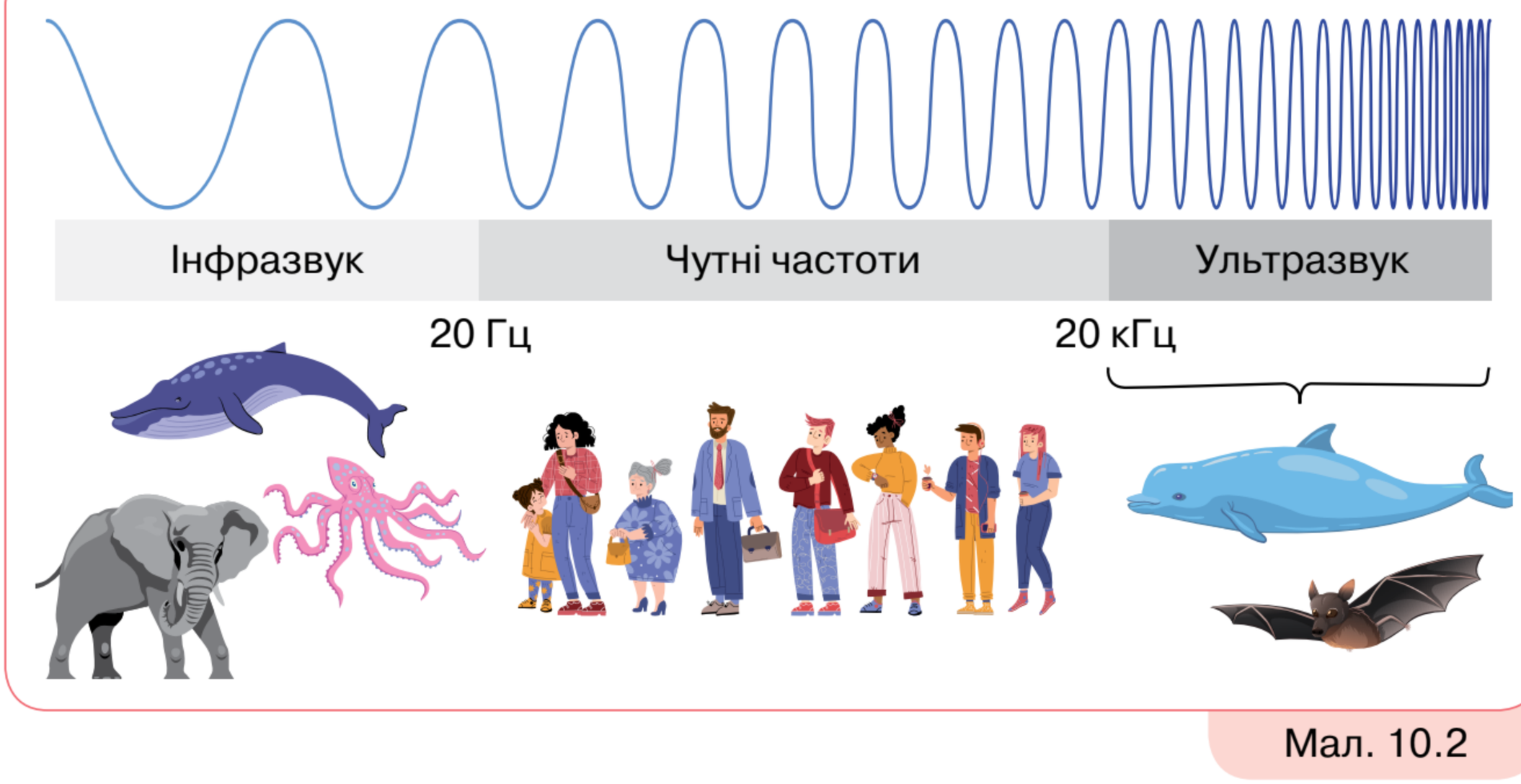



1. Потрібне тіло, яке здатне швидко коливатися. Це може бути струна гітари, мембрана динаміка або твої голосові зв'язки. Якщо немає вібрації, немає і звуку.

2. Потрібен пружний матеріал (тверде тіло, рідина або газ), який здатен передавати ці коливання. У вакуумі звук не поширюється, оскільки там немає частинок для передачі енергії коливань.

3. Частота коливань джерела має бути в межах 16 Гц – 20 000 Гц. Якщо частота нижча, це інфразвук, якщо вища — ультразвук. Ми їх не чуємо, але вони теж є звуковими хвилями!

Звук є джерелом різної інформації. Прослуховуванням за допомогою медичного фонендоскопу звуків в організмі можна дізнатися про роботу серця, легень. Важливу інформацію нам дає мова — засіб звукового спілкування. Тварини також створюють і чують звуки. Звуки для них — це сигнал про те, що відбувається навколо. Деякі тварини чують у діапазоні інфразвуку, деякі — у діапазоні ультразвуку (мал. 10.2). Проте у більшості тварин інфразвукові та ультразвукові коливання викликають дискомфорт.




Мал. 10.2

Звукові хвилі, як і всі інші хвилі, поширюються з кінцевою швидкістю, яку називають *швидкістю звуку*. Швидкість звуку залежить від середовища, у якому він поширюється, і від температури цього середовища.

**Звук** (*sound*) — це поздовжні механічні хвилі частотою від 16 до 20 000 Гц, що поширюються в пружному середовищі й сприймаються органами слуху людини.

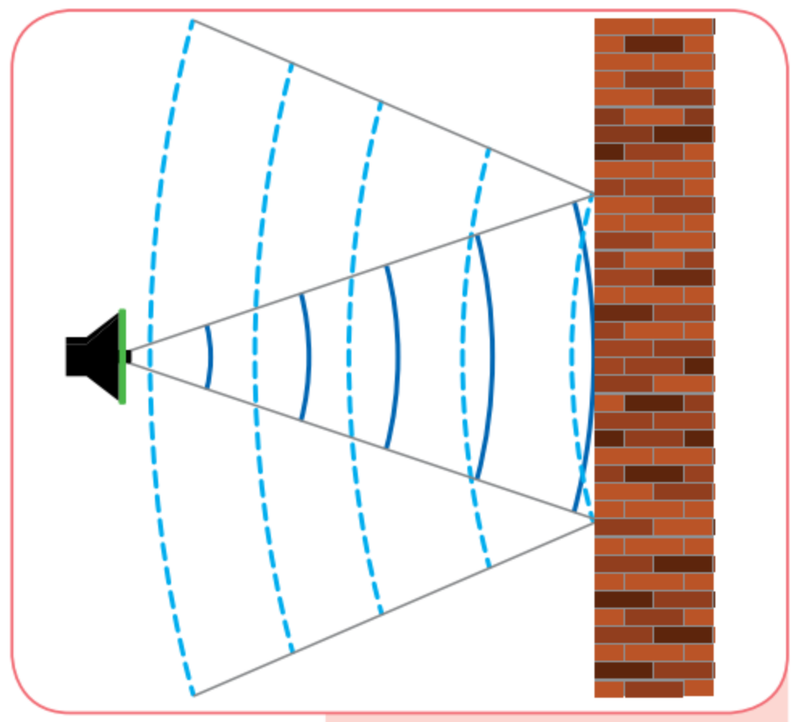
У таблиці наведено швидкості поширення звукових хвиль у деяких середовищах.

| **Тверде тіло** | $v$, м/с | **Рідина (при 20 °С)** | $v$, м/с | **Газ (при 0 °С)** | $v$, м/с |
|---|---|---|---|---|---|
| Залізо | 5850 | Вода морська | 1451 | Повітря | 331 |
| Лід | 3980 | Ртуть | 1451 | Кисень | 316 |
| Скло | 5990 | Спирт | 1180 | Водень | 1284 |

У рідинах (за винятком води) з підвищенням температури швидкість поширення звуку зменшується, а в газах за незмінного тиску швидкість поширення звуку з підвищенням температури збільшується. Спробуй самостійно пояснити, чому це відбувається.

Є матеріали, які погано проводять звук, оскільки коливання в них швидко загасають. Це, наприклад, пористі панелі, пінопласт. Їх використовують для звукоізоляції, тобто для захисту приміщень від проникнення в них сторонніх звуків.

***Дізнаємося про відбивання, поглинання звукових хвиль та ехолокацію.*** Якщо звукова хвиля поширюється в якому-небудь середовищі, то рано чи пізно вона дійде до межі цього середовища, за яким починається інше. Це інше середовище складається з інших частинок, і швидкість поширення звуку в ньому інша. На такій межі спостерігається відбивання звукової хвилі (мал. 10.3).



Мал. 10.3

Відбивання відбувається тому, що коливання звукової хвилі передаються частинкам іншого середовища. Ці частинки самі стають джерелами нової (вторинної) звукової хвилі. Вторинна хвиля поширюється не тільки в другому середовищі, а й у першому, звідки надійшла первинна хвиля. Це і є відбита хвиля.

На межі поділу двох середовищ звук не тільки відбивається, а й поглинається, проникаючи в інше середовище. Наприклад, оштукатурена стіна поглинає майже 8 % енергії звукових хвиль, а килим — 20 %.

З відбиванням звуку пов'язане відоме всім явище — *луна*. Воно полягає в тому, що звук від джерела доходить до деякої перешкоди (краю лісу, стіни, гори тощо), відбивається від неї й повертається до місця, де виникли звукові коливання. Якщо первинний і відбитий звуки доходять до слухача не одночасно, то він чує звук двічі. Бувають випадки, коли звук відбивається кілька разів, тоді й почути його можна кілька разів (наприклад, гуркіт грому).

Відбивання звукових хвиль має широке практичне використання в природі й техніці. Так, виявлення об'єктів за відбитими звуковими хвилями є основою ехолокації (мал. 10.4).

У тваринному світі, наприклад, кажани і дельфіни використовують ехолокацію для навігації й полювання. Ехолокація у тварин здійснюється таким чином: тварини періодично подають звукові сигнали і сприймають вухами відбиті хвилі (луну). Використовуючи такий підхід, вони визначають відстань до навколишніх предметів за допомогою затримки звуку і можуть також визначати форми і напрями амплітуди звукових хвиль, які потрапляють до вух. Потім ця інформація інтерпретується мозком, утворюючи уявний образ оточення.

Подібний метод орієнтації у просторі застосовують й люди з вадами зору. Вони роблять це, видаючи звуки: ротом, ногою або тростиною. Людина, видаючи звуки, навчається або, точніше сказати, розвиває в собі здатність приймати луну від предметів і робить це із завидною точністю. Люди за вадами зору здатні отримувати уявний образ світу за звуками, які чують!

**ДУМАЙ**

**1.** Які коливання називають звуковими? Які тіла можуть бути джерелом звуку? **2.** Якщо помахати рукою в повітрі, то від її поверхні в обидві сторони поширюватимуться механічні хвилі. Чому ми їх не чуємо? **3.** Чи можна почути на Землі гуркіт від падіння метеориту на поверхню Місяця? Поясни. **4.** Від чого залежить швидкість поширення звукових коливань? **5.** Що таке луна і що таке ехолокація? **6.** Як відомо, повітря і скло добре поширюють звук. У чому ж секрет шумозахисних склопакетів?

**ДІЙ**

## УЧИСЬ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ЗАДАЧІ

Турист викрикнув у горах, і почув відлуння через 4 секунди. Вважаючи, що швидкість звуку в повітрі 340 м/с, знайди відстань до гори, яка відбила звук.

**Дано:**
$v = 340$ м/с
$t = 4$ с

$L$ — ?

**Розв'язання:**
Звук проходить шлях туди і назад, тому загальний шлях:
$s = v \cdot t = 340 \text{ м/с} \cdot 4 \text{ с} = 1360 \text{ м}.$
Відстань до гори: $L = \frac{s}{2} = \frac{1360}{2} = 680$ м.

**Відповідь:** 680 м.

## РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

1 На відстані 1068 м від спостерігачки вдаряють молотком по сталевій рейці. Спостерігачка, приклавши вухо до рейки, почула звук на 3 с раніше, ніж вона дійшла до нього через повітря. Чому дорівнює швидкість поширення звуку в сталі? Швидкість поширення звуку в повітрі прийняти рівною 340 м/с.

2 Із якою швидкістю летить куля, якщо до мішені вона долітає в 2 рази швидше, ніж долине звук пострілу? Швидкість поширення звуку в повітрі прийняти рівною 340 м/с.

3 Під час грози ти почув / почула гуркіт грому через 8 с після спалаху блискавки. Чи можеш ти за цими даними визначити, на якій відстані від тебе йде гроза? Швидкість поширення звуку в повітрі прийняти рівною 340 м/с.

4 Перебуваючи у місці, де можна отримати луну, ти зафіксував / зафіксувала, що твій оклик «ау!» повертається до тебе через півсекунди. Як далеко ти перебуваєш від перешкоди, що відбиває твій оклик?

## ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

**Виконуй досліди з дотриманням правил безпеки життєдіяльності!**

1 Проаналізуй експерименти учнів і учениць 9 класу, які вирішили дослідити властивості механічних хвиль. Для цього вони створили експериментальну установку: великий резервуар з прозорими стінками, наповнений водою. Також у них є камінець і спеціальний генератор хвиль, що створює імпульси або періодичні коливання на поверхні води.

1.1. Учні кидають у резервуар камінець, вимірюють час, за який фронт хвилі проходить відстань 2 метри. Час руху хвилі ($t$) — 5 с. Яку величину можна визначити за цими даними? Дізнайся із додаткових джерел, що таке фронт хвилі.

✓ Назви тип цієї хвилі (поперечна чи поздовжня). Обґрунтуй свою відповідь, пояснивши, як рухаються частинки води відносно напряму поширення хвилі.

✓ Спрогнозуй, як може вплинути на швидкість поширення хвилі збільшення густини води (наприклад, якщо у воду додати сіль). За можливості перевір свою гіпотезу практично.

1.2. Учні вмикають генератор, який створює періодичні коливання з постійною частотою, формуючи послідовність хвиль на поверхні. За допомогою спеціального стробоскопа вони вимірюють відстань між сусідніми гребенями хвиль. Частота генератора — 2 Гц, відстань між гребенями хвиль — 0,5 м.

✓ Розрахуй швидкість поширення цих періодичних хвиль.

- ✓ Якщо збільшити частоту генератора, як це вплине на довжину хвиль, за умови, що швидкість поширення залишається незмінною? Поясни чому.
- ✓ Порівняй швидкість поширення хвилі, отриману в першому завданні (для імпульсу), зі швидкістю з другого завдання (для періодичних хвиль). Чи збігаються вони? Якщо ні, поясни чому.
- ✓ Чому амплітуда хвиль на поверхні води зменшується з віддаленням від джерела?
- ✓ Які фактори, окрім густини середовища, можуть впливати на швидкість поширення механічних хвиль?

**2** Сплануй і проведи дослідження поширення звуку в різних середовищах. Обладнання добери самостійно.

**3** Виконай завдання за симуляціями 10.2, 10.3 .

## ОПРАЦЮЙ ІНФОРМАЦІЮ

### Візьми участь у груповій роботі

Підготуйтесь до дискусії. Розподіліть між собою професії, пов'язані із використанням інфра- та ультразвуку. Обговоріть переваги і ризики використання інфра- та ультразвуку.

10.4

# § 11. ДОСЛІДЖУЄМО, ЯК СПРИЙМАЄ ЗВУК ЛЮДИНА



Пам'ятаю, як у 5 класі на уроках природничих наук ми робили дослід із бокалами з водою, які утворювали різні звуки. Тепер я зможу пояснити, чому так відбувається!

## ДОСЛІДЖУЙ

Візьми кілька скляних бокалів і наповни їх різною кількістю води (мал. 11.1). Проведи вологим пальцем по краю кожного бокала. Від цього бокали починають коливатися і видавати різні звуки. Скільки води у бокалі, який видає пискливіший звук?

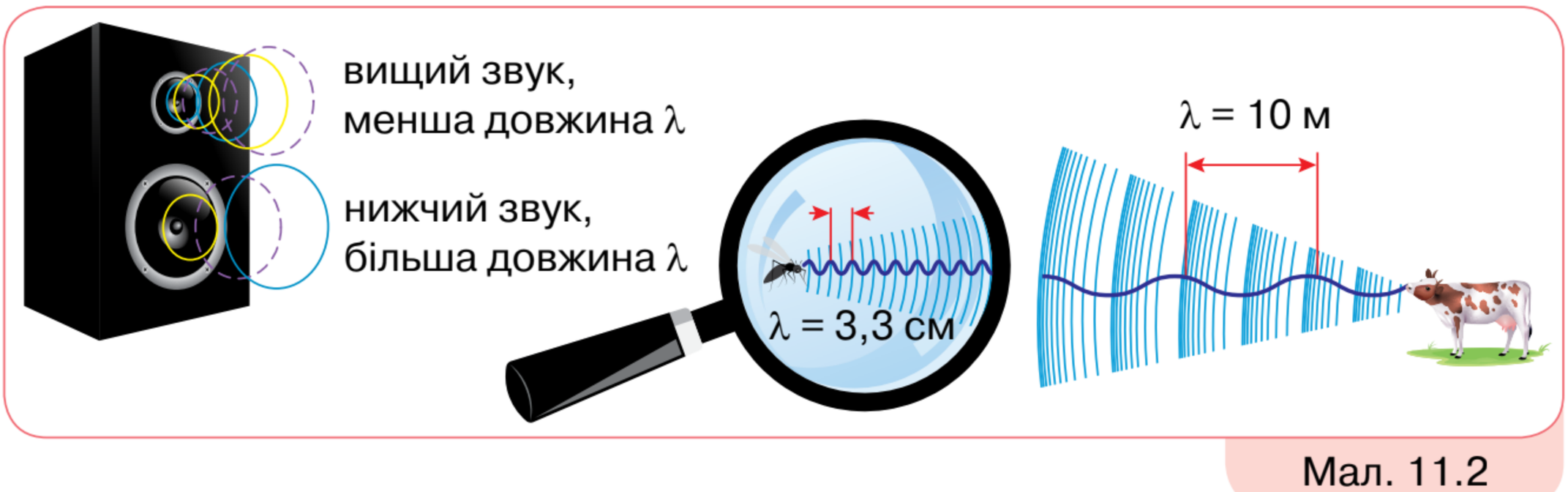


Мал. 11.1

## ДІЗНАВАЙСЯ

***Дізнаємося про висоту звуку, гучність та тембр.*** Звук — це поширення механічної хвилі у просторі, яке досягає наших вух. Але те, що ми чуємо, — це не самі хвилі, а їхнє *сприйняття* нашим мозком. Сприйняття звуку — це неймовірний і складний процес, що поєднує фізику, біологію та психологію, і досі є предметом багатьох наукових досліджень. І це сприйняття має свої характеристики, найголовніші з них — висота, гучність та тембр звуку.

Дослід із бокалами води демонструє зв'язок між висотою звуку та власною частотою коливань об'єкта, яка залежить від його фізичних характеристик. Коли ти проводиш пальцем по краю, ти збуджуєш коливання стінок бокала. Ці коливання передаються воді та повітрю всередині. Палець створює вимушене коливання, що збігається з власною частотою коливань системи «бокал + вода». Висота звуку, яку ми чуємо, залежить від власної частоти коливань системи. Ця частота, у свою чергу, залежить від маси та пружності системи. Бокал з меншою кількістю води має меншу загальну масу. Це дозволяє стінкам і воді коливатися з вищою частотою, що відповідає високому звуку. Бокал з більшою кількістю води має більшу масу, що уповільнює коливання. Тому він коливається з нижчою частотою, що відповідає низькому звуку. Цей дослід наочно показує, що зміна фізичних параметрів об'єкта (додавання води) змінює його власну частоту коливань, що призводить до зміни нашого сприйняття звуку. Чим більшою є частота (або меншою довжина) звукової хвилі, тим вищий звук (мал. 11.2).

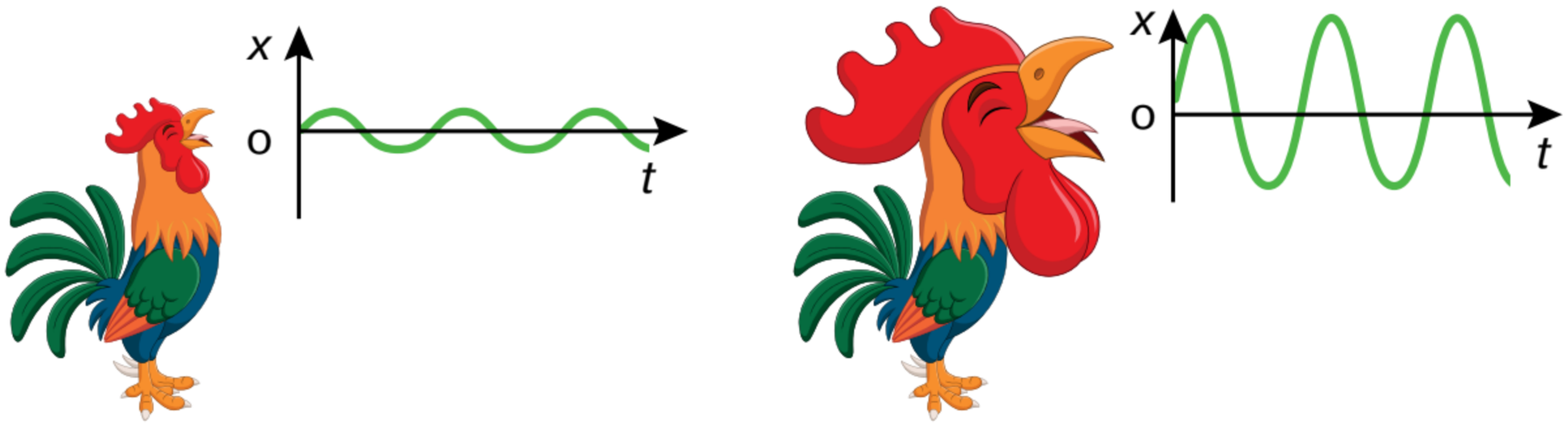



Мал. 11.2

З амплітудою звукових коливань пов'язана інша фізіологічна характеристика, яку називають *гучністю* звуку. Чим більшою є амплітуда коливань, тим гучніший звук (мал. 11.3, с.68).

11.1

*Тембр* — це «колір», «забарвлення» або «голос» звуку. Це те, що дозволяє нам відрізнити звук скрипки від гітари, навіть якщо вони грають одну й ту саму ноту з однаковою гучністю. Це те, що ро-




Мал. 11.3

бить голос кожної людини унікальним. Фізично тембр визначається формою звукової хвилі, а точніше — наявністю та інтенсивністю обертонів (гармонік) — додаткових, слабших коливань, що супроводжують основний тон (мал. 11.4). Кожен інструмент, кожен голос, навіть кожен дзвін виробляє унікальний набір обертонів. Мозок аналізує цей «фірмовий почерк» і дозволяє нам розпізнавати джерело звуку. Саме завдяки тембру ми відчуваємо багатство і насиченість звукової палітри світу.




Мал. 11.4

***Дізнаємося, як виміряти висоту звуку та його гучність.*** Оскільки висота звуку визначається його частотою, то її вимірюють за допомогою частотомірів або генераторів звукових частот. У музиці для налаштування інструментів використовують камертони, що видають звук певної фіксованої частоти.

Для вимірювання гучності застосовують величину — *інтенсивність звуку*, яку можна вимірювати різними одиницями.

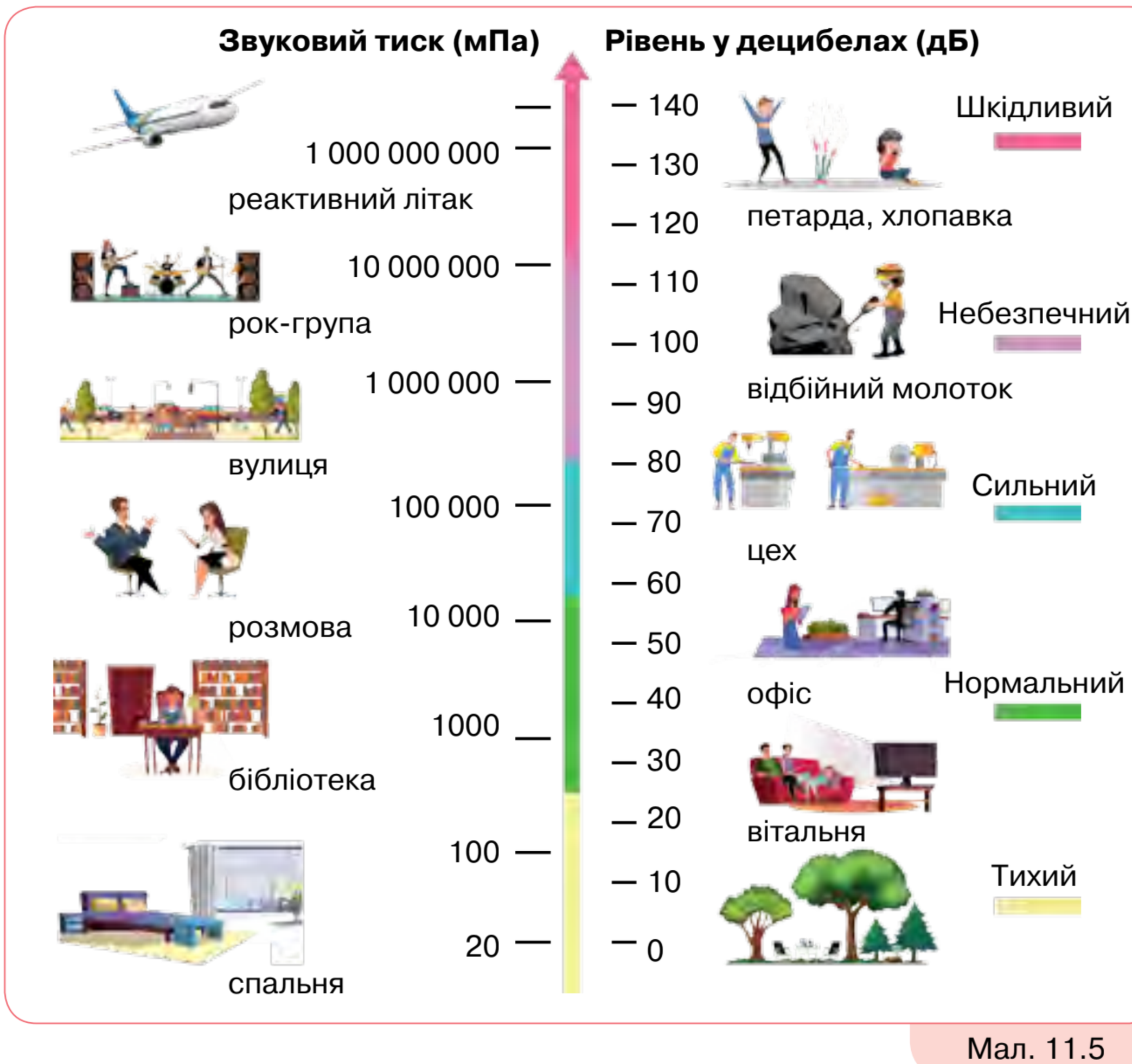
Ця величина не залежить від суб'єктивного сприйняття звуку, адже одній людині звук може видаватися гучним, іншій — ні.

**Інтенсивність звуку (сила звуку), $I$** — фізична величина, що вимірюється енергією $W$, яку переносить звукова хвиля за одиницю часу $t$ через одиницю площі поверхні $S$, перпендикулярної до напряму поширення звуку: $I = \frac{W}{St}$. Одиницею інтенсивності є ват на квадратний метр, 1 Вт/м$^2$.

Хоча Вт/м$^2$ є офіційною одиницею, людське вухо сприймає інтенсивність звуку не лінійно, а логарифмічно. Це означає, що для того, щоб ми відчули звук удвічі гучнішим, його інтенсивність має зрости не в 2 рази, а значно більше (приблизно в 10 разів).

Тому використовують іншу величину — *рівень гучності* (або рівень звуку), яку вимірюють у децибелах (1 дБ). Рівень гучності у децибелах — це логарифм відношення відповідної величини до порогу чутності, який відповідає інтенсивності $I_0 = 10^{-12}$ Вт/м$^2$ (найнижче порогове значення на частоті 1000 Гц при тиску звукової хвилі на органи слуху людини $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Па).

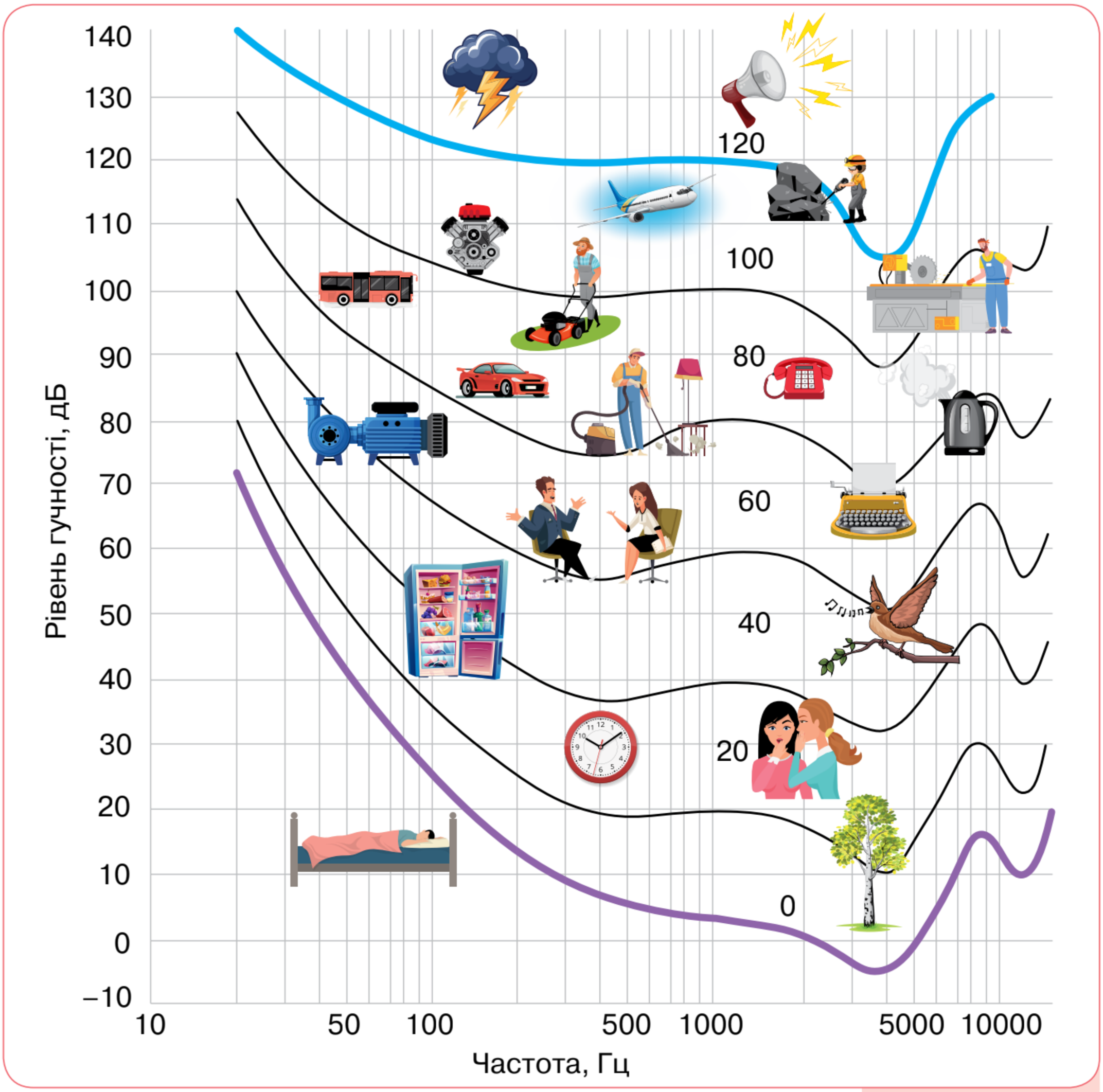
Для вимірювання гучності використовують спеціальний прилад — шумомір, який фактично «імітує слух людини» і переводить фізичний звуковий тиск у зручну шкалу децибелів (мал. 11.5).




Мал. 11.5

Вухо є винятково чутливим приймачем звуку, який працює в дуже широкому діапазоні частот і амплітуд і має нижній і верхній пороги чутності, які визначаються співвідношеннями гучності й частоти звуку (мал. 11.6, с. 70).

Як видно, що чим менші частоти, тим необхідна більша інтенсивність, щоб людина сприймала однакову гучність. До того ж видно, що нижній




Мал. 11.6

поріг чутності має дві ділянки на частотах 4000 і 16 000 Гц, де людське вухо більш чутливе. (До речі, саме на частоті 16 000 Гц пищить комар.)

Для кожної коливальної системи характерна власна частота коливань. Якщо на коливальну систему падає звукова хвиля з такою самою частотою, то вона стає акустичним резонатором. Амплітуда вимушених коливань при цьому досягає максимального значення — спостерігається *акустичний резонанс*. Акустичним резонансом широко користуються в музичних інструментах. Акустичні резонатори є і в голосовому та слуховому апаратах. Так, джерелами звуку в голосовому апараті є голосові зв'язки. Вони починають коливатися завдяки продуванню повітря з легень і збуджують звук, основний тон якого залежить від їх натягу. Цей звук багатий обертонами. Гортань підсилює ті обертони, частота яких

близька до її власної частоти. Далі звукові хвилі потрапляють у порожнину рота. Для вимови кожного приголосного звуку необхідні особливе положення губ, язика і певна форма резонаторної порожнини в роті.

Ще декілька висновків щодо сприйняття звуків людиною:

- ✓ хвилі однакової амплітуди (гучності) людина сприймає, як менш гучні на високих та низьких частотах;
- ✓ з віком, на жаль, діапазон високих частот, які може сприймати людина, звужується;
- ✓ висота звуку формує мелодію і гармонію в музиці, дозволяючи нам розпізнавати ноти та інтервали;
- ✓ якщо джерело звуку наближається до спостерігача, то довжина хвилі буде сприйматися спостерігачем меншою, ніж реальна (звук буде здаватися вищим); і навпаки, при віддаленні джерела звуку спостерігач буде сприймати довжину хвилі більшою (звук буде здаватися нижчим). Це явище носить назву *ефект Доплера*.

**ДУМАЙ**

**1.** Назви акустичні та фізіологічні характеристики звуку. **2.** Поясни, чим відрізняється звук 40 дБ від 80 дБ. **3.** Джміль під час польоту «гуде» гучніше, ніж бджола. Хто із комах частіше змахує крилами? **4.** Чому людина сприймає звуки однакової амплітуди, але різних частот як звуки різної гучності? **5.** Чи буде відрізнятися звучання симфонічного оркестру в концертному залі й на відкритому просторі? Поясни. **6.** Що таке акустичний резонанс? Наведи приклади застосування акустичного резонансу.

**ДІЙ**

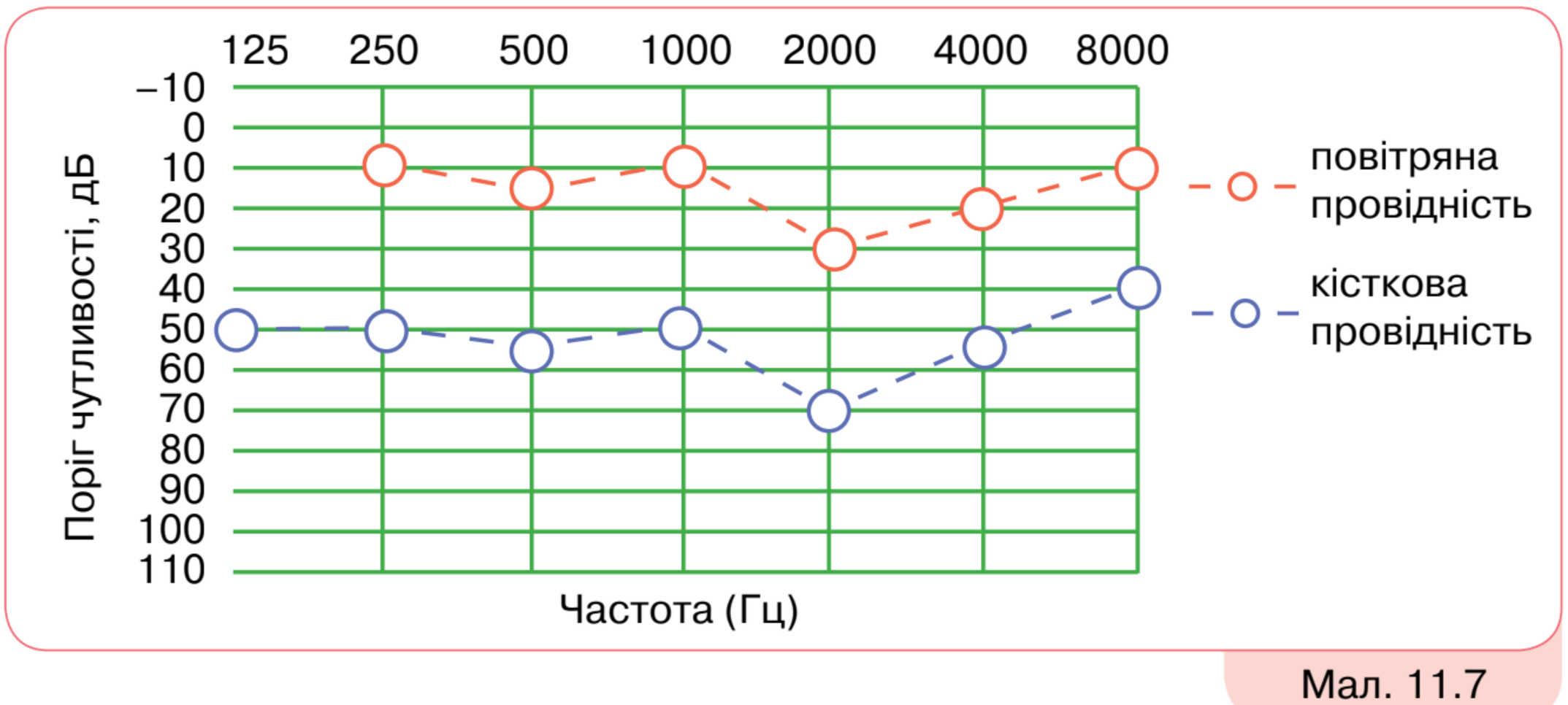
**1** Виконай вимірювання (у класі або вдома). Для цього завантаж додаток для вимірювання шуму (наприклад, Decibel X, Sound Meter, NIOSH Sound Level Meter). Проведи вимірювання рівня звуку в різних місцях. Занеси дані у таблицю.

| Локація | Час вимірювання | Середній рівень звуку (дБ) | Коментар |
|---|---|---|---|
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

Зроби висновки: де рівень звуку перевищує безпечні норми (60–70 дБ для постійного впливу).

Запропонуй 3–5 ідей для зменшення шуму.

**2** Для діагностики гостроти слуху використовують дослідження — аудіограму. Вона являє собою графік, де на горизонтальній осі відображено частоти. Вертикальна вісь аудіограми визначає поріг чутливості — найтихіший звук, який людина може чути на відповідній частоті. Якщо слух гарний, то аудіограма вийде плоскою та буде розміщена на рівні 20 дБ. На мал. 11.7 представлено результат деякого дослідження.




Мал. 11.7

Проаналізуй аудіограму.

- Який поріг чутливості для повітряної провідності при частоті 2000 Гц?
- Яке значення має поріг кісткової провідності при 4000 Гц?
- На якій частоті різниця між повітряною та кістковою провідністю найбільша?
- Скільки становить ця різниця в децибелах?
- На яких частотах повітряна та кісткова провідність майже однакові?
- Опиши, як змінюється поріг повітряної провідності в діапазоні від 250 до 8000 Гц.
- Опиши, як змінюється кісткова провідність у цьому ж діапазоні.
- Зроби висновок: який тип слухового порушення показує ця аудіограма — кондуктивне (передавання звуку) чи сенсоневральне (сприйняття звуку).
- Уяви, що пацієнту потрібно дібрати слуховий апарат. На якій частоті апарат повинен найбільше посилювати звук? Чому саме на цій частоті?
- Спроєктуй установку для отримання аудіограми. Скористайся будь-яким джерелом звуку й мобільним застосунком із визначення гучності та частоти звуку.

**3** Виконай завдання за симуляцією 11.2 .

## ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

**Виконуй досліди з дотриманням правил безпеки життєдіяльності!**

1 Обгорни паперовий стаканчик канцелярською резинкою. Розтягуй і відпускай резинку з різних боків стаканчика. Поясни, чому змінюється звучання.

2 Спробуй «побачити» звук. Накрий чашку плівкою та насип на неї трохи пшона (мал. 11.8). Увімкни мелодію на смартфоні та піднеси його до чашки. Збільшуй гучність звуку й спостерігай, що відбуватиметься.



Мал. 11.8

3 Досліди власне сприйняття звуку. Тобі знадобиться мотузка довжиною близько 1 м, лінійка або рулетка, вата. Обкрути мотузку навколо голови так, щоб вона проходила по вухах, а її кінці зійшлися перед очима (мал. 11.9). Смикни пальцем мотузку, ніби струну. Чуєш звук? Який він? Натягни мотузку сильніше. Як змінюється звук? Посмикай мотузку на різних відстанях. Як це впливає на гучність звуку? Затули вуха ватою. Повтори попередні дії. Як змінилися рівень гучності та висота звуку? Занотуй результати дослідження. Зроби висновок, у якому зазнач, від чого залежать вібрація нитки та гучність звуку. Яка провідність звуку — в тілі людини чи в повітрі — є кращою? Чому?



Мал. 11.9

## Візьми участь у груповій роботі

4 Перевір ефект Доплера.

✓ Об'єднайтесь в пари. Виконайте дослідження практично. Вам знадобиться смартфон з додатком-генератором тону (наприклад, «Tone Generator» або подібний, де можна вибрати фіксовану частоту, бажано 500–1000 Гц).

Один учень / одна учениця (спостерігач / спостерігачка) стоїть нерухомо в певному місці. Інший учень / інша учениця (експериментатор / експериментаторка) тримає увімкнений смартфон з тоном і починає швидко, але безпечно бігти прямо до спостерігача, а потім пробігає повз нього і віддаляється. Завдання для спостерігача: уважно слухайте звук. Опишіть, як змінюється висота тону смартфона під час його наближення, проходження повз і віддалення.

✓ Виконайте дослідження теоретично. Сирена машини швидкої має частоту $\nu_0 = 700$ Гц. Вона рухається до нерухомого спостерігача зі

швидкістю 30 м/с. Швидкість звуку в повітрі — 340 м/с. Обчисліть, яку частоту чує спостерігач, коли машина: а) наближається; б) віддаляється. Зробіть висновок: як зміна швидкості авто впливає на сприйняту частоту.

Візьміть до уваги, що $\nu = \nu_0(v \pm v_{сп}) / (v \pm v_{дж})$, де $\nu$ — спостережувана частота, $\nu_0$ — початкова (випромінювана) частота, $v$ — швидкість звуку в середовищі, $v_{сп}$ — швидкість спостерігача, а $v_{дж}$ — швидкість джерела. Верхні знаки використовують при русі назустріч, а нижні — при віддаленні джерела або спостерігача.

## ОПРАЦЮЙ ІНФОРМАЦІЮ

**1** Підготуй інформаційний проєкт на одну із запропонованих тем або самостійно обери тему.

1. «Звуки живої природи».
2. «Як захистити свій слух від набутих вад».
3. «Вади слуху».

**2** На основі цього тексту склади профорієнтаційну рекламу однієї із професій.

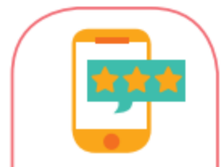
Знання про звук є основою для багатьох сучасних професій у науці, техніці, медицині та мистецтві. Інженери-акустики досліджують поширення звукових хвиль і проєктують приміщення з оптимальною акустикою — концертні зали, театри, студії звукозапису, а також розробляють системи шумозахисту в містах і на виробництві.

Аудіоінженери та звукорежисери працюють зі створенням, записом, обробкою й відтворенням звуку в музиці, кіно, телебаченні та цифрових медіа, використовуючи фізичні знання про частоту, гучність і тембр.

У медицині знання про звук застосовують лікарі-діагности та інженери-біомедики під час ультразвукових досліджень, а також сурдологи й аудіологи, які займаються діагностикою та корекцією порушень слуху.

В інженерії та науках про Землю знання про звук і хвилі потрібні геофізикам і сейсмологам для дослідження надр планети, а також фахівцям із неруйнівного контролю матеріалів.

Крім того, звук відіграє важливу роль у сфері інформаційних технологій, де спеціалісти з обробки сигналів, штучного інтелекту та мовних технологій розробляють системи розпізнавання мовлення й акустичного аналізу. Отже, розуміння фізичних властивостей звуку відкриває широкі можливості для професійної діяльності в різних галузях і поєднує природничі науки з інженерією, технологіями та творчістю.



11.3
11.4

## ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

**1** Ти умієш описувати різні види механічного руху і визначати положення тіла у будь-який момент часу.
Рівномірний прямолінійний рух — швидкість постійна: $s = v \cdot t$.
Рівнозмінний прямолінійний рух — швидкість змінна, прискорення постійне: $v = v_0 + at$.

**2** Ти можеш за заданими силами визначити характер руху або за відомим рухом визначити сумарну силу.

| 1 закон Ньютона | 2 закон Ньютона | 3 закон Ньютона |
|---|---|---|
| Існують такі системи відліку, відносно яких матеріальна точка зберігає стан спокою або рівномірного прямолінійного руху, якщо на неї не діють інші тіла або дію зовнішніх тіл скомпенсовано | В інерціальній системі відліку прискорення $\vec{a}$, якого набуває тіло масою $m$ під дією сили $\vec{F}$, прямо пропорційне силі, обернено пропорційне масі тіла і має той самий напрям, що й прикладена сила: $\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$ | В інерціальній системі відліку сили, із якими взаємодіючі тіла діють одне на одне, напрямлені вздовж однієї прямої, рівні за модулем та протилежні за напрямком: $\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$ |

**3** Ти розумієш, що закони збереження — це фундаментальні закони, які допомагають аналізувати рух і взаємодію тіл у механічних системах, а також передбачати результати їхніх взаємодій.

**ЗАКОНИ ЗБЕРЕЖЕННЯ В МЕХАНІЦІ**

**Закон збереження механічної енергії**

У замкненій системі тіл, які взаємодіють тільки силами пружності та силами тяжіння, повна механічна енергія зберігається:
$E_{к_0} + E_{п_0} = E_к + E_п$

**Закон збереження імпульсу**

У замкненій системі тіл векторна сума імпульсів тіл залишається незмінною після будь-яких взаємодій тіл цієї системи між собою:
$m_1\vec{v}_{0_1} + m_2\vec{v}_{0_2} = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2$

**4** Ти можеш пояснити коливальні та хвильові рухи.
**Коливання** — це повторювані у часі рухи біля положення рівноваги, основа хвильових процесів. **Механічна хвиля** — це поширення коливань у просторі з перенесенням енергії без перенесення речовини. Довжина $\lambda$, швидкість та частота хвилі пов'язані формулою: $v = \lambda \cdot \nu$.
**Звук** — це механічні *поздовжні хвилі* в пружному середовищі в діапазоні частот від 16 Гц до 20 000 Гц. **Основні характеристики звуку**: *висота* → визначається частотою (Гц); *гучність* → залежить від амплітуди (дБ).

## ПЕРЕВІР СЕБЕ

### 1 Як ти умієш досліджувати природу

Уяви, що ви з друзями вирішили перевірити, чи дійсно зміна стану руху зумовлена дією сил.

- ✓ Сформулюй гіпотезу: за яких умов швидкість тіла може змінюватися?
- ✓ Чи можлива зміна швидкості тіла без дії інших тіл? Обґрунтуй відповідь.
- ✓ Обери тіла, із якими проводитимеш досліди. Ти можеш проводити дослідження у фізичній лабораторії зі спеціальним обладнанням або просто на вулиці із наявними у тебе засобами (наприклад, скейборди, інерційні машинки тощо).
- ✓ Склади план свого дослідження.
- ✓ Які величини ти спостерігатимеш або вимірюватимеш (швидкість, час, відстань, напрям руху)?
- ✓ Як змінити умови досліду так, щоб зменшити дію сил опору?
- ✓ Які умови дозволять наблизитися до ситуації «сили відсутні або скомпенсовані»?
- ✓ Зроби схематичний малюнок досліду. Познач сили, що діють на тіло в різні моменти досліду.
- ✓ Як твої результати підтверджують або спростовують початкову гіпотезу?
- ✓ Які обмеження має твій експеримент?
- ✓ Сформулюй власний висновок: що є причиною зміни стану руху тіла?
- ✓ Чому в реальних умовах важко спостерігати рух без дії сил?

### 2 Як ти умієш опрацьовувати інформацію

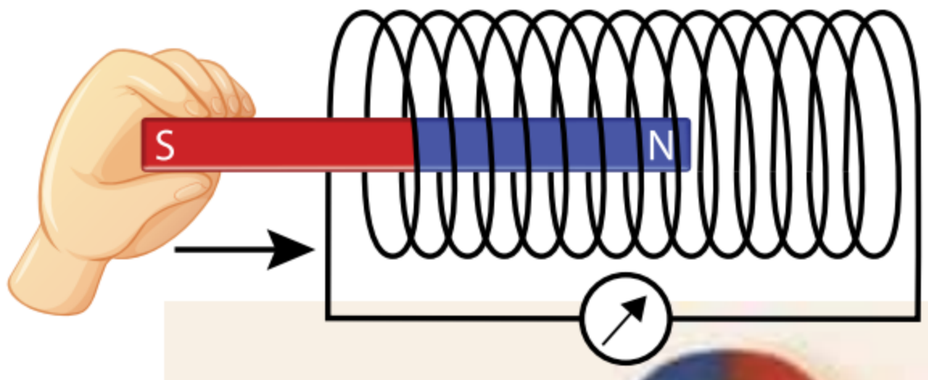
З'ясуй, яку роль відіграють знання про механічний рух у професії, яку ти розглядаєш як можливу для свого майбутнього.

Скориставшись відкритими джерелами (сайти університетів, професійні портали, відеоінтерв'ю з фахівцями), знайди інформацію про те:

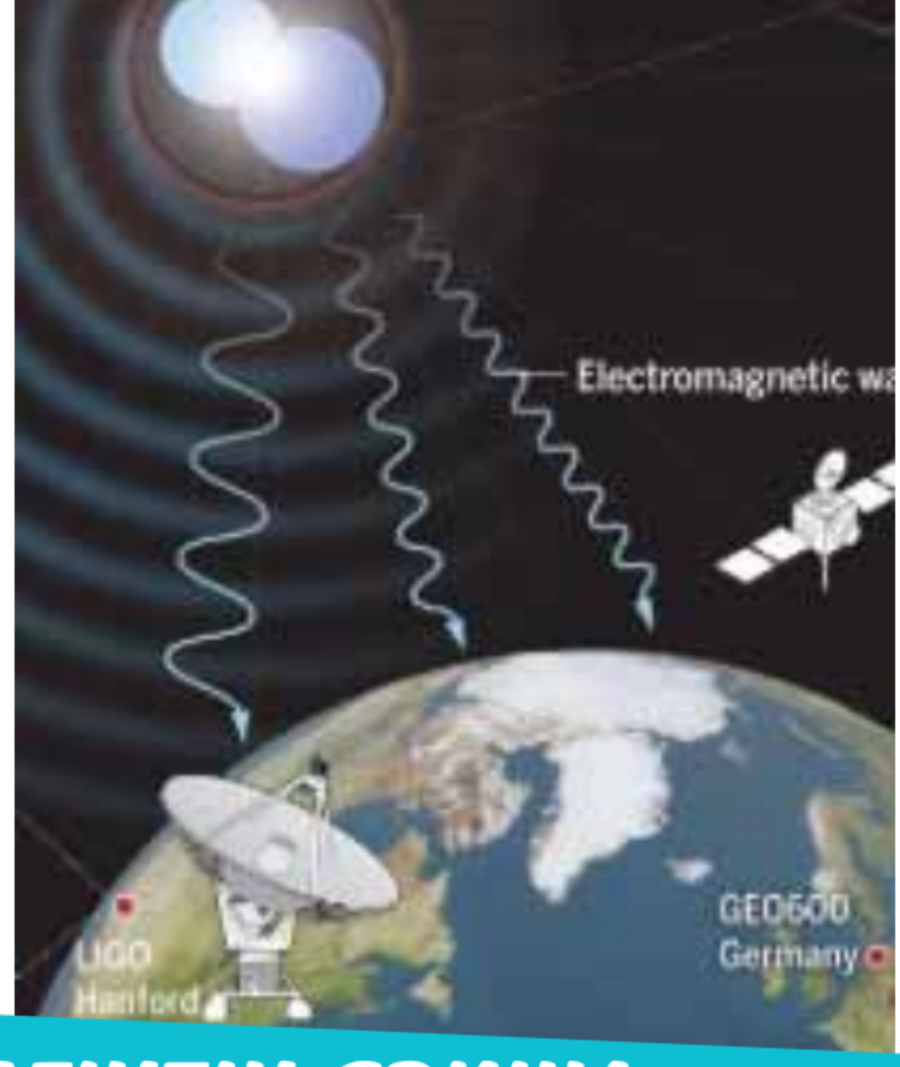
- ✓ у яких професійних діях представників обраної спеціальності застосовуються знання про механічний рух;
- ✓ які фізичні закони руху вони фактично застосовують у роботі;
- ✓ які наслідки може мати помилка у розумінні руху (ризики, аварії, неточності).

### 3 Як ти усвідомлюєш закономірності природи

Уяви ситуацію: водій легкового автомобіля, рухаючись прямою ділянкою траси зі швидкістю 72 км/год, помітив попереду перешкоду і миттєво натиснув на гальма. Гальмівна система цього авто забезпечує стале прискорення величиною 5 м/с$^2$. Дорожня поліція, що прибула на місце, зафіксувала гальмівний шлях довжиною 45 метрів. Водій стверджує, що він не перевищував дозволену швидкість (90 км/год) і почав гальмувати вчасно. Чи правильні свідчення надав водій? Скільки секунд знадобилося автомобілю до повної зупинки? Як змінився б гальмівний шлях, якби дорога була мокрою?






# ТЕМА 2. ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ЯВИЩА. ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ КОЛИВАННЯ І ХВИЛІ

## ТИ НАВЧИШСЯ:

- досліджувати взаємодію постійних магнітів, дії магнітного поля на прямий провід та рамку зі струмом, умови виникнення індукційного струму, властивості електромагнітних хвиль;
- розрізняти постійний і змінний струм, електричне, магнітне та електромагнітне поле, постійні магніти та електромагніти, електродвигуни та електрогенератори, види електромагнітних хвиль.

## ТИ ЗРОЗУМІЄШ:

- природу магнітних властивостей речовини; явище електромагнітної індукції, механізм утворення індукційного струму, принципи дії електромагніту, електродвигуна, електрогенератора, бездротового радіозв'язку.

## ТИ ЗМОЖЕШ:

- визначати напрями: індукції магнітного поля, сили Ампера, індукційного струму;
- характеризувати прояви електромагнітних явищ в природі та застосування їх в техніці;
- розв'язувати задачі (різних типів);
- формулювати проблему й обирати стратегії її розв'язання;
- оцінювати та систематизувати інформацію, презентувати її в різних формах.

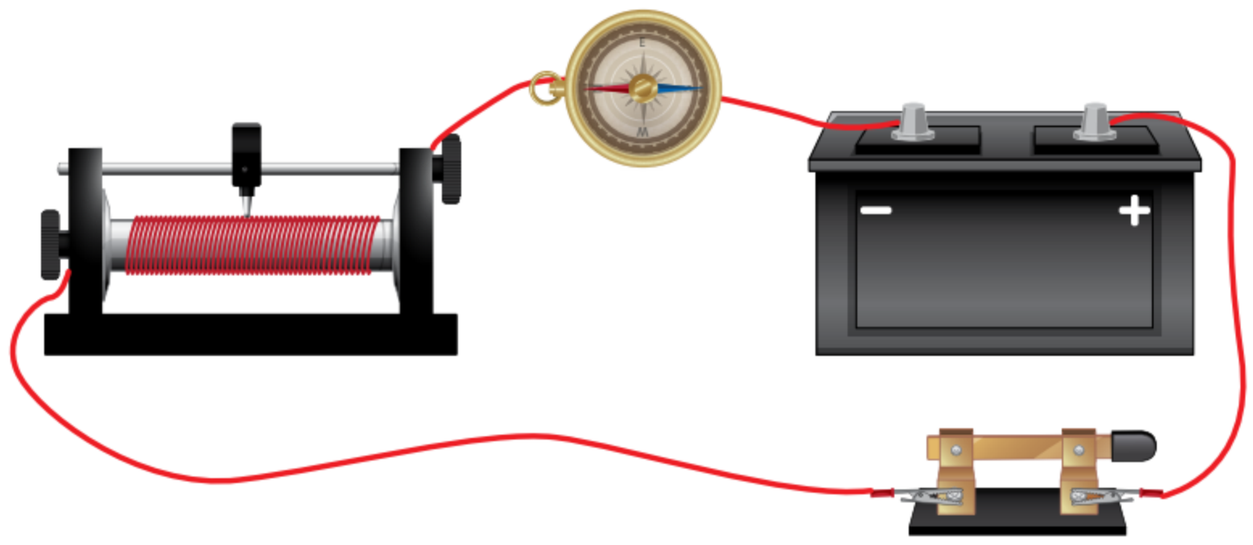
# § 12. ДОСЛІДЖУЄМО МАГНІТНІ ЯВИЩА



Пам’ятаєш, у 8 класі ми вивчали дії електричного струму — теплову, хімічну та магнітну. Цікаво, що магнітну взаємодію виявили завдяки уважності студентів.

## ДОСЛІДЖУЙ

Об’єднайтеся в пари. Повторіть історичний дослід Ерстеда (мал. 12.1). Розташовуйте компас під одним із проводів, потім над ним. Те саме повторіть із іншим проводом, обома проводами одразу. І щоразу фіксуйте поведінку стрілки компаса при вмиканні джерела струму.



Мал. 12.1

## ДІЗНАВАЙСЯ

***Дізнаємося про природу магнітної взаємодії.*** Тривалий час магнітні та електричні взаємодії вважали не пов’язаними між собою. І лише у 1820 р. данський учений Ганс Крістіан Ерстед виявив дію електричного струму на магнітну стрілку й змусив замислитися вчених про взаємозв’язок електричних і магнітних явищ. Г. Ерстед демонстрував своїм студентам теплову дію електричного струму. Біля проводу, який нагрівався електричним струмом, поруч випадково опинився компас. Один зі студентів помітив, що в момент замикання кола стрілка компаса змінювала свій напрямок, а в разі розмикання кола поверталася в початковий стан. Зацікавлений студент попросив Ерстеда пояснити, що відбувається. Однак професор не знав, що відповісти, він ніколи нічого подібного не бачив. До честі професора, він не відмахнувся від допитливого юнака, а повторив дослід і зробив… відкриття. Виявилося, що

між електричним струмом і магнетизмом існує взаємозв'язок! Ця подія стала початком нових досліджень вчення про *електромагнітні явища*.

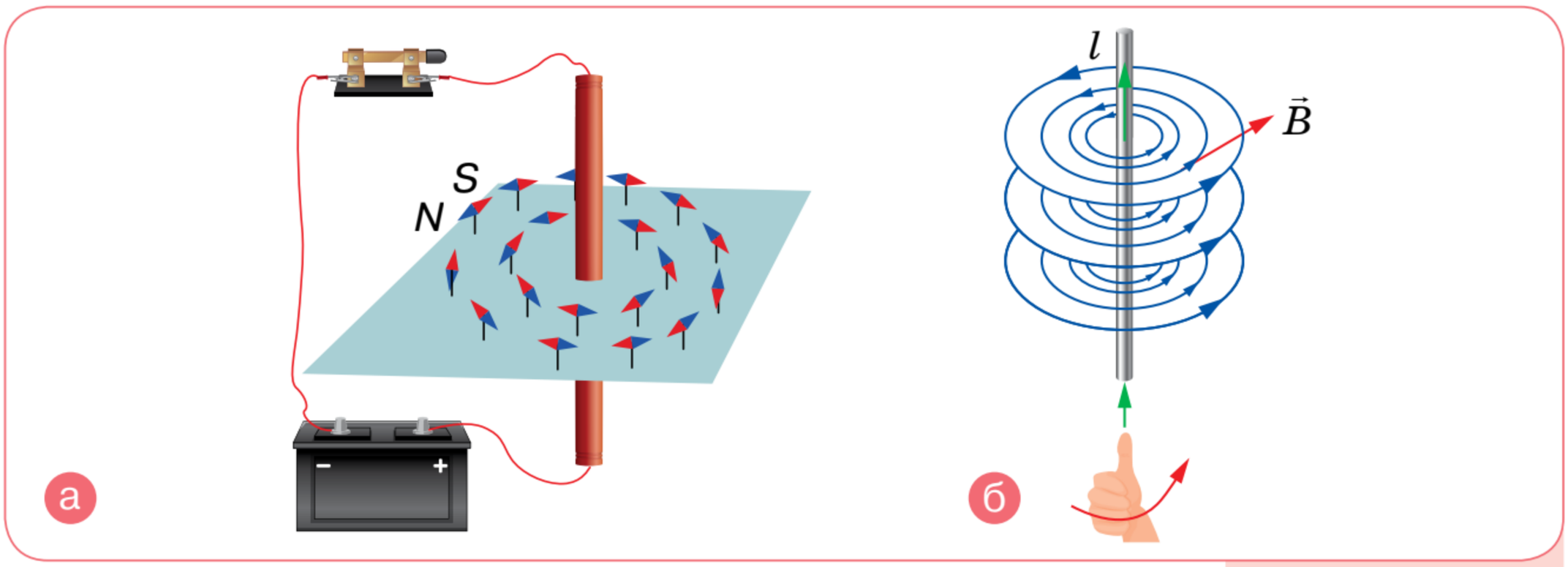
Сподіваюсь, тобі вдалося повторити дослід, і переконатися, що у разі замикання кола магнітна стрілка відхиляється від свого початкового положення. При розмиканні кола магнітна стрілка повертається у початкове положення. Це означає, що провід зі струмом і магнітна стрілка (магніт) взаємодіють один з одним. Оскільки провід і компас знаходяться на відстані один від одного, то взаємодія відбувається через поле. А от яке?

12.1

Вивчаючи у 8 класі електричні явища, ми з'ясували, що взаємодія між електрично зарядженими тілами здійснюється через електричне поле. Але, як видно з досліду, пояснити за допомогою електричного поля взаємодію стрілки і проводу, по якому проходить електричний струм, не можна. Адже електричне поле навколо проводу існує постійно, а обертання стрілки виникає лише у разі, якщо електрично заряджені частинки рухаються (у проводі виникає електричний струм). Отже, окрім електричного поля навколо проводу зі струмом виникає ще одне поле — магнітне.

Електричний струм і магнітне поле невіддільні один від одного. Електричний струм слід розглядати, як джерело магнітного поля. В цьому випадку кажуть: магнітне поле існує навколо будь-якого проводу зі струмом, тобто навколо рухомих електричних зарядів. (Часто для спрощення вираз «магнітне поле, що існує навколо проводу, по якому проходить струм» замінюють на вислів «магнітне поле струму».)

***Вивчаємо властивості магнітного поля.*** Як і у випадку електричного поля, магнітне поле досліджують за допомогою деякого індикатора. Для електричного поля це був пробний позитивний заряд, для магнітного поля — магнітна стрілка. За її допомогою можна виявити наявність магнітного поля, а застосовуючи багато маленьких магнітних стрілок, можна отримати наочну картину дії магнітного поля (мал. 12.2, а).




Мал. 12.2

Магнітне поле, створене навколо прямого проводу зі струмом, має кілька характерних властивостей. Магнітне поле утворює замкнені кола навколо проводу. Інтенсивність магнітного поля навколо прямого проводу зі струмом залежить від сили струму в проводі, відстані від проводу до точки спостереження. Магнітні поля відрізняються силою своєї дії. Фізичну величину, яка характеризує силову дію магнітного поля, називають *індукцією магнітного поля*.

Індукція магнітного поля є векторною величиною, її позначають літерою $\vec{B}$. Одиницею індукції є Тл (тесла).

Лінії, уздовж яких у магнітному полі розташовуються осі маленьких магнітних стрілок, називають *лініями індукції магнітного поля* (або просто *лініями магнітного поля*). За допомогою ліній індукції магнітного поля зручно зображати магнітне поле графічно. Число ліній, що перетинають одиницю поверхні, перпендикулярної до них, дорівнює (або пропорційне) індукції магнітного поля в даному місці. Тому, зображуючи лінії магнітного поля, можна наочно представити, як змінюється в просторі індукція магнітного поля.

За напрям ліній індукції магнітного поля взято напрям, який показує північний полюс магнітної стрілки у кожній точці магнітного поля.

Напрям магнітного поля визначається за допомогою *правила правої руки*: якщо великий палець правої руки вказує у напрямі струму в проводі, то зігнуті пальці вказують напрям магнітних ліній навколо проводу (мал. 12.2, б).

12.2

**ДУМАЙ**

**1.** У чому полягає суть та історичне значення досліду Ерстеда? **2.** Чим магнітне поле відрізняється від електричного? **3.** У який спосіб можна дізнатися, чи є електричний струм в проводі, не користуючись гальванометром чи амперметром? **4.** Що характеризує індукція магнітного поля?

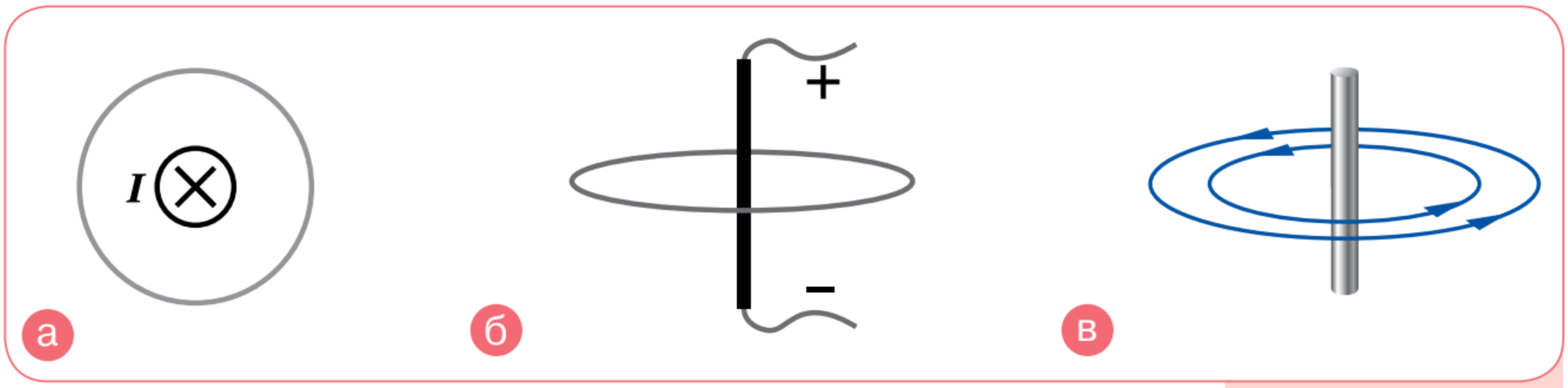
**ДІЙ**

## РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

**1** Склади коротку розповідь (6–8 речень) від імені студента, який першим помітив відхилення магнітної стрілки під час досліду.
У розповіді обов'язково відобрази:

- що саме здивувало студента;
- у який момент стрілка змінювала напрям;
- чому ця подія стала науково важливою.

**2** Установи напрям ліній індукції або напрям електричного струму на малюнках (12.3, а–в). Хрестик на малюнку 12.3, а позначає, що струм у проводі, поперечний переріз якого зображено малим колом, напрямлений від нас.




Мал. 12.3

**3** Поясни власними словами, чому електричним полем неможливо пояснити поворот магнітної стрілки в досліді Ерстеда.
Скористайся логічним ланцюжком:
«Електричне поле існує ... → стрілка поводиться ... → отже, причина полягає в ...»

**4** Склади таблицю із порівняням магнітного і електричного полів за такими показниками: джерело, індикатор, коли проявляється, графічне зображення.

## ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

**Виконуй досліди з дотриманням правил безпеки життєдіяльності!**

Досліди магнітне поле проводу зі струмом.

*Обладнання*: штатив, лист картону, залізні ошурки, магнітні стрілки, джерело струму, провід, реостат.

**1** Закріпи лист картону в штативі і проведи провід крізь отвір у ньому. Насип на картон тонкий шар залізних ошурок. Пропускай по проводу електричний струм і легко струшуй ошурки. Укажи, як розташувались ошурки. Постав на картон магнітні стрілки. Змінюючи напрям струму в проводі на протилежний, спостерігай за розташуванням стрілок.

**2** Виконай віртуальну лабораторну роботу 12.3 .

12.4

# § 13. ДОСЛІДЖУЄМО МАГНІТНІ ВЛАСТИВОСТІ РЕЧОВИНИ



От якщо причиною магнітної дії є електричний струм, то як пояснити, що магніти її теж проявляють?

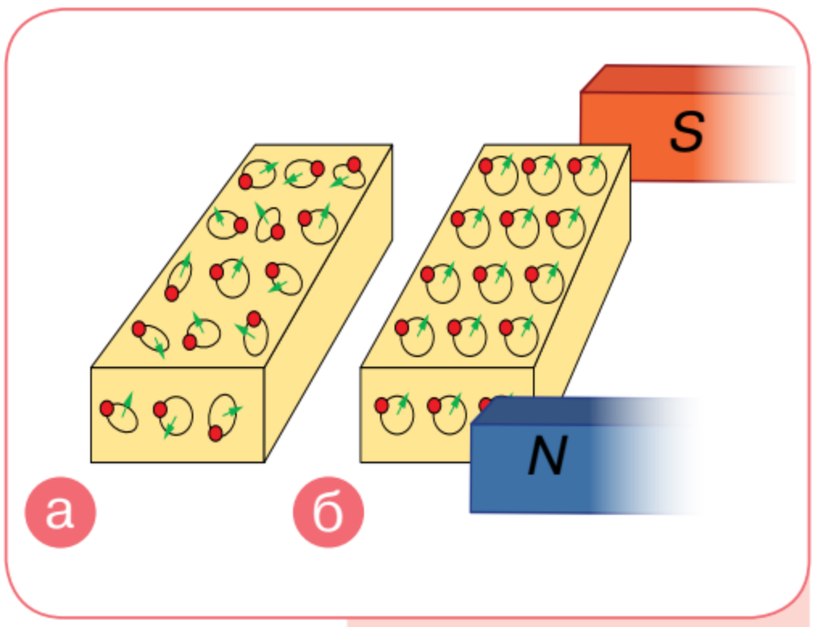
## ДОСЛІДЖУЙ

Зроби «магніт» власноруч і перевір його дію. *Обладнання*: магніт, ножиці, викрутка, залізні цвяхи, залізні голки, металеві скріпки. Доторкнися ножицями (викруткою) до магніту і потримай деякий час. Перевір, чи намагнітилися ножиці. Піднеси ножиці (викрутку) до залізних цвяхів, голок, скріпок.

## ДІЗНАВАЙСЯ

***Дізнаємося, чому магніти притягують предмети.*** Після того як стало доведено, що магнітна взаємодія тісно пов'язана з електричним струмом, французький вчений Андре-Марі Ампер припустив (як кажуть учені — висунув гіпотезу), що магнітні властивості речовини можуть пояснюватись існуванням електричних струмів, які циркулюють всередині кожної молекули. У часи Ампера про будову атома ще нічого не знали, і тому природа молекулярних струмів залишалася невідомою. Тепер ми знаємо, що в кожному атомі є негативно заряджені електрони. Внаслідок руху електронів виникають слабкі магнітні поля. (Це лише часткове пояснення магнітних властивостей речовини. Сучасні уявлення про природу магнетизму ґрунтуються на законах квантової механіки.)

У більшості випадків внаслідок хаотичності руху електронів магнітні поля компенсують одне одного (мал. 13.1, а). Якщо ж речовину помістити в магнітне поле, то вона набуває магнітних властивостей, тобто намагнічується. У цьому випадку відбувається переорієнтація руху електронів, внаслідок чого створюється власне елементарне магнітне поле, яке набуває такого самого напряму, як і зовнішнє поле (мал. 13.1, б).




Мал. 13.1

13.1
13.2

Але не всім речовинам притаманна така властивість в однаковій мірі. Одні речовини намагнічуються сильніше (залізо, сталь), інші — слабше, а є й такі речовини, які при вміщенні їх у зовнішнє магнітне поле послаблюють його (це відбувається тому, що їх власне поле і зовнішнє поле орієнтуються протилежно). Виходячи із такої поведінки різних речовин у магнітному полі, їх поділяють на три групи: *діамагнетики*, *парамагнетики* і *феромагнетики*.

До *діамагнетиків* належать інертні гази, більшість органічних сполук, багато металів (вісмут, цинк, золото, мідь, срібло, ртуть тощо), смоли, вода, скло тощо. При внесенні діамагнітної речовини у магнітне поле в кожному її атомі виникає власне магнітне поле, напрямлене протилежно до зовнішнього магнітного поля.

До *парамагнетиків* належать: кисень, оксид азоту, алюміній, платина, рідкісноземельні елементи, лужні й лужноземельні метали тощо. У парамагнітному тілі виникає власне магнітне поле, напрямлене в той самий бік, що й зовнішнє магнітне поле.

Феромагнітними речовинами — *феромагнетиками* — називають такі речовини, у яких внутрішнє (власне) магнітне поле може в сотні й тисячі разів перевищувати зовнішнє магнітне поле, що його спричинило. До феромагнетиків належать залізо, нікель, кобальт і ряд сплавів, причому феромагнетизм виявлено лише у кристалічному стані переліченых речовин.

Феромагнітні речовини, якщо їх винести із зовнішнього магнітного поля, ще довго зберігають стан намагніченості і створюють власне магнітне поле. Саме ці речовини використовують для виготовлення постійних магнітів (Permanent magnet).

***Досліджуємо взаємодію постійних магнітів.*** У природі є природні магніти — поклади залізної руди (магнітний залізняк), у яких існує природна орієнтація руху електронів. На уроках фізики ми найчастіше будемо використовувати штучні магніти: плоский (його ще називають смуговий, або штабовий) та дуговий (підковоподібний), виготовлені зі спеціальної сталі та намагнічені дією сильного магнітного поля. З часом такі магніти можуть втратити намагніченість. Особливо швидко це може відбутися, якщо нагрівати магніти або вдаряти їх. Спробуй самостійно пояснити, чому так відбувається.

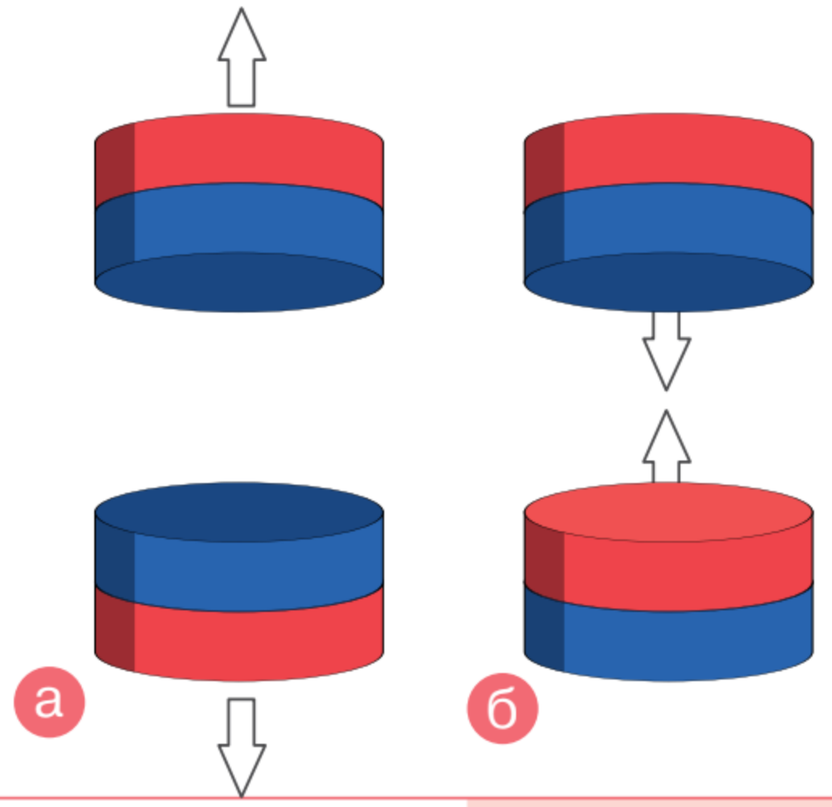
На практиці як деталі технічних пристроїв використовують постійні магніти різних форм (мал. 13.2).




Мал. 13.2

Досліджуючи магнітну взаємодію за допомогою магнітів, було встановлено, що:

- ✓ залізні предмети інтенсивніше притягуються до певних ділянок магніту, які отримали назву *полюси*;
- ✓ два магніти можуть притягуватись або відштовхуватись один від одного (мал. 13.3).



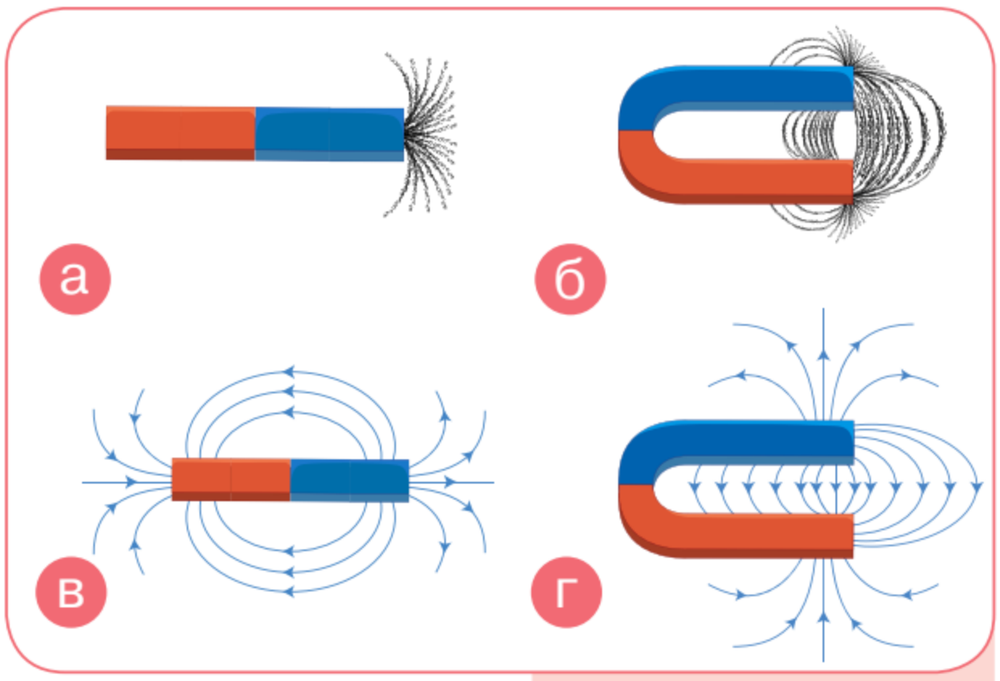

Мал. 13.3

*Зверни увагу*, що, опрацьовуючи інформацію інтернету або зарубіжних журналів, тобі досить часто зустрічатимуться зображення магнітів із літерами $N$ і $S$ — це перші літери англійських слів North і South, що в перекладі означає «північний» і «південний». При цьому одним і тим самим кольором можуть позначати як північний полюс $N$, так і південний $S$ (мал. 13.4).




Мал. 13.4

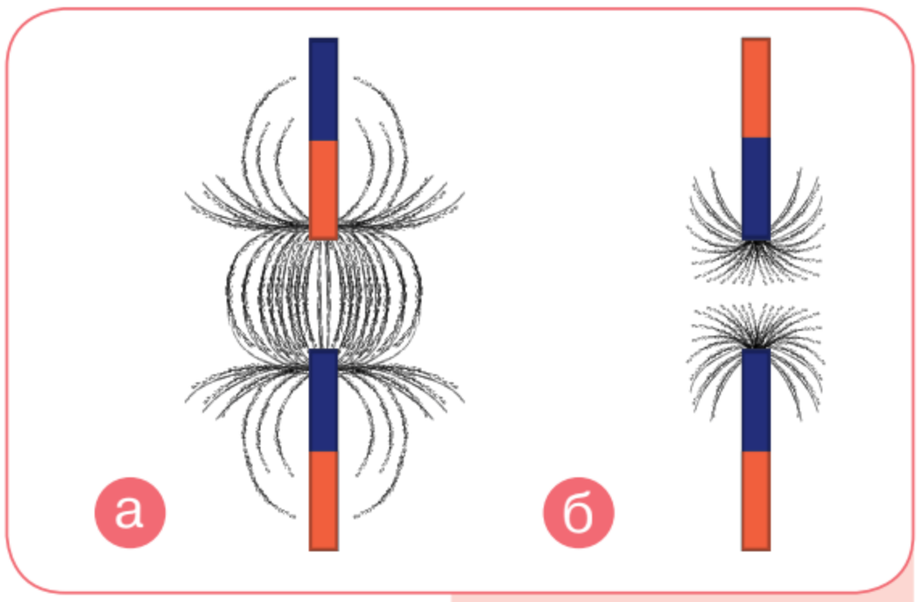
Магнітне поле навколо магніту можна виявити як за допомогою магнітних стрілок, так і за допомогою залізних ошурок. У магнітному полі ошурки намагнічуються і стають маленькими магнітними стрілками. На малюнку 13.5, а, б зображено світлини ліній магнітних полів постійних магнітів. На малюнку 13.5, в, г ти бачиш їх схематичні зображення.



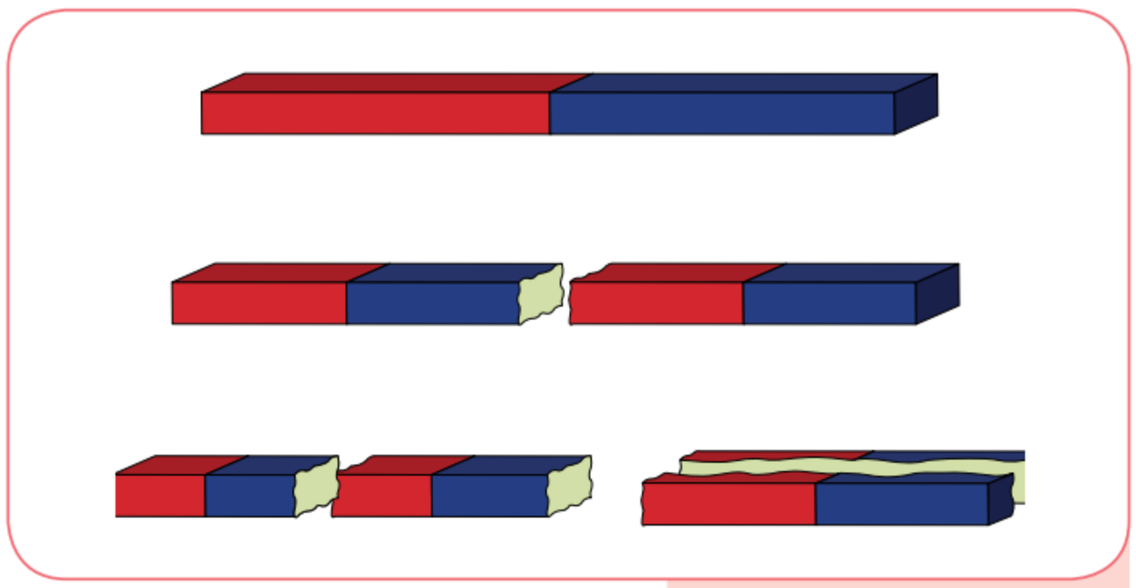

Мал. 13.5

У притяганні і відштовхуванні магнітів можна переконатися, розглянувши силові лінії магнітних полів двох магнітів, розташованих різноіменними полюсами один до одного (мал. 13.6, а) та однойменними полюсами (мал. 13.6, б).

На відміну від електризації, коли можна отримати окремо позитивно заряджене тіло і окремо негативно заряджене тіло, отримати магніт з окремим полюсом неможливо. Як би ми не ділили магніт, найдрібніший його шматок завжди буде мати два полюси — північний і південний (мал. 13.7).



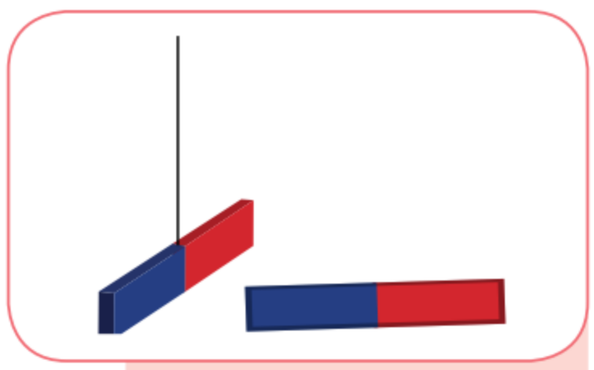

Мал. 13.6



Мал. 13.7

**ДУМАЙ**

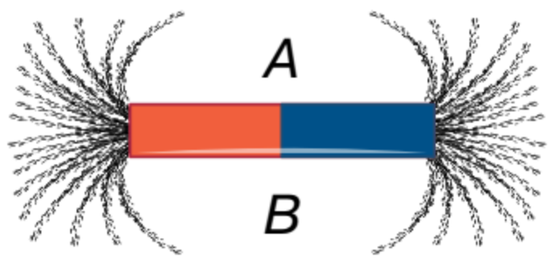
**1.** Як Ампер пояснював намагніченість речовин, зокрема заліза? **2.** Які тіла називають постійними магнітами? **3.** Чому під час нагрівання магніт втрачає свої властивості? **4.** Що називають полюсами магніту? Як взаємодіють між собою магніти, зображені на мал. 13.8? **5.** У чому схожість і відмінність між електричною взаємодією заряджених тіл і магнітною взаємодією двох магнітів?



Мал. 13.8

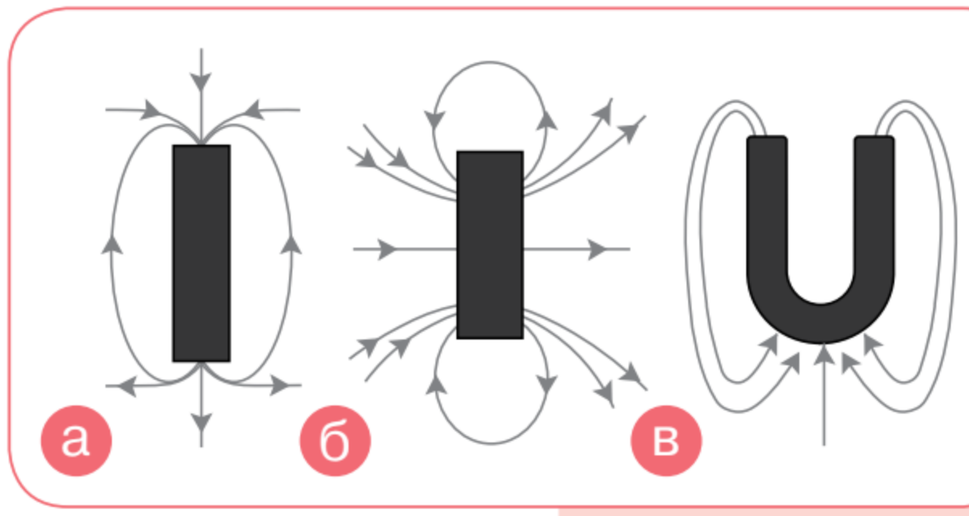
**ДІЙ**

## РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ




Мал. 13.9

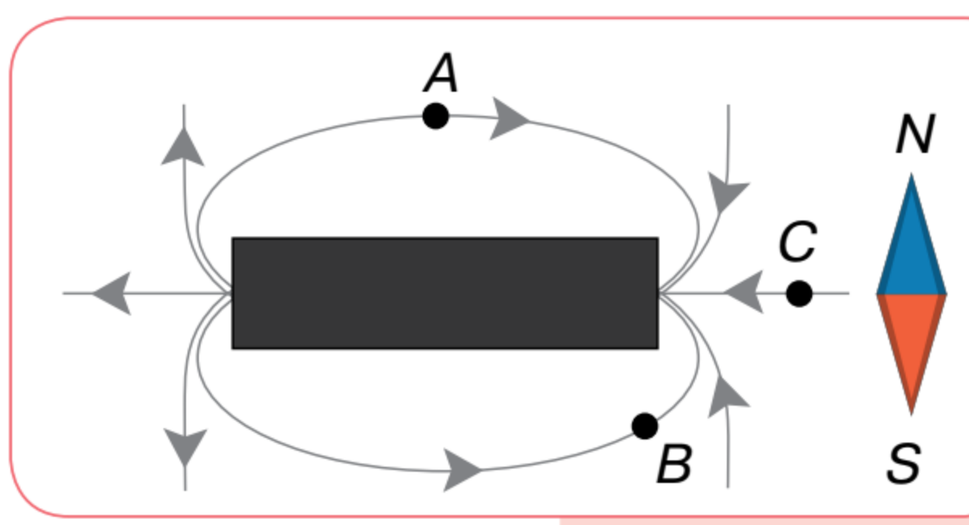
**1** Середина магніту (мал. 13.9) не притягує залізні ошурки. Чи будуть притягувати ошурки половинки магніту, якщо його розламати по відрізку $AB$?




Мал. 13.10

**2** Наведи приклади діа-, пара-, феромагнетиків, скориставшись Періодичною таблицею хімічних елементів.

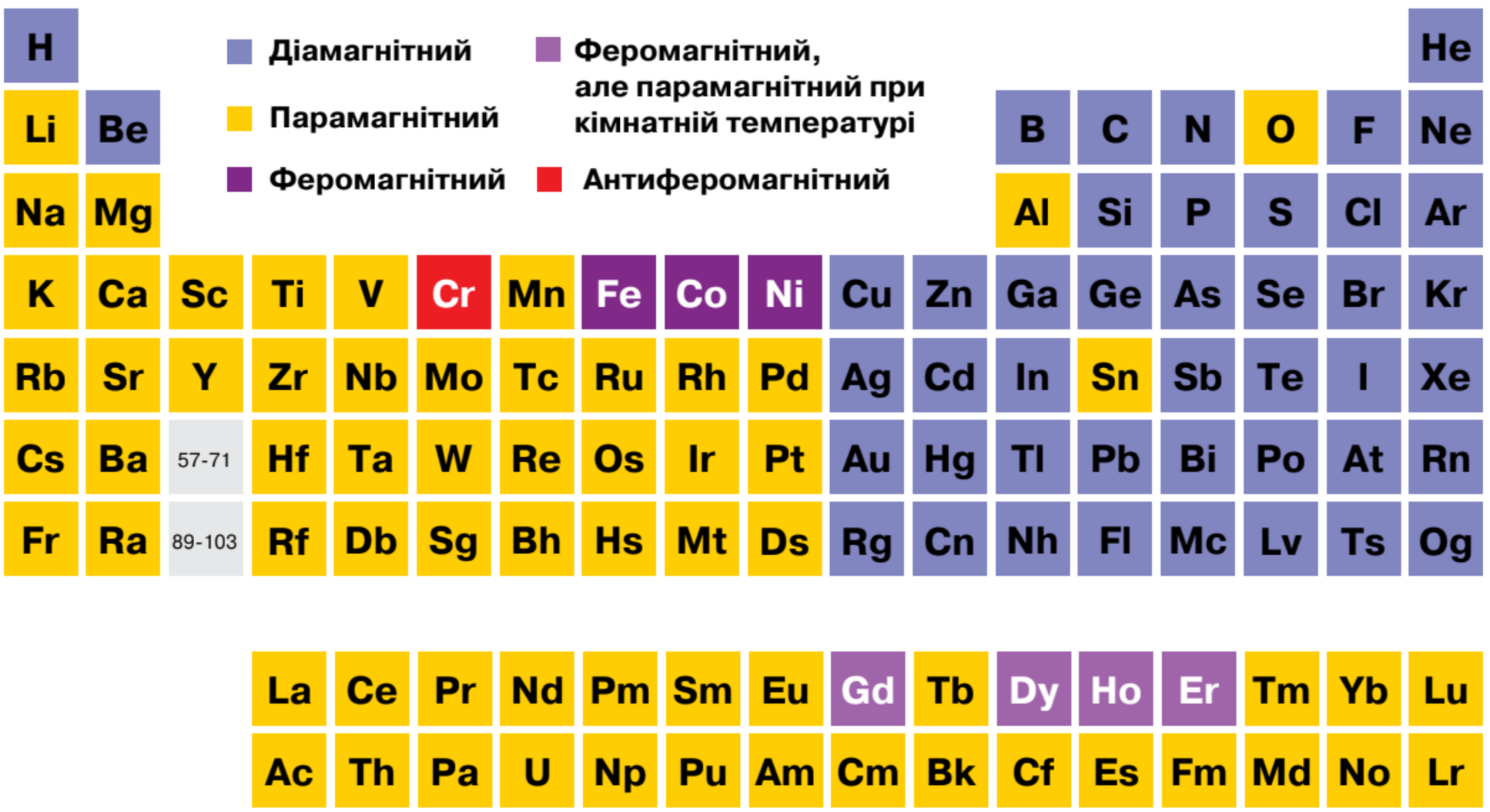
**3** За зображеними на мал. 13.10 лініями магнітного поля постійних магнітів встанови їх магнітні полюси.




Мал. 13.11

**4** На мал. 13.11 зображено магніт та магнітну стрілку (вид згори). За напрямом силових ліній познач полюси магнітів. Як буде розташовуватися магнітна стрілка, якщо її розміщувати в точках $A$, $B$, $C$.

**5** Виконай завдання за симуляціями 13.3, 13.4.




## ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

**Виконуй досліди з дотриманням правил безпеки життєдіяльності!**

### Візьми участь у груповій роботі

**1** Досліди магнітні властивості предметів із заліза, алюмінієвої фольги, міді та води.

*Обладнання*: дуже сильний магніт (наприклад неодимовий), залізний цвях, алюмінієва фольга, мідна монета, вода у пластиковій пляшці. Піднось предмети до магніту. Спостерігай за взаємодією предметів із магнітом. Установи магнітний тип речовини.

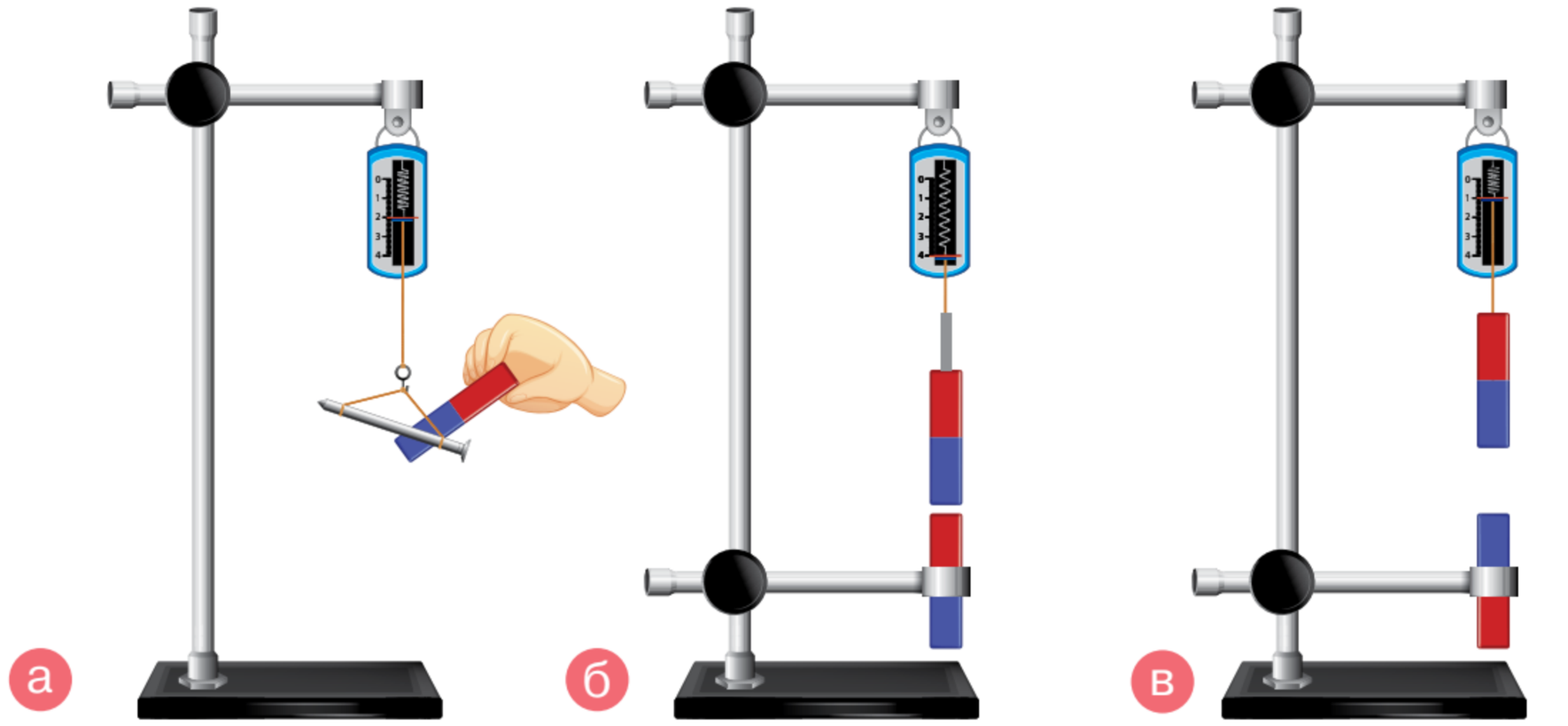
**2** Досліди властивості магнітної взаємодії.

*Обладнання*: штатив, динамометр, залізний цвях, два постійні магніти.

Піднось по черзі магніт різними його частинами до залізного цвяха, закріпленого на динамометрі (мал. 13.12, а). Спостерігай, як притягується цвях до полюсів магніту, посередині магніту.

Опиши характер взаємодії та вимріяй силу взаємодії магнітів між однойменними полюсами (мал. 13.12, б) та між різнойменними полюсами (мал. 13.12, в).

**3** Відтвори картину ліній магнітної індукції постійних магнітів, скориставшись залізними ошурками. Зобрази лінії магнітних полів підковоподібного й прямого магнітів.




Мал. 13.12

## ОПРАЦЮЙ ІНФОРМАЦІЮ

1. Дізнайся про феромагнітну рідину. Приготуй її. Скористайся відеоінструкцією.
2. Дізнайся про магнітні властивості людського організму. Як ці властивості використовують у магніто-резонансній томографії.
3. Дізнайся про магнітну левітацію. Підготуй повідомлення про використання магнітної левітації.
4. Дізнайся про професії, які потребують знання властивостей магнітного поля.

13.5

# § 14. ДОСЛІДЖУЄМО МАГНІТНЕ ПОЛЕ ЗЕМЛІ

Як дослідити магнітне поле Землі?

О, це просто. Взяти компас і визначити його полюси.



Це так. Але ось чому Земля має магнітне поле? І цікаво, що змінилося б, якби його не стало?

## ДОСЛІДЖУЙ

Досліди магнітне поле Землі. *Обладнання*: компас, програма «магнітометр» у смартфоні.

Визнач за допомогою компаса напрям ліній магнітного поля. Розташовуй компас у різних місцях кабінету, в коридорі, на вулиці. Заван-

таж і відкрий на смартфоні додаток для вимірювання магнітного поля. Перевір, яке значення магнітного поля показує прилад (у мікротеслах). Зроби кілька замірів у різних напрямах (поверни смартфон на схід, захід, північ, південь). Перевір значення у різних місцях: у приміщенні та на вулиці.

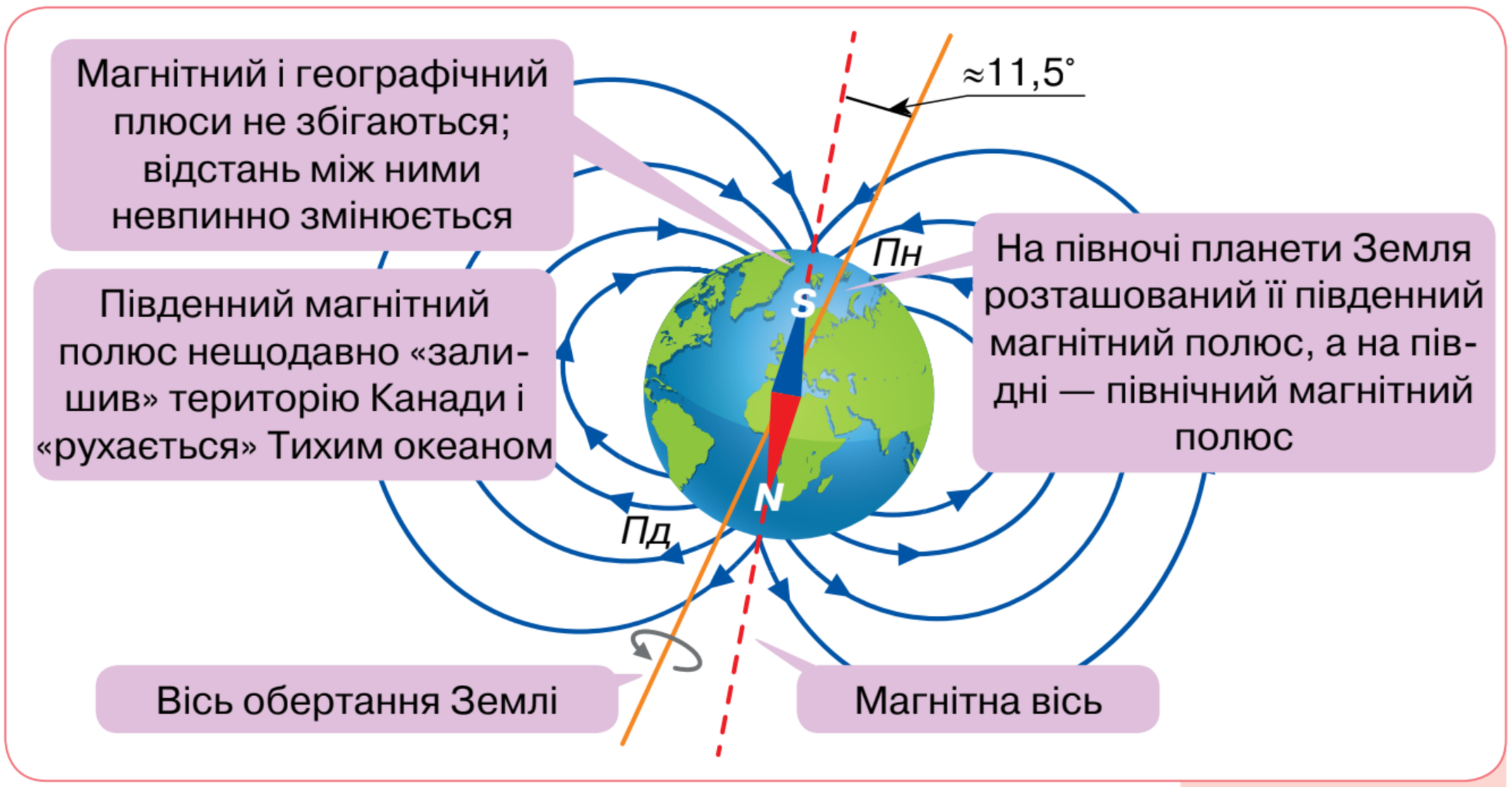



Зроби висновок: чи впливають на результати вимірювань поблизу розташовані електроприлади та металеві предмети.

## ДІЗНАВАЙСЯ

***Дізнаємося про магнітне поле Землі.*** Припущення про те, що планета Земля є величезним магнітом, зробив Вільям Гільберт (1544–1603) на основі такого досліду. Він виготовив із магнітного залізняка величезну кулю — «магнітний глобус Землі». Обводячи навколо цієї кулі компас, він побачив, що орієнтація стрілки компаса така сама, як і у випадку подорожі навколо земної кулі (мал. 14.1). Магнітна стрілка компаса щомиті відчуває магнітну дію Землі. Найсильніша магнітна дія Землі виявляється біля її географічних полюсів. От тільки із їх точним розташуванням і назвами виникає плутанина.

Географічний полюс і північний магнітний полюс розташовані в Північній півкулі (в Арктиці, неподалік від Канади). Це та точка, куди вказує стрілка компаса. Якщо розглядати Землю як величезний магніт, то північний кінець магнітної стрілки компаса притягується до південного магнітного полюса Землі. Тому фізично те, що ми називаємо «північним магнітним полюсом», насправді є фізичним південним полюсом магнітного поля Землі.




Мал. 14.1

Окрім того, магнітні полюси не стоять на місці, оскільки магнітне поле Землі створюється рухом рідкого заліза та нікелю у зовнішньому ядрі планети. Ці постійні рухи відомі як *геодинамо*. Вчені-геофізики навчилися визначати, яким було магнітне поле Землі тисячі й мільйони років тому. Багато гірських порід зберігають незмінним напрям власного магнітного поля, утвореного під дією магнітного поля Землі. Знаючи вік породи, можна виявити, який напрям мало магнітне поле Землі в той час. Дослідження таких гірських порід показали, що магнітні полюси, а разом з ними і все магнітне поле Землі з часом переміщуються, причому це переміщення досить складне. Більш того, вчені виявили, що за останні мільйони років магнітні полюси Землі «мінялися місцями» сім разів!

За останні десятиліття швидкість дрейфу полюсів значно зросла. Раніше вони переміщувалися приблизно на 10–15 км за рік, а зараз ця швидкість сягає 50–60 км за рік.

***Яка роль магнітного поля Землі?*** Магнітне поле Землі відхиляє заряджені частинки сонячного вітру та космічного випромінювання, створюючи навколо планети своєрідний «екран» — магнітосферу, тим самим воно надійно захищає поверхню Землі від космічного випромінювання, яке згубно діє на живі організми (мал. 14.2, а). Магнітне поле допомагає утримувати атмосферу від її розсіювання в космос під впливом сонячного вітру. Без цього «щита» атмосфера Землі могла б бути здута, як це сталося з атмосферою Марса.

14.1

Дивовижне природне явище — полярне сяйво — виникає через те, що заряджені частинки, із яких складаються космічні промені, проникають в атмосферу Землі і внаслідок магнітної дії спрямовуються до магнітних полюсів. Ці заряджені частинки космічних променів взаємодіють з частинками атмосфери і змушують їх випромінювати видиме світло (мал. 14.2, б). Полярні сяйва на півночі та півдні зазвичай виникають майже одночасно і часто мають подібні форми, бо вони пов'язані з тими самими потоками частинок сонячного вітру.




Мал. 14.2

У періоди сонячної активності з поверхні Сонця у космічний простір викидаються потоки заряджених мікрочастинок, електронів і протонів.

Потоки цих частинок утворюють магнітне поле, яке своєю дією змінює магнітне поле Землі і викликає магнітне збурення. Так звані магнітні бурі сильно впливають на роботу різних радіоелектронних приладів, стан і життєдіяльність організму людини, викликають полярні сяйва в незвичних місцях.

На земній поверхні виявлено області, у яких напрям магнітної стрілки постійно відрізняється від напряму силових ліній магнітного поля Землі. Такі області називають *областями магнітної аномалії* (від латинського слова аномалія — «відхилення», «ненормальність»). Такі аномалії пояснюються впливом на магнітне поле Землі магнітних полів залізняків — покладів залізних руд, магнітних речовин. В Україні кілька місць магнітних аномалій: Криворізький залізорудний басейн (Дніпропетровська обл.), Кременчук (Полтавська обл.), Приазов'я (Запорізька обл., частково Донецька), Житомирська та Київська області (частина Українського кристалічного щита). За магнітними аномаліями геологи визначають місця залягання рудних покладів (залізо, марганець, титан).

Магнітне поле дозволяє використовувати компаси для орієнтування, що було критично важливим для мореплавства та картографії. Сьогодні широко застосовуються GPS-системи, проте магнітний компас залишається резервним і надійним засобом орієнтування. Багато тварин, таких як перелітні птахи та черепахи, також використовують магнітне поле для навігації під час міграцій.

**ДУМАЙ** 1. Що є джерелом утворення магнітного поля Землі? 2. Яка головна функція магнітного поля Землі? 3. У якому напрямі орієнтується північна стрілка компаса? 4. Які із перелічених явищ пов'язані із магнітним полем Землі: полярні сяйва, озонова діра, глобальне потепління, дрейф континентів?

## ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

**Виконуй досліди з дотриманням правил безпеки життєдіяльності!**

**Сконструюй компас самостійно.**

*Обладнання*: голка (або тонкий металевий цвях), магніт (маленький, наприклад з холодильника), чаша або склянка з водою, пінопласт, папір, корок або шматок пластику, компас для перевірки.

Проведи голкою вздовж магніту 20–30 разів в одному напрямі. Це надає голці магнітні властивості — один її кінець буде «північним», інший — «південним». Візьми шматок пінопласту, корка або щільного паперу. Поклади голку горизонтально зверху, щоб вона не падала. Обережно поклади цей «пліт» з голкою на воду в склянці або мисці. Важливо, щоб ніщо

не заважало вільному обертанню. Через кілька секунд голка повернеться в напрямі північ–південь. Можна перевірити напрям справжнім компасом.

14.2

## ОПРАЦЮЙ ІНФОРМАЦІЮ

**1** Прочитай твердження. Магнітне поле Землі — це невидимий щит і природний «орієнтир», який одночасно захищає життя на планеті, впливає на клімат і біологію, допомагає людям і тваринам орієнтуватися, а також є ключем до наукових досліджень.

Віднайди у тексті параграфа підтвердження або спростування цього переліку функцій магнітного поля.

**2** Дізнайся про магнітні поля планет Сонячної системи. Упорядкуй цю інформацію у вигляді таблиці. Намалюй схематично магнітні поля Меркурія, Землі, Юпітера та Урану.

# § 15. ДОСЛІДЖУЄМО ДІЮ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ПРОВІД ЗІ СТРУМОМ

Я вже можу спрогнозувати, що ми будемо досліджувати. Провід зі струмом має власне магнітне поле. І взаємодія із зовнішнім полем спостерігатиметься у притяганні і відштовхуванні. Тож параграф можна не читати.



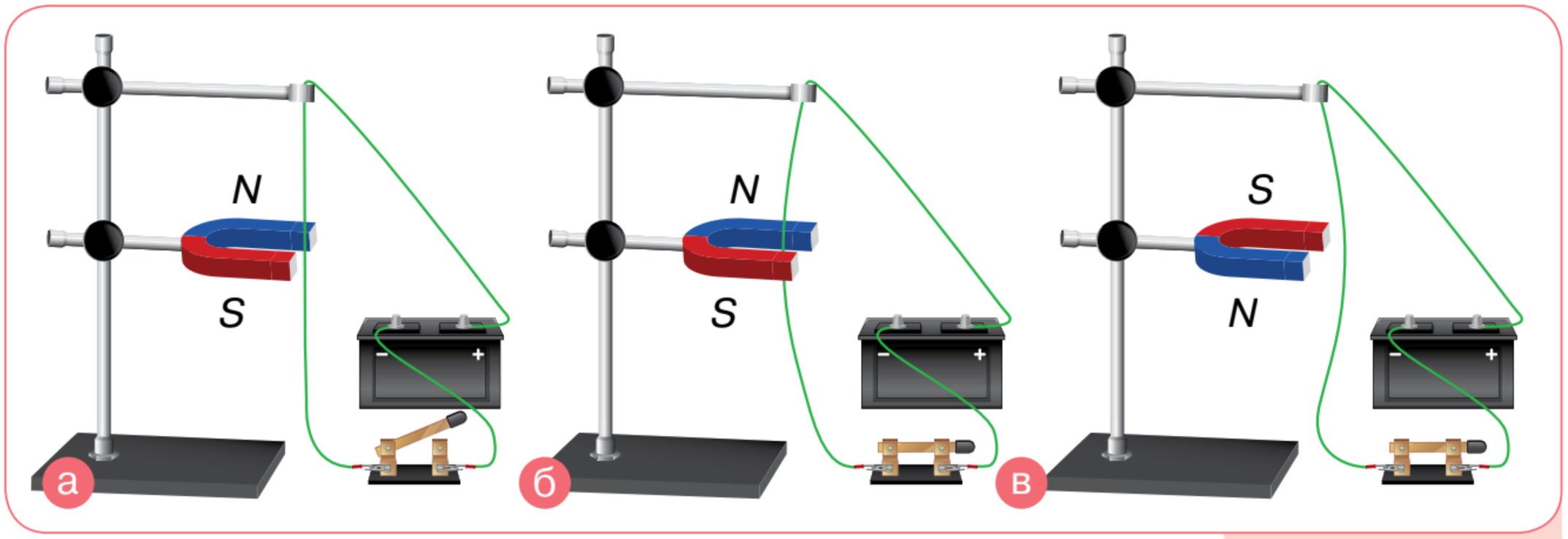


Ти правий, але частково. Чи можеш ти із впевненістю сказати, коли відбувається притягання, а коли — відштовхування? Коли воно буде інтенсивним, а коли ледь помітним? То ж варто все ж таки прочитати матеріал параграфа.

## ДОСЛІДЖУЙ

Досліди взаємодію проводу зі струмом і постійного магніту на досліді або за ілюстрацією (мал. 15.1, с. 92). *Обладнання*: штатив, джерело струму, ключ, постійний магніт, провід.

Під'єднай провід і магніт так, як показано на малюнку 15.1, а. Замкни ключ і спостерігай за рухом проводу. Розімкни коло і зміни напрям магнітного поля (переверни магніт). Знову замкни коло. Чи змінився напрям руху проводу?




Мал. 15.1

## ДІЗНАВАЙСЯ

***Дізнаємося, як виміряти дію магнітного поля на провід зі струмом.*** На дослідах тобі вдалося переконатися, що під дією магнітного поля магніту провід зі струмом притягується або відштовхується. Рух проводу пояснюється тим, що відбувається взаємодія двох полів: магнітного поля, що створюється струмом, та поля постійного магніту.

15.1

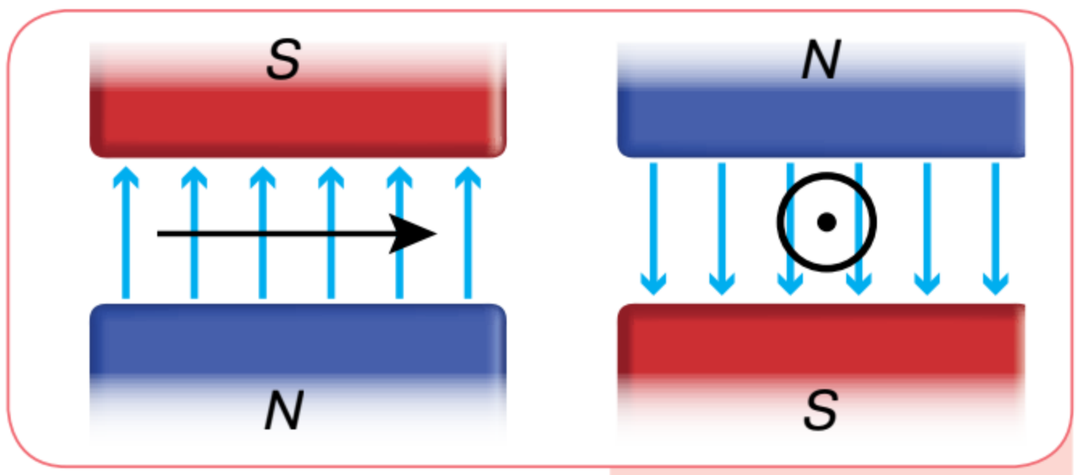
Французький фізик А. М. Ампер був першим, хто дослідив таку взаємодію та взаємодію двох проводів зі струмом. Силу, з якою магнітне поле діє на провід зі струмом, називають *силою Ампера*.

Сила Ампера, що діє на провід у магнітному полі, тим більша, чим більший струм, що проходить по проводу і чим сильніше магнітне поле, в якому він розміщений. Також сила Ампера залежить від довжини проводу зі струмом та його розташування в магнітному полі.

**Формула для визначення сили Ампера** має вигляд: $F_A = BI\Delta l \sin \alpha$, де $\alpha$ — кут між напрямом струму $I$ в проводі та індукцією магнітного поля $\vec{B}$, $\Delta l$ — довжина ділянки проводу, що перебуває в однорідному магнітному полі.

Ділянка магнітного поля між полюсами магніту є однорідним магнітним полем, оскільки силові лінії паралельні.

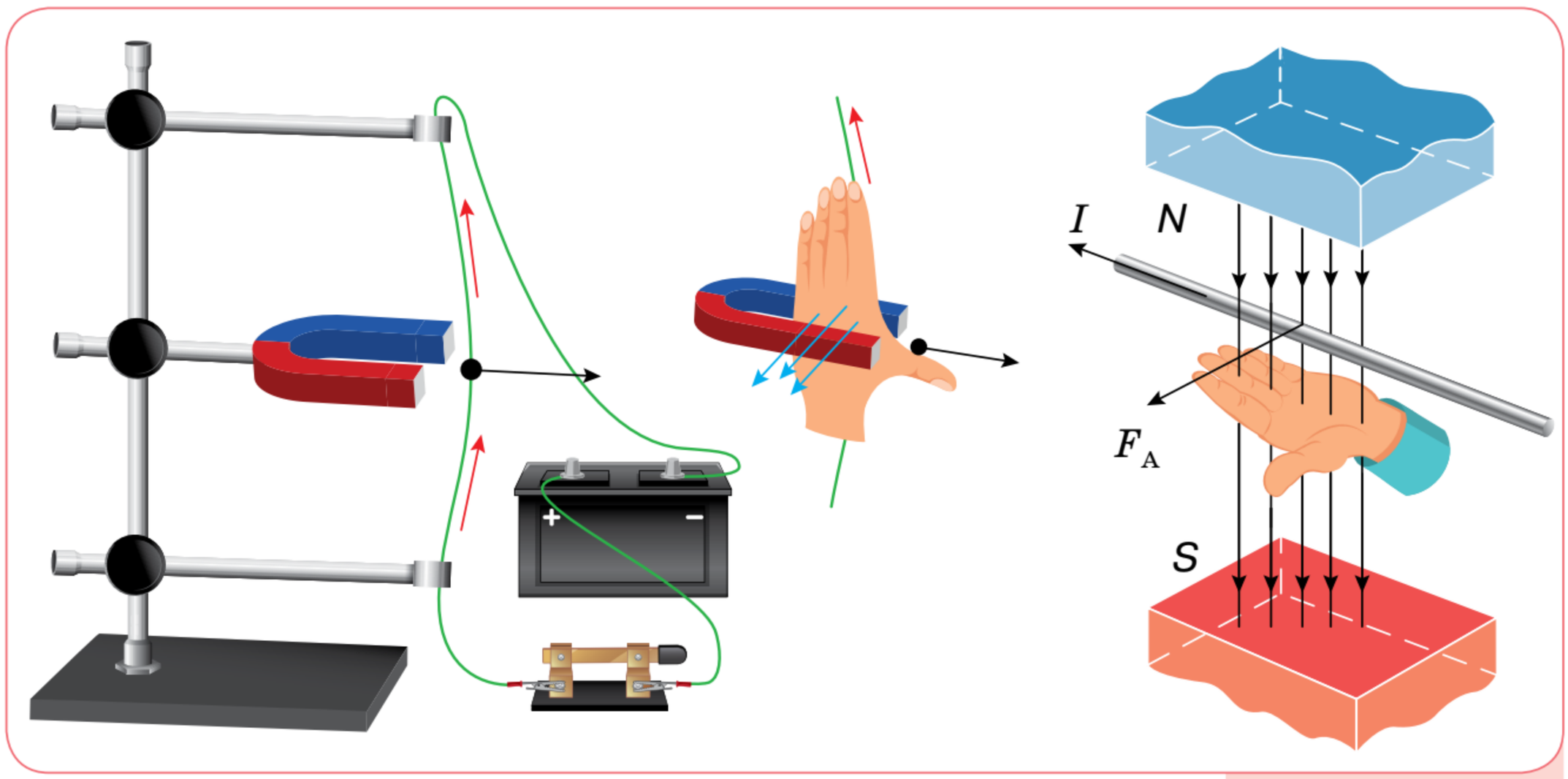
На малюнку 15.2 показано випадки, коли провід розташований перпендикулярно до ліній індукції магнітного поля. У такому разі сила Ампера має максимальне значення $F_{A\ max} = BI\Delta l$ (адже кут між напрямом струму $I$ в проводі і вектором індукції магнітного поля дорівнює $90^\circ$, а $\sin 90^\circ = 1$).




Мал. 15.2

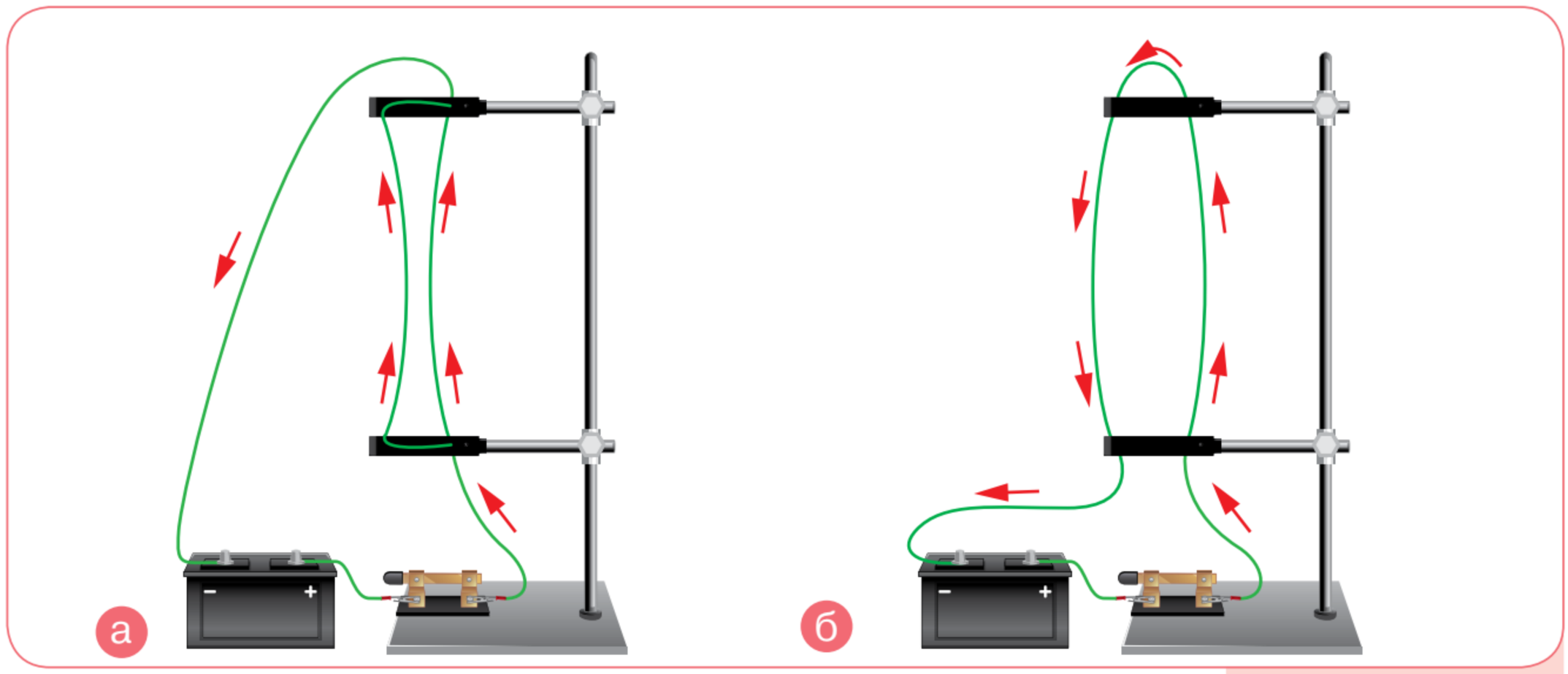
Напрям дії магнітного поля на провід зі струмом, тобто напрям сили Ампера, зумовлений як напрямом струму в проводі, так і напрямом магнітного поля, у якому він розташований.

Для визначення напряму сили Ампера використовують *правило лівої руки*: якщо ліву руку розташувати таким чином, щоб лінії індукції магнітного поля входили в долоню (долонею до північного полюсу постійного магніту), а чотири пальці вказували напрям струму в проводі, то великий палець, відігнутий на 90°, укаже напрям сили, яка діє на провід зі струмом з боку магнітного поля (сили Ампера) (мал. 15.3).




Мал. 15.3

Дізнаємося, як взаємодіють два проводи зі струмом. На малюнку 15.4, а, б зображено установку, що дозволяє спостерігати взаємодію проводів зі струмом.




Мал. 15.4




Продовження мал. 15.4

На мал. 15.4, в, г схематично зображено ці проводи і їх магнітні поля. Застосовуючи правило правої руки (або свердлика), визначаємо напрям цих полів.

У випадку, зображеному на малюнку 15.4, в, поля, що оточують проводи, ніби намагаються охопити відразу два проводи — при цьому притягуючи їх один до одного. Отже, проводи, якими протікають струми в одному напрямі, притягуються.

І як бачимо, у випадку взаємодії двох проводів зі струмами протилежних напрямів (мал. 15.4, г), магнітні лінії у просторі між проводами напрямлені в одну сторону. Тобто магнітні поля у цьому просторі мають однакову полярність — і відштовхують проводи один від одного.

Якщо досліджувати результуюче магнітне поле двох проводів за допомогою магнітної стрілки, то можна помітити наступне. У випадку, коли по проводах пропускають однаковий струм у протилежних напрямах, результуюче магнітне поле не діятиме навіть на розміщену поблизу магнітну стрілку. Це означає, що магнітні поля проводів, накладаючись, послаблюють одне одного.

Якщо в цих проводах йтимуть струми одного напряму, то виявимо, що їх спільна дія на магнітну стрілку стала значно більшою, ніж у випадку використання лише одного проводу. Отже, підсилення магнітного поля можна отримати накладанням магнітних полів однакового напряму, а послаблення — накладанням магнітних полів протилежного напряму. Цю закономірність накладання магнітних полів декількох проводів зі струмом широко використовують на практиці.

Як було сказано, дослід із двома паралельними проводами зі струмом вперше провів Ампер. Він визначив, що два дуже тонких і довгих паралельних проводи завдовжки 1 м у безповітряному просторі (вакуумі), відстань між якими дорівнює 1 м, мають однакову силу і вони взаємодіють між собою з силою 0,0000002 Н. Саме цей дослід став основою для встановлення одиниці сили струму: один ампер (1 А).

**ДУМАЙ**

1. Чому виникає сила Ампера? Від чого залежить напрям сили Ампера? Якою формулою визначають силу Ампера? 2. Чому два прямолінійні проводи, по яких проходять струми в протилежних напрямах, відштовхуються?

ДІЙ

## УЧИСЬ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ЗАДАЧІ

**Визнач модуль сили Ампера, яка діє на провід зі струмом завдовжки 25 см у магнітному полі з індукцією 0,04 Тл, якщо кут між вектором магнітної індукції і напрямом струму $30^\circ$. Сила струму в проводі дорівнює 0,25 А.**

**Дано:**

$l = 25$ см $= 0{,}25$ м

$B = 0{,}04$ Тл

$\alpha = 30^\circ$

$I = 0{,}25$ А

$F_A$ — ?

**Розв'язання:**

На провід зі струмом у магнітному полі діє сила $F_A = BI\Delta l \sin\alpha$.

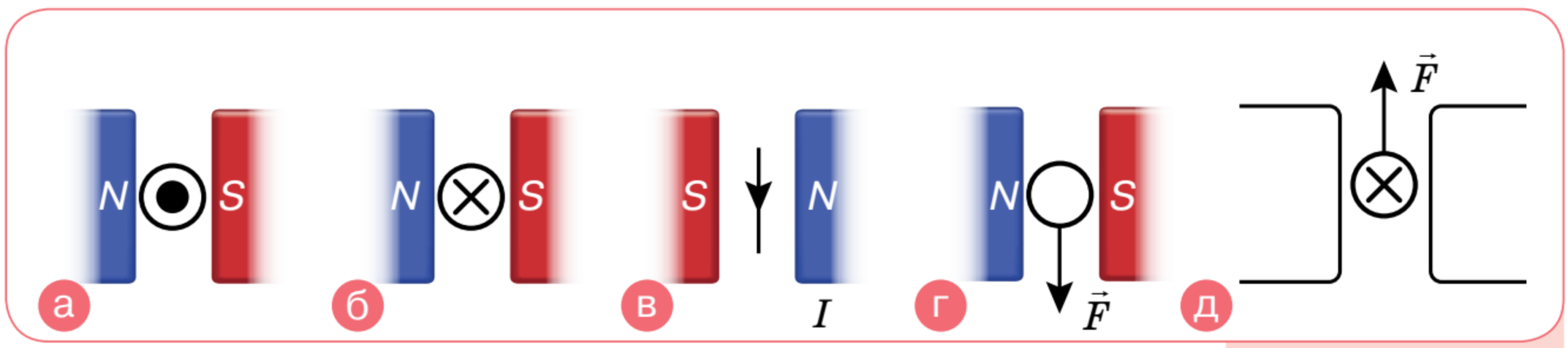
Підставимо значення всіх величин, враховуючи, що $\sin 30^\circ = 0{,}5$.

$F_A = 0{,}04$ Тл $\cdot\ 0{,}25$ А $\cdot\ 0{,}25$ м $\cdot\ 0{,}5 = 1{,}25 \cdot 10^{-3}$ Н.

**Відповідь:** $1{,}25 \cdot 10^{-3}$ Н.

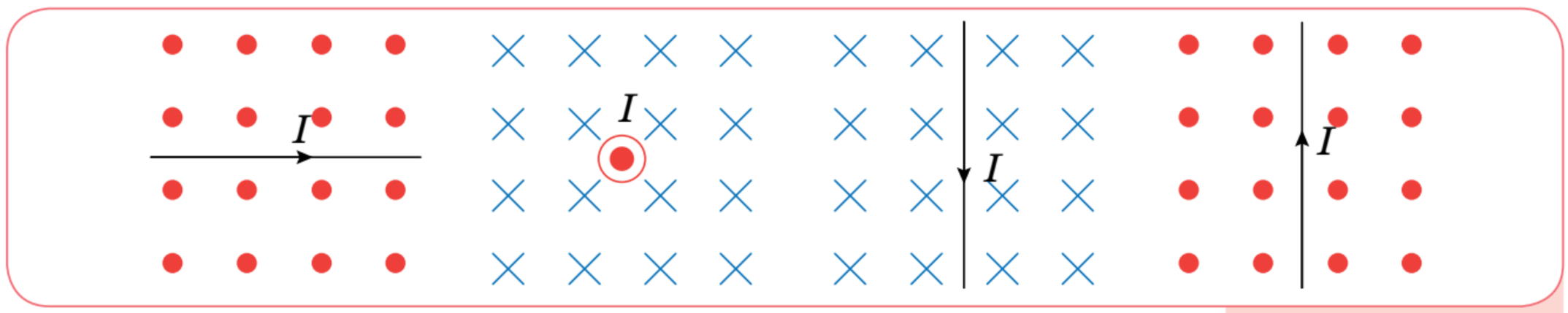
## РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

**1** Розглянь малюнок 15.5. Укажи у випадках а–в напрям сили ампера; у випадку г — напрям струму в проводі; у випадку д — полюси постійного магніту.



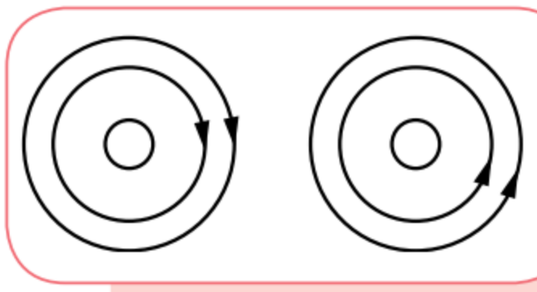

Мал. 15.5

**2** На малюнку 15.6 зображено магнітне поле, силові лінії якого перпендикулярні до площини сторінки підручника (хрестики — поле, напрямлене від нас; кружечки — до нас). Укажи напрям дії сили Ампера. У якому випадку магнітне поле не діє на провід зі струмом?




Мал. 15.6

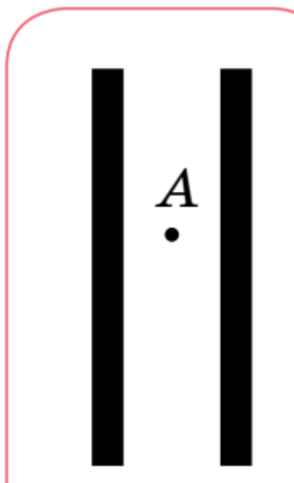
**3** Укажи напрям струму в проводах, якщо напрям силових ліній магнітних полів цих проводів зазначено на малюнку 15.7. Укажи, притягуються чи відштовхуються ці проводи?



Мал. 15.7

**4** По паралельних проводах (мал. 15.8) протікають струми однакової сили. Укажи, чи буде відсутнє магнітне поле в т. *A*?

**5** Визнач індукцію магнітного поля, якщо в ньому на провід, по якому проходить струм силою 25 А, діє сила 50 мН? Поле і струм взаємно перпендикулярні. Довжина активної частини проводу 5 см.



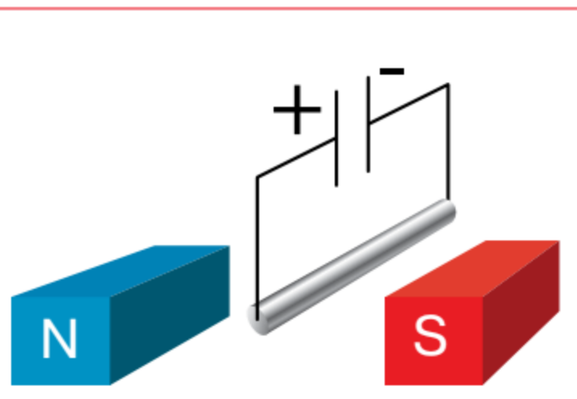

Мал. 15.8

**6** З якою силою діє магнітне поле з індукцією 10 мТл на провід, якщо в ньому сила струму 50 А, а довжина активної частини проводу 0,1 м? Поле та струм взаємно перпендикулярні.

**7** Склади задачу за малюнком 15.9 та розв'яжи її.



15.2

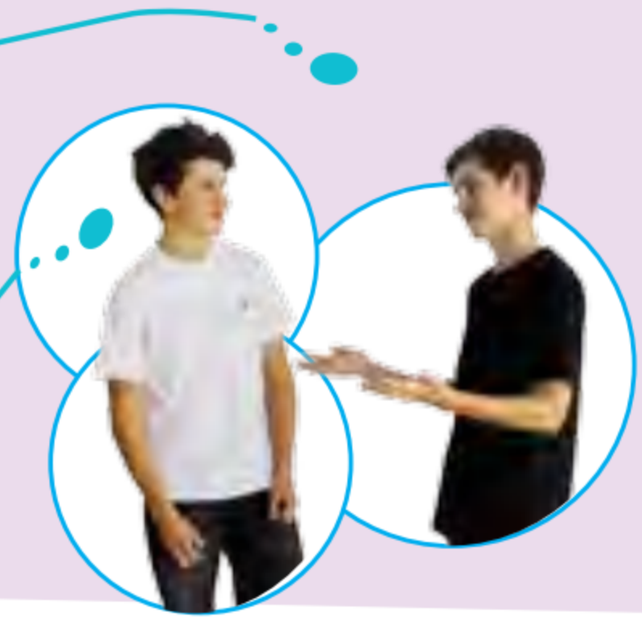



Мал. 15.9

# § 16. ДОСЛІДЖУЄМО ДІЮ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА РАМКУ ЗІ СТРУМОМ

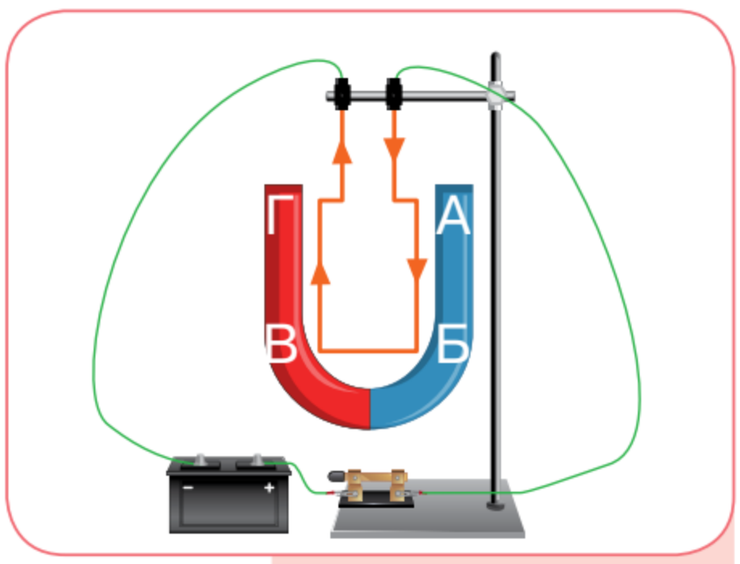
Якщо прямий провід втягується або виштовхується із підковоподібного магніту, то як поведе себе цей провід, зігнутий у вигляді прямокутної рамки?

Гадаю, так само, буде втягуватись або виштовхуватись. Перевіримо?



## ДОСЛІДЖУЙ

Розглянь малюнок 16.1. Застосуй свої знання та вкажи, у якому напрямі рухатимуться сторони АБ і ВГ рамки, якою проходить електричний струм. За можливості перевір свою відповідь практично.




Мал. 16.1

## ДІЗНАВАЙСЯ

***Дізнаємося, як поводить себе рамка у магнітному полі.*** Як ти знаєш, прямолінійний провід зі струмом у полі підковоподібного магніту або виштовхується назовні, або втягується всередину під дією сили Ампера.

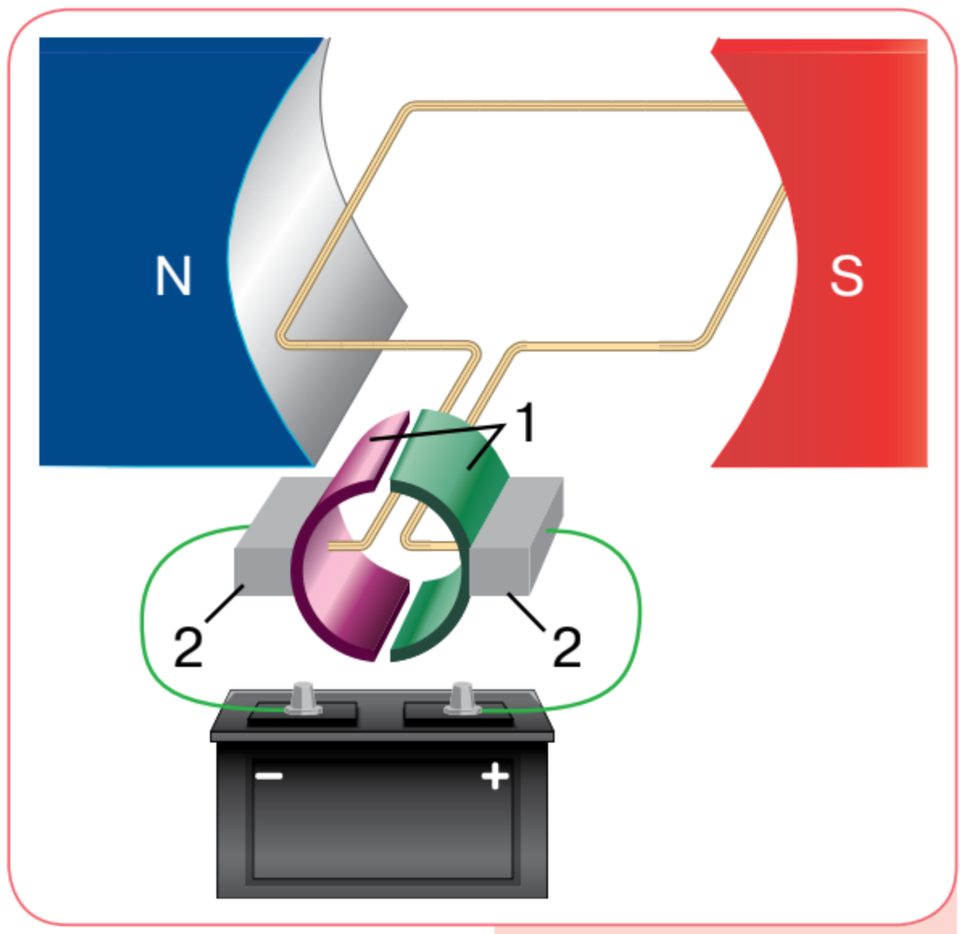
Виготовимо з провода прямокутну рамку АБВГ і розташуємо її всередині підковоподібного магніту (мал. 16.1). Сторони АБ і ВГ рамки мають однакову довжину, і по них проходить струм однакової величини у протилежних напрямах. Тому на сторони рамки діють сили, однакові за величиною та протилежні за напрямом. Під дією цих сил рамка зі струмом повертається у магнітному полі. Якщо змінити полярність джерела струму, до якого під'єднано рамку, або поміняти місцями полюси магніту, рамка повертатиметься у протилежному напрямі.

16.1

Особливості дії магнітного поля на рамку зі струмом використовують при виготовленні електровимірювальних приладів та електродвигунів.

***Дізнаємося, як працює електродвигун постійного струму.*** При пропусканні через рамку струму вона повертається, намагаючись розташуватися перпендикулярно до його силових ліній. Щоб рамка продовжила обертання у тому самому напрямі, потрібно поміняти полюси магніту або напрям струму в провіднику. Отже, щоб від повертання рамки зі струмом у магнітному полі перейти до обертання, потрібно через кожних півоберта рамки змінювати в ній напрям струму на протилежний.

Для цього кінці рамки (мал. 16.2) приєднано до двох півкілець (1), які притискаються до металевих щіток (2). Щітки з'єднано з клемами для підведення струму від джерела. Рамку розміщено в магнітному полі постійного магніту.




Мал. 16.2

Після вмикання струму рамка повертається в магнітному полі постійного магніту. Разом з рамкою повертаються півкільця. При цьому кожне півкільце сполучається з іншою щіткою. Оскільки щітки під'єднані до джерела струму, то зміна щітки, що притискає півкільце, зумовлює зміну напряму струму в рамці на протилежний. Рамка продовжить повертатися у тому самому напрямі. Півкільця знову поміняються місцями, зміниться напрям струму в рамці — рамка буде обертатися.

Швидкість обертання рамки зі струмом у магнітному полі залежить від сили струму в ній та магнітного поля постійного магніту. Якщо змінити полярність ввімкнення рамки, то вона буде обертатися у протилежному напрямі. Ця рамка зі струмом, що обертається у магнітному полі, є моделлю найпростішого електродвигуна.

Двигуни постійного струму є основою для багатьох видів електротранспорту, включаючи електровози, трамваї, тролейбуси, електромобілі. Їхній високий пусковий момент дозволяє легко рушати з місця та долати великі навантаження. Двигуни постійного струму використовуються як стартери для запуску двигунів внутрішнього згорання та у приводах дрібних механізмів, таких як електросклопідйомники, склоочисники та вентилятори. Двигуни постійного струму знаходять застосування у верстатах, конвеєрах, підйомних кранах та насосах, де необхідне точне регулювання швидкості обертання та постійний крутний момент. У менших масштабах вони використовуються в електроінструментах (дрелі, шуруповерти), побутових приладах, що працюють від акумуляторів (електробритви, іграшки), а також у деяких моделях пилососів та швейних машин. Завдяки своїй надійності та можливості точного контролю, двигуни постійного струму використовують в хірургічних роботах та іншому високоточному медичному обладнанні. У робототехніці двигуни постійного струму ідеально підходять для створення приводів, оскільки вони дозволяють легко керувати швидкістю та напрямом руху роботів.

**Електродвигун** — це пристрій, у якому енергія електричного струму перетворюється на механічну.

Електродвигун (мал. 16.3) складається з обмотки, виготовленої з великої кількості витків ізольованого дроту, яка намотана вздовж бічної поверхні сталевого циліндра (для підсилення магнітного поля). Циліндр з обмоткою називають *якорем* електродвигуна, або *ротором*. Назва «ротор» походить від лат. rotare — обертатися. Ротор обертається в магнітному полі *статора*, яким є постійний магніт. Назва «статор» походить від лат. stator — той, що нерухомий.




Мал. 16.3

Пристрій, який автоматично змінює напрям струму в рамці, називають *колектором*. Власне колектором є два півкільця, до кожного з яких притиснуто щітку.

Коли по обмотках ротора проходить електричний струм, то внаслідок взаємодії магнітних полів ротора і статора ротор обертається, і двигун працює. Оскільки ротор закріплюють на валу електродвигуна, який з'єднують з приводами різноманітних механізмів, то його обертання зумовлює обертання цих механізмів.

Ротор малопотужних двигунів (наприклад, для електроіграшок) обертається в магнітному полі постійного магніту. У промислових електродвигунах магнітне поле великої потужності створюють ще однією обмоткою проводів.

**ДУМАЙ**

**1.** Чому рамка зі струмом повертається у зовнішньому магнітному полі? У якому випадку вона зупиняється? **2.** У якому випадку рамка в магнітному полі не просто повертається, а обертається? **3.** У чому полягають принцип дії і будова електродвигуна постійного струму? **4.** Для чого в конструкції електродвигуна передбачено колектор?

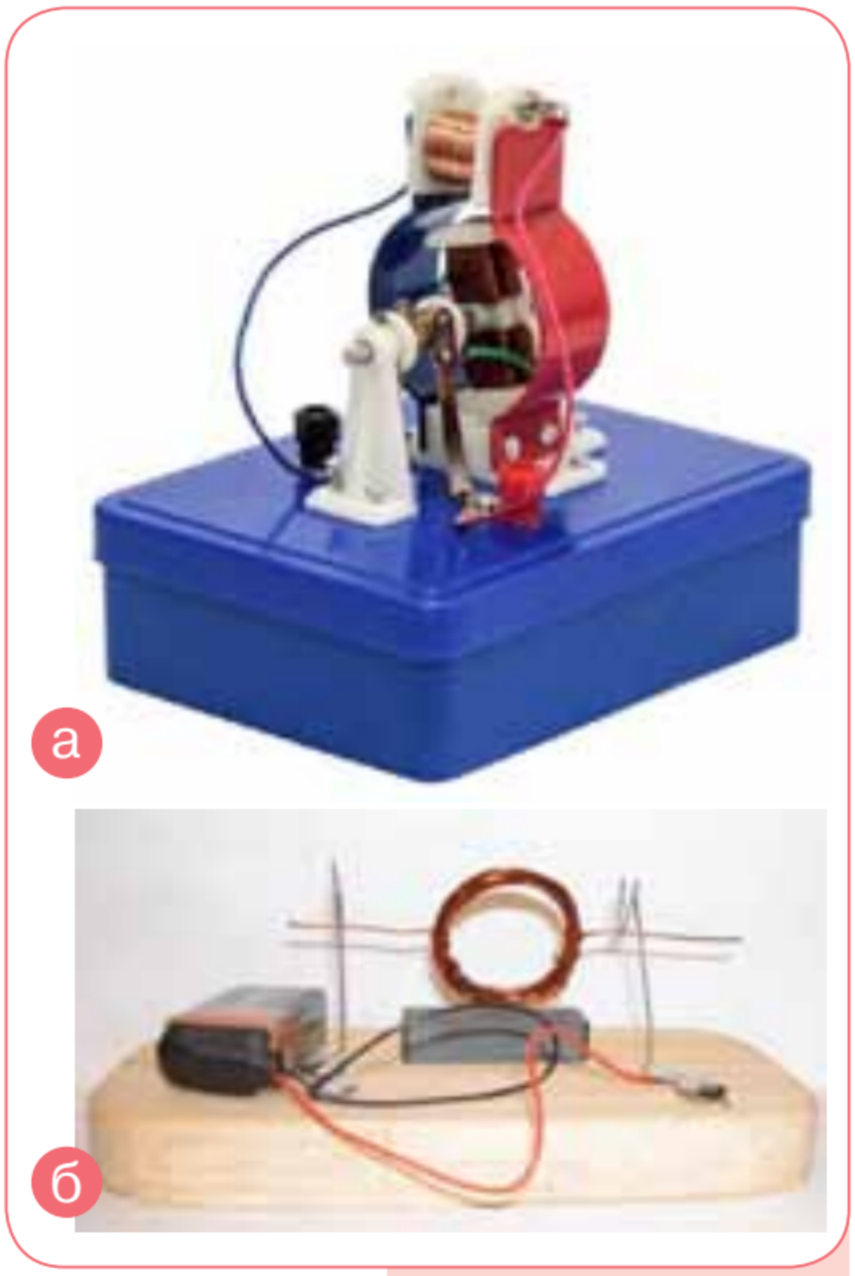
**ДІЙ**

## ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

**Виконуй досліди з дотриманням правил безпеки життєдіяльності!**

### Візьми участь у груповій роботі

Зберіть двигун постійного струму. Скористайтеся лабораторною моделлю електродвигуна (мал. 16.4, а) або підручними матеріалами (мал. 16.4, б).



Мал. 16.4

1 Під'єднайте модель електродвигуна до джерела електричного струму і ключа, з'єднавши їх послідовно. Замкніть ключ і спостерігайте за роботою електродвигуна. Переключивши дроти, змініть напрям струму в колі. Спостерігайте за роботою електродвигуна. Зробіть висновок.

2 Виготовте власноруч електричний двигун. Відеоінструкцію знайдіть у мережі Інтернет.

16.2

# § 17. ДОСЛІДЖУЄМО ДІЮ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА КОТУШКУ ЗІ СТРУМОМ



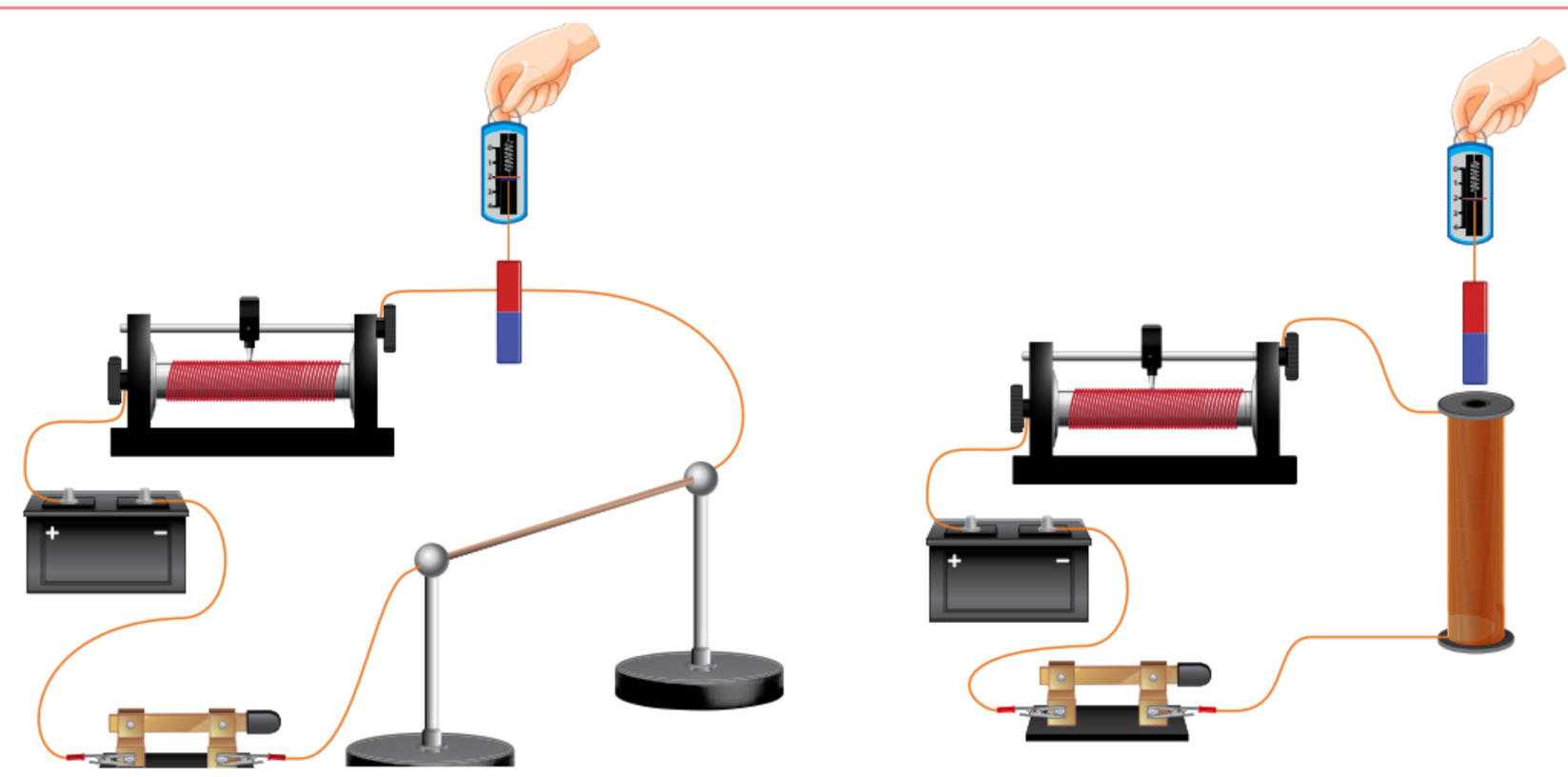
Я припускаю, що якщо прямолінійний провід зігнути спіраллю, то результат взаємодії з магнітом буде іншим, порівняно з прямим проводом.

А я вважаю, що змін не буде. Перевіримо, хто з нас має рацію.



## ДОСЛІДЖУЙ

**Досліди, чи зміниться сила притягання магніту до змотаного проводу, порівняно з прямим проводом (мал. 17.1).**

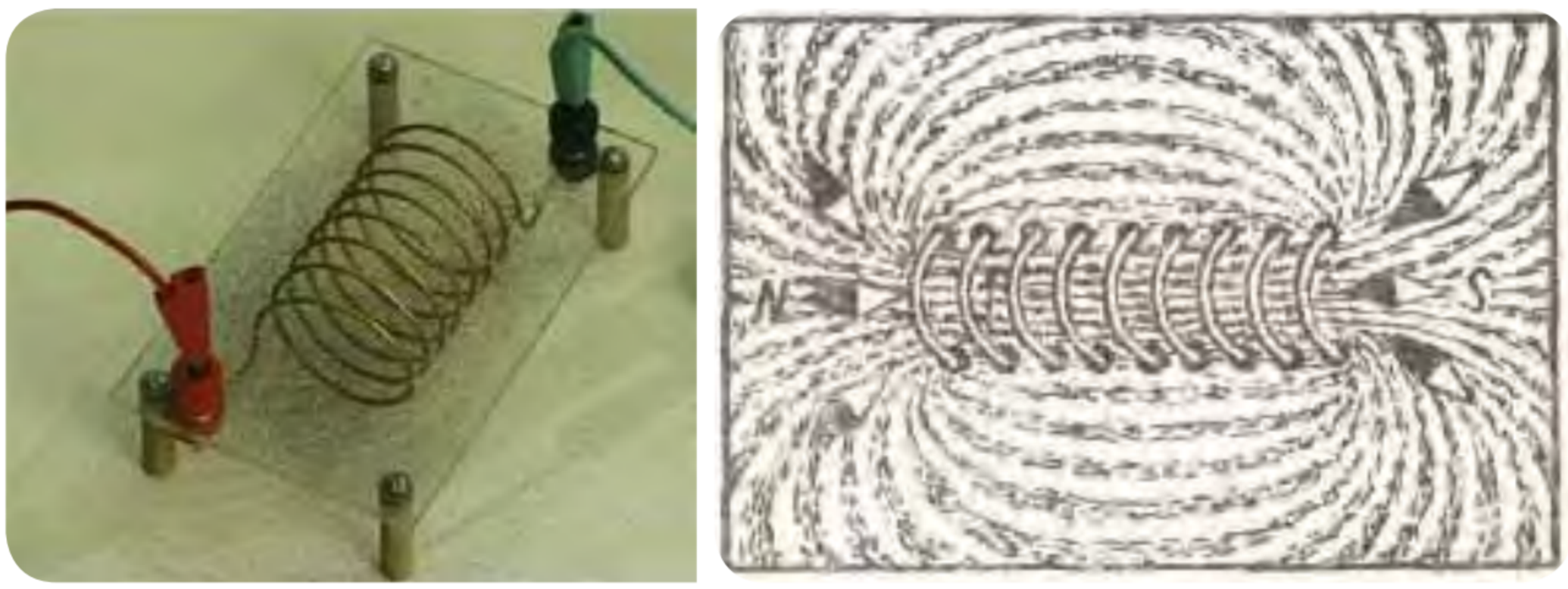


Мал. 17.1

## ДІЗНАВАЙСЯ

***Дізнаємося про котушку зі струмом.*** Навколо будь-якого проводу зі струмом існує магнітне поле. Проте магнітне поле окремого прямолінійного проводу незначне. Більш потужне магнітне поле можна отримати за допомогою котушки, яка складається з великої кількості витків дроту, по якому пропускають струм. У цьому разі магнітне поле окремих витків взаємно підсилюється, і його дія виявляється значно сильнішою.

Наочну картину магнітного поля котушки можна отримати за допомогою установки, зображеної на малюнку 17.2, а. Котушку вмонтовано у пластмасову пластину, розміщену в одній з площин, що проходить через центральну вісь котушки. На пластину насипають ошурки і вмикають струм у котушці. Злегка струшуючи пластину, отримують картину силових ліній магнітного поля всередині та зовні котушки. Як видно, лінії магнітного поля котушки всередині її витків мають вигляд паралельних прямих, розташованих вздовж осі котушки (мал. 17.2, б). Навколо котушки лінії магнітного поля є замкненими кривими.




Мал. 17.2. Дослідження магнітного поля котушки зі струмом:
а — установка для спостереження магнітного поля;
б — графічне зображення магнітного поля

Розглянь ще раз уважно мал. 17.2, б. Що тобі нагадує вигляд магнітного поля котушки? Можеш впевнено сказати? Якщо ні, звернись до мал. 13.5, в у § 13.

Магнітне поле котушки зі струмом подібне до магнітного поля плоского постійного магніту. Це підтверджено і дослідами: на кінцях котушки магнітне поле інтенсивніше, тобто котушка зі струмом має два полюси — північний та південний.

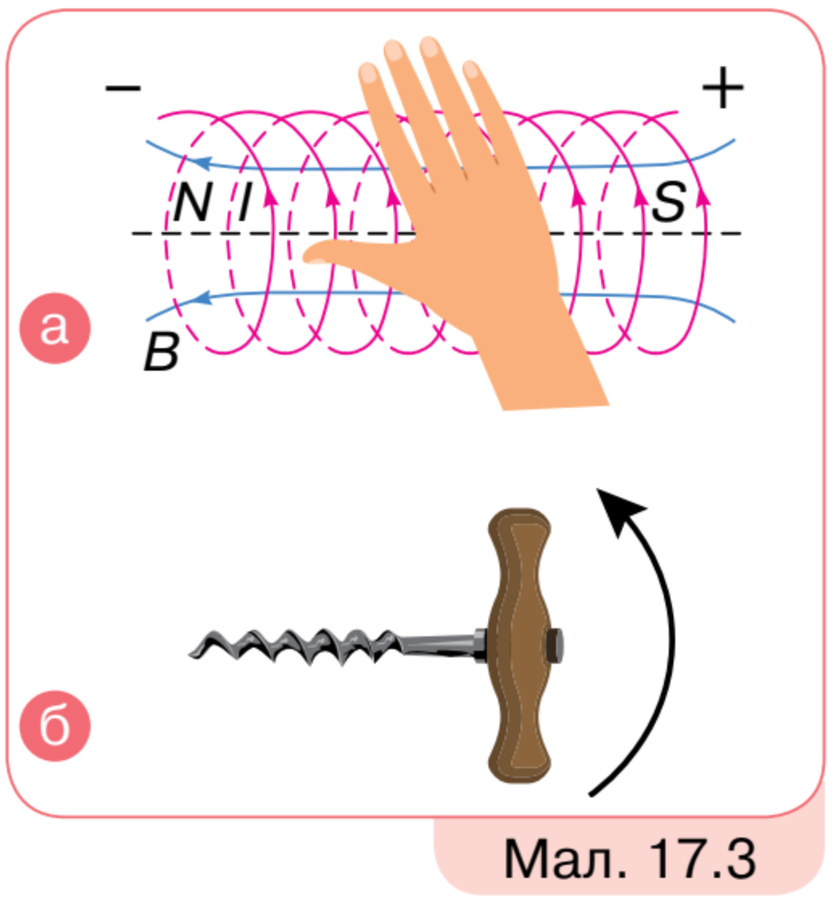
У магнітному полі Землі котушка зі струмом поводить себе так само, як і магнітна стрілка. Якщо котушку зі струмом вільно розташувати на гнучких проводах, то вона встановиться таким чином, що один її кінець вказуватиме на північ, а другий — на південь.

Магнітні полюси котушки можна визначити за допомогою магнітної стрілки або знаючи напрям струму у витках котушки (за правилом свердлика чи правої руки). На малюнку 17.3 (с. 102) наочно зображено, як можна визначити полюси котушки за допомогою відповідних правил.

*Правило правої руки*. Якщо праву руку розмістити так, щоб чотири пальці вказували на напрям струму у витках котушки, то відігнутий ве-

ликий палець вказуватиме на північний полюс котушки (мал. 17.3, а).

*Правило свердлика.* Якщо ручку свердлика обертати у напрямі струму у витках котушки, то напрям поступального руху його вістря вказуватиме на напрям магнітного поля котушки (її північний полюс) (мал. 17.3, б).

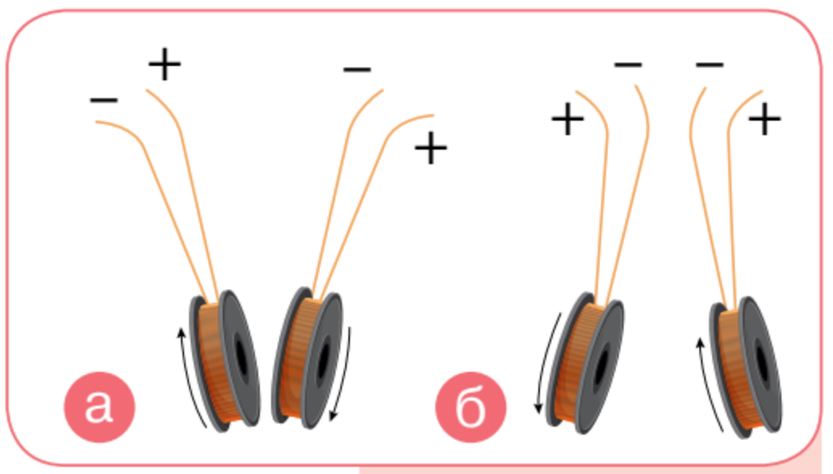


Мал. 17.3

Поза котушкою силові лінії напрямлені від її північного полюса до південного.

За цими правилами відповідним чином можна визначити й напрям струму у витках котушки (полярність її включення), якщо відомі полюси її магнітного поля.

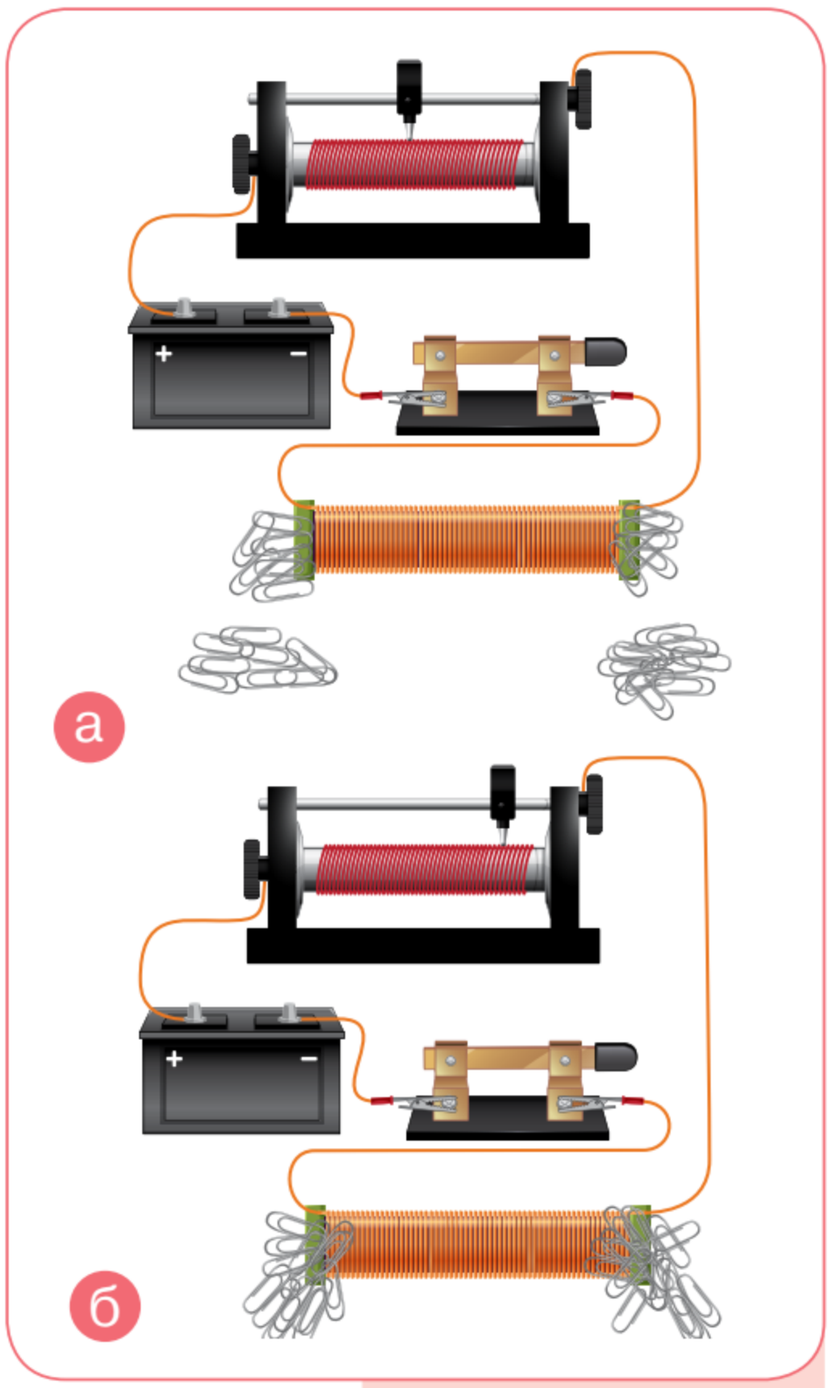
Аналізуючи взаємодію двох прямолінійних проводів зі струмом, обґрунтовано буде вважати, що взаємодіють між собою, притягуючись або відштовхуючись, і проводи довільної форми, по яких протікає струм. Наприклад, котушки з певною кількістю витків проводу (мал. 17.4) будуть притягатися, якщо струм спрямовано в них в однаковому напрямі (мал. 17.4, а), і відштовхуватися, якщо струми протилежних напрямів (мал. 17.4, б).



Мал. 17.4

***Як посилити магнітну дію котушки зі струмом.*** Можливо, ти вже самостійно можеш зробити висновки: щоб підсилити магнітне поле котушки, потрібно збільшити кількість витків, та/або збільшити силу струму в її витках. Переконаємось у цьому на дослідах.

Розглянемо електричне коло, яке складається з послідовно з'єднаних джерела струму, амперметра, котушки, реостата та вимикача (мал. 17.5, а). Для виявлення магнітного поля котушки зі струмом використаємо залізні скріпки. Увімкнемо струм в колі. Скріпки притягнуться внаслідок дії на них магнітного поля котушки зі струмом. За допомогою реостата змінюватимемо



Мал. 17.5

силу струму в котушці. При збільшенні сили струму дія магнітного поля котушки зі струмом підсилюється (мал. 17.5, б). Збільшуючи значення сили струму, побачимо, що скріпки приєднуються до котушки, навіть якщо вона перебуває на досить значній відстані від них. При зменшенні сили струму в котушці її магнітне поле слабшає.

А чи існує інший спосіб посилення магнітного поля, не змінюючи сили струму й кількості витків котушки? Як виявилося, магнітне поле котушки при сталому струмі в ній можна значно підсилити, якщо ввести в неї залізне осердя.

Розглянемо котушку, струм у витках якої не змінюється. Цвяхи приєднуються до котушки. Внесемо в котушку залізне осердя. Помітимо, що цвяхи приєднуються значно інтенсивніше — дія магнітного поля котушки зі струмом збільшилася. (Спробуй пояснити самостійно цю властивість. Для цього звернись до § 13).

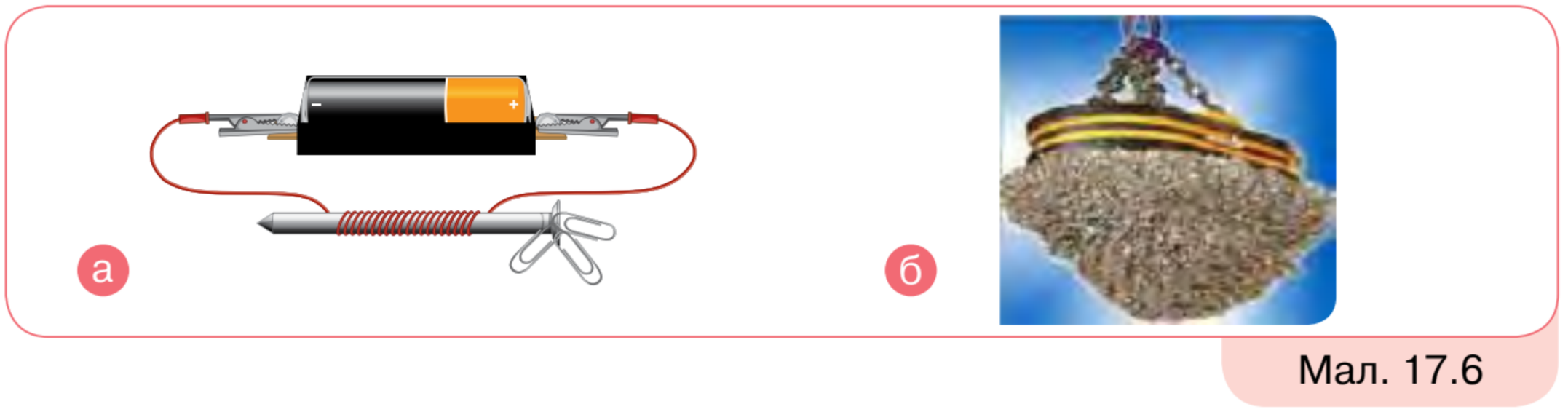
***Електромагніти.*** Котушку із залізним осердям усередині називають *електромагнітом*.

17.1

Найпростіший електромагніт можна виготовити, намотавши кілька витків ізольованого дроту на залізний цвях (гвинт). Якщо кінці проводу приєднати до гальванічного елемента, маленькі металеві предмети, наприклад скріпки, будуть притягуватися (мал. 17.6, а).

Для збільшення притягальної дії електромагнітів використовують дві котушки, які послідовно під'єднують до джерела струму і закріплюють на *U*-подібному осерді.

У техніці та на виробництві широко використовують промислові електромагніти (мал. 17.6, б).




Мал. 17.6

Електромагніти є основними складниками електромагнітних реле, які дозволяють автоматично вмикати та розмикати електричні кола.

**ДУМАЙ**

1. Як визначають напрям магнітного поля всередині котушки зі струмом? 2. Як змінити напрям магнітного поля котушки зі струмом на протилежний? 3. Назви основні властивості електромагнітів. Наведи приклади їх використання. 4. Чому при виготовленні електромагнітів на осердя потрібно намотувати ізольований провід?

## ДІЙ

## РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

**1** Як буде поводитись котушка, якщо до неї наближати постійний магніт (мал. 17.7, а)? Якою буде взаємодія двох котушок зі струмом (мал. 17.7, б)?

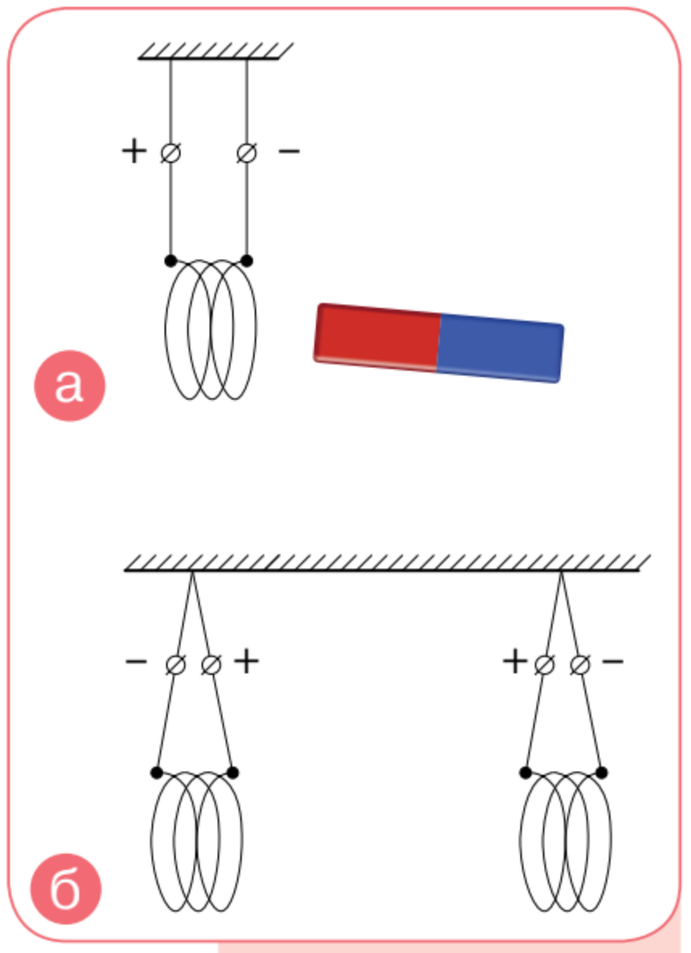
**2** Напрям струму в обмотках електромагнітів зображено на малюнку 17.8. Визнач полюси магнітів. Намалюй у зошиті (приблизно) кілька магнітних силових ліній обох магнітів і в просторі між осердями.

**3** Чи можна обмотку намотати так, щоб у разі проходження електричного струму магнітне поле було відсутнє? Проілюструй свою відповідь.

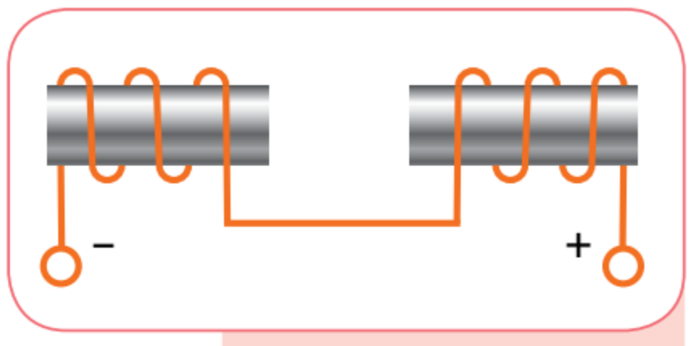
**4** Установи полюси електромагніту (мал. 17.9). Як зміниться підйомна сила електромагніту, якщо повзунок реостата перемістити ліворуч?

**5** Як зміняться покази динамометра, якщо замкнути електричне коло (мал. 17.10, а)? Вкажи, до яких полюсів джерела струму під'єднано проводи *A* і *B*, якщо при проходженні по ним електричного струму покази динамометра зменшуються (мал. 17.10, б).

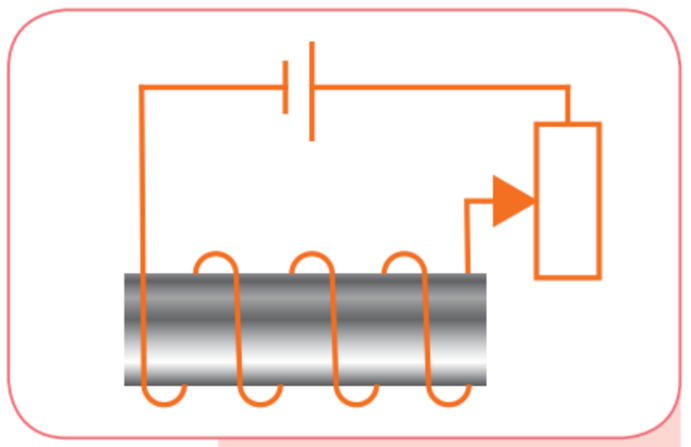
**6** Накресли схему електричного кола, у якому під час замикання ключа вмикатиметься електрична плитка, а під час розмикання вмикатимуться електричні лампи.




Мал. 17.7



Мал. 17.8



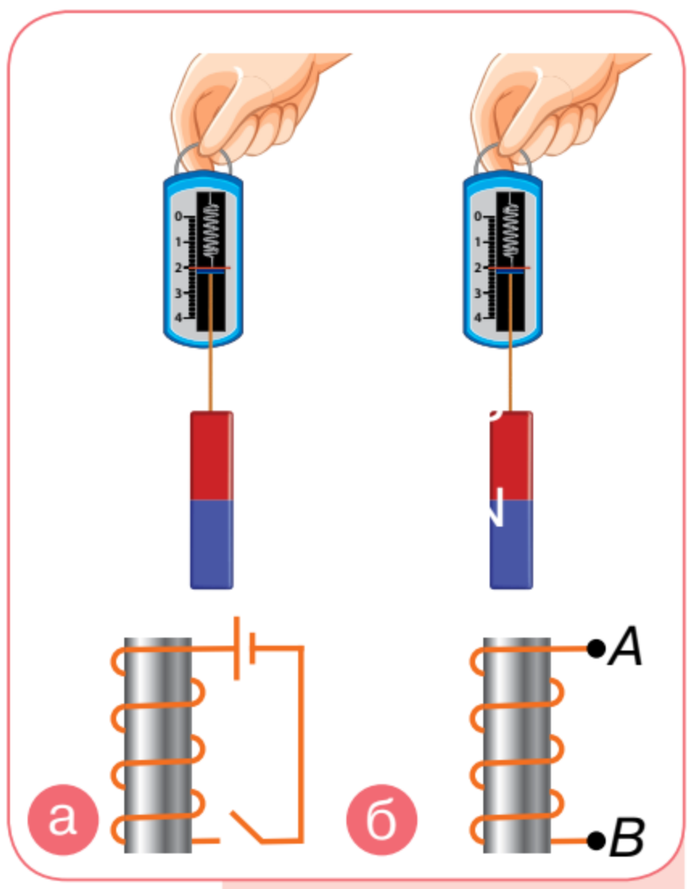
Мал. 17.9

## ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

**Виконуй досліди з дотриманням правил безпеки життєдіяльності!**

Склади електромагніт з готових деталей та підручних матеріалів (мал. 17.11).

**1** Склади електричне коло, з'єднавши послідовно батарею, реостат, амперметр, вимикач та одну котушку, надіту на пряме




Мал. 17.10

осердя, закріплене у штативі. Замкни коло і за допомогою компаса визнач магнітні полюси котушки. Підвішуючи тягарці, визнач, яку масу вантажу утримує електромагніт з однією котушкою. Увага! Для виконання досліду під електромагнітом постав деко з піском або постели м'яку тканину, щоб не псувати поверхню парти, якщо електромагніт не утримає тягарці. За допомогою реостата збільшуй силу струму в колі. Вияви й опиши, як змінилася притягальна дія магніту.





Мал. 17.11

**2** Виготов електромагніт із підручних матеріалів. *Обладнання*: залізний цвях (довжиною 7–10 см), мідний дріт (товщиною 1 мм), наждачний папір, ізоляційна стрічка, батарейка.

Намотай мідний дріт на гвіздок. Важливо звернути увагу на те, щоб кожен виток щільно прилягав до попереднього. Намотати дріт потрібно так, щоб залишилися вільні кінці дроту. Щоб дріт не розмотувався, закріпи його ізоляційною стрічкою. Далі за допомогою наждачного паперу видали ізоляцію з кінців дроту. Під'єднай дроти до батареї. Перевір дію електромагніту.

17.2

# § 18. ДОСЛІДЖУЄМО ЯВИЩЕ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ІНДУКЦІЇ



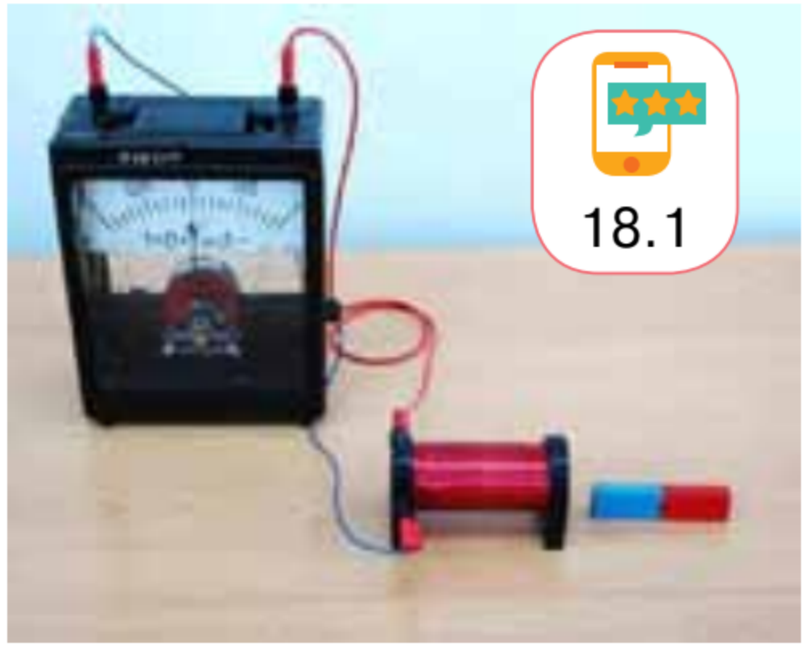
Ми переконалися, що електричний струм створює магнітне поле. А чи можна отримати електричний струм за допомогою магніту?

## ДОСЛІДЖУЙ

Візьми котушку з мідного дроту, постійний магніт і гальванометр (або мультиметр, увімкнений у режим вимірювання струму) (мал. 18.1, с. 106). Наближай магніт до котушки, зупиняй, віддаляй від котушки.

Опиши, коли і як змінюється відхилення стрілки. Висунь гіпотезу: що могло викликати появу струму — рух магніту, зміна магнітного поля, контакт металів. Заплануй перевірку. Що відбудеться, якщо:

- збільшити швидкість руху магніту?
- взяти сильніший магніт?
- використати більше витків у котушці?

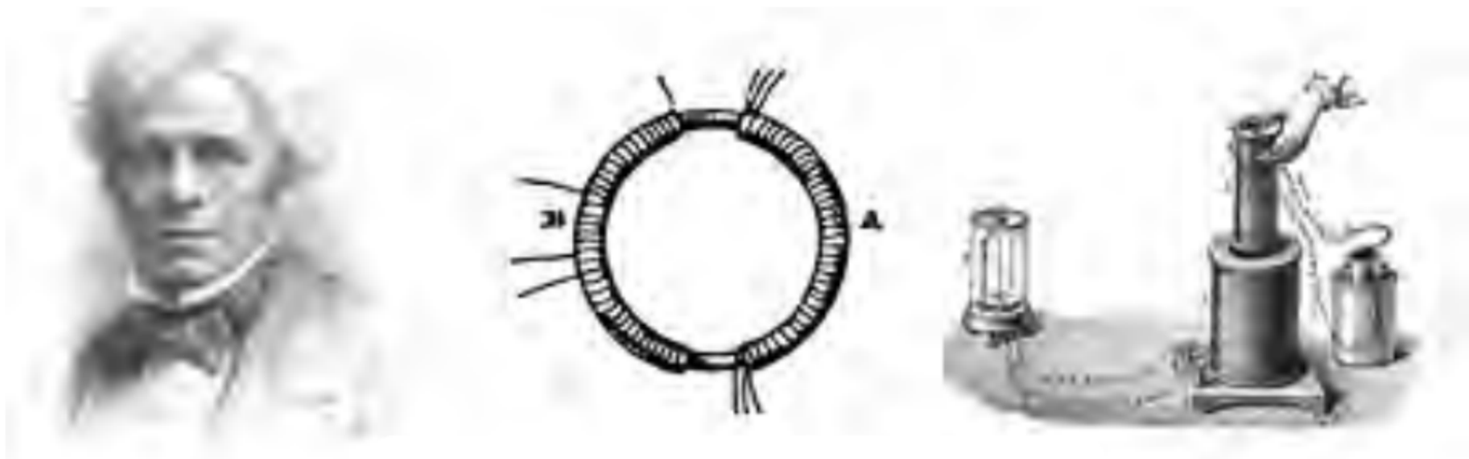



Мал. 18.1

## ДІЗНАВАЙСЯ

***Як було відкрито явище електромагнітної індукції.*** Після відкриття Г. Ерстеда, який довів, що навколо провідника зі струмом виникає магнітне поле, природно було поставити запитання: а чи можливе утворення електричного струму в провідниках за допомогою магнітного поля? Ученим не відразу вдалось отримали позитивну відповідь. Англійський фізик і хімік М. Фарадей протягом десяти років (з 1821 по 1831 рік) шукав спосіб отримання електричного струму за допомогою магніту, він провів понад 16 тисяч дослідів. Виникає запитання: чого так багато зусиль приклав учений, адже ти за кілька хвилин отримав / отримала струм за допомогою постійного магніту.

Головна причина такої тривалої затримки полягала у тому, що вчений спочатку не розумів головної умови виникнення струму. М. Фарадей та інші вчені спочатку припускали, що якщо постійний електричний струм може створювати постійне магнітне поле, то, відповідно, постійний магніт має створювати постійний електричний струм. Він годинами тримав магніт біля провідника або в котушці, підключеній до гальванометра, і не бачив струму. Навіть коли М. Фарадей перейшов до використання двох котушок (одна — з батареєю — відігравала роль електромагніту, інша — з гальванометром), він спочатку не помічав ефекту. Причина полягає в тому, що струм виникає лише тоді, коли магнітне поле змінюється. До того ж сплески струму були настільки миттєвими, що їх було важко зафіксувати наявними на той час приладами. На малюнку 18.2 зображено деякі із дослідів М. Фарадея. Знаменитим стало саме бубликоподібне кільце з м’якого заліза: дріт, намотаний на одну частину кільця, підключено до батареї через ключ. Створення струму в цій обмотці створювало магнітний потік у залізному кільці. Дріт, намотаний на протилежну частину кільця, підключено до гальванометра. Ця обмотка була індикатором утвореного струму.

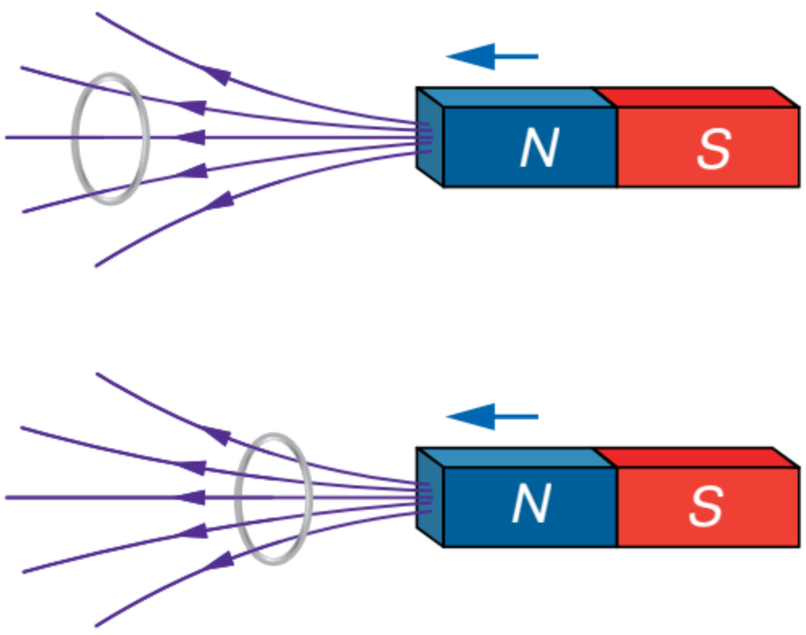



Мал. 18.2

Завдяки наполегливості М. Фарадея вдалося відкрити **явище електромагнітної індукції.** До речі, Майкл Фарадей згадував про Джейн Марсе (1769–1858) — авторку книги “Conversations on Natural Philosophy”, що саме ця праця стала для нього першим серйозним знайомством із фізикою. Вона зробила природничі науки доступними для жінок, які тоді майже не мали формальної наукової освіти.

Отриманий струм у замкненому провіднику, що виникає в разі зміни зовнішнього магнітного поля, було названо *індукційним* (з лат. *inductio* — збудження, наведення).

Явище електромагнітної індукції: У замкненому провідному контурі виникає електричний струм, якщо кількість ліній магнітної індукції, що пронизують поверхню, обмежену контуром, змінюється (мал. 18.3).

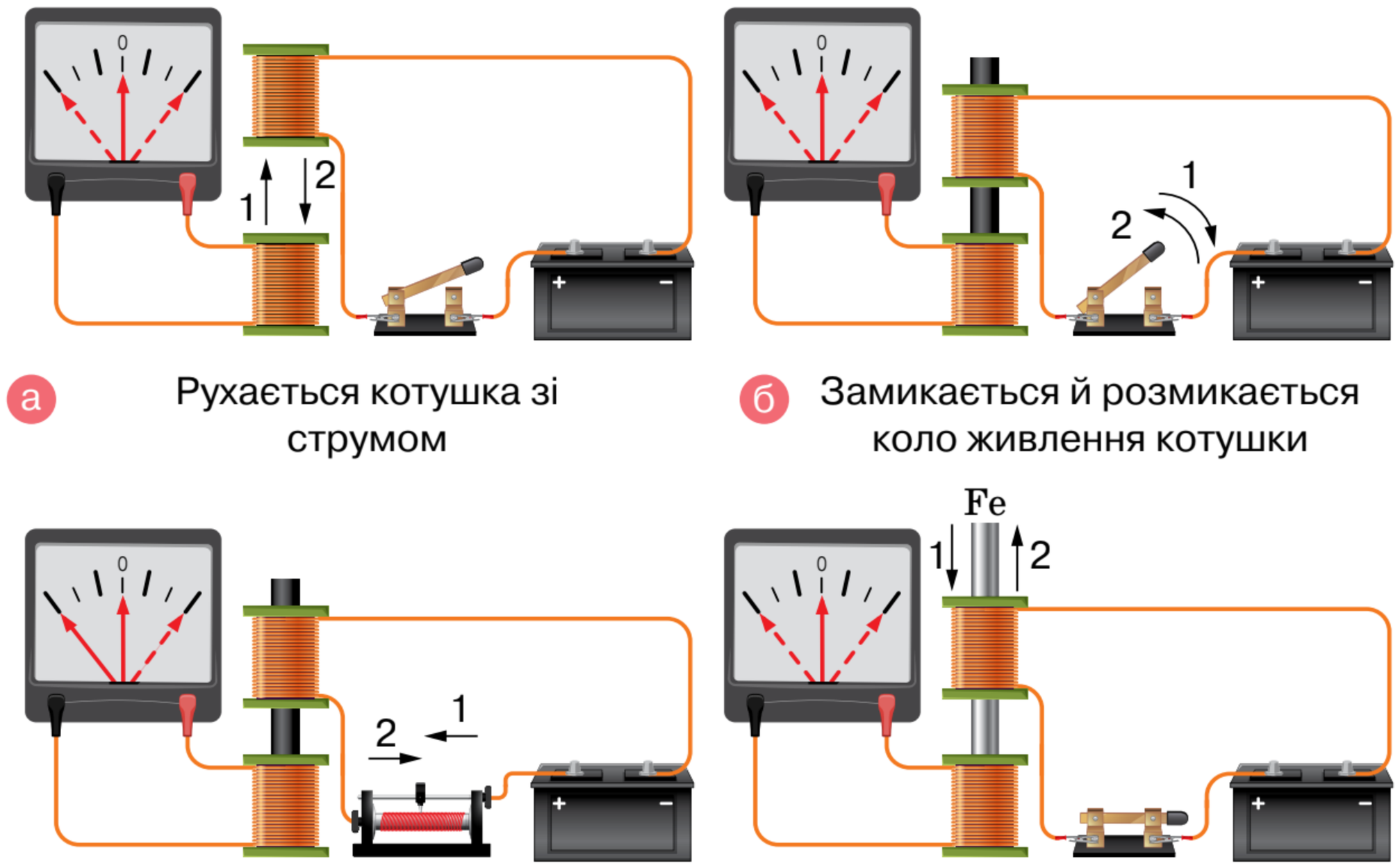



Мал. 18.3

Слід зазначити, що не тільки рух магніту відносно нерухомої котушки викликає в останній електричний струм. Явище виникнення індукційного електричного струму в замкненій котушці можна спостерігати також, якщо рухати саму котушку відносно нерухомого магніту або якщо рухати не постійний магніт, а електромагніт (мал. 18.4, а). Елек-

тричний струм можна отримати і в нерухомих котушках: якщо замикати або розмикати струм в обмотці однієї нерухомої котушки (електромагніту), у другій, надітій на спільне осердя, виникатиме струм (мал. 18.4, б). Струм у котушці, під'єднаній до гальванометра, можна отримати і у випадку зміни сили струму в іншій котушці (мал. 18.4, в).

18.2




а Рухається котушка зі струмом

б Замикається й розмикається коло живлення котушки

в Змінюється сила струму в котушці

г Рухається феромагнітний стрижень

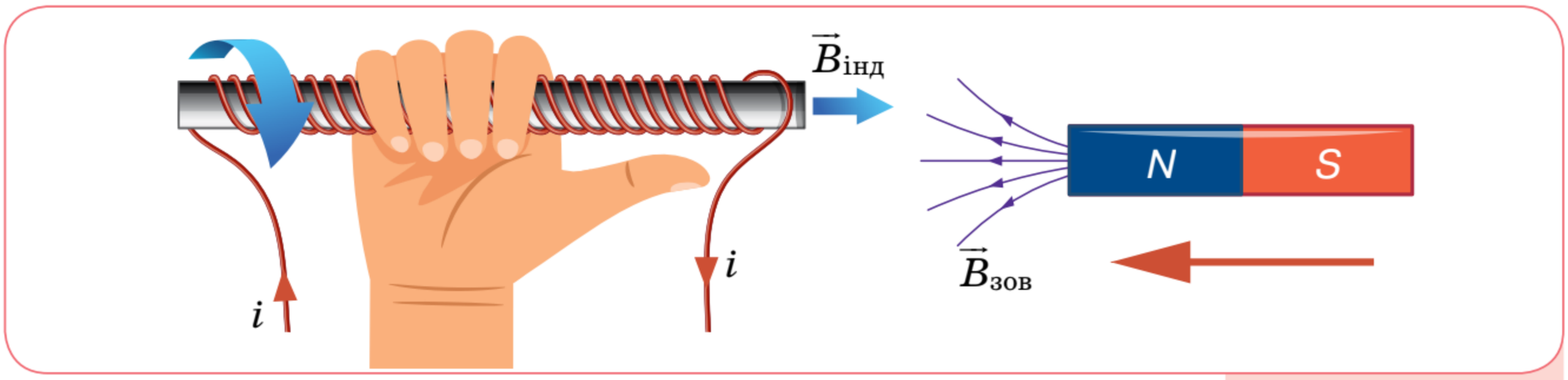
Мал. 18.4

***Як виникає індукційний струм і як він напрямлений?*** Ми з'ясували, за яких умов в замкненій котушці виникає індукційний струм. Залишилося зрозуміти, що є причиною його виникнення. Річ у тім, що змінне магнітне поле завжди супроводжується появою у навколишньому просторі електричного поля. Саме електричне поле (його теж називають індукційним), а не магнітне, діє на вільні заряджені частинки в котушці й надає їм напрямленого руху, створюючи таким чином індукційний струм. А цей струм породжує, у свою чергу, власне (індуковане) магнітне поле.

При цьому створюване індукційним струмом магнітне поле перешкоджає зміні того магнітного поля, яке породжує цей індукційний струм.

Це правило сформулював 1833 року Е. Х. Ленц. За цим правилом легко визначити напрям індукційного струму. Розглянемо приклад наближення магніту північним полюсом $N$ до котушки (мал. 18.5). Магніт

наближається, магнітний потік (кількість ліній магнітної індукції, що пронизують контур витка) збільшується. У витку має виникнути індукційний струм такого напряму, щоб створене власне індуковане магнітне поле $B_{\text{інд}}$ протидіяло цьому збільшенню, тобто з того боку витка, який повернуто до магніту, з'являється однойменний полюс $N$. Знаючи напрям магнітного поля і застосовуючи правило свердлика або правої руки, визначаємо напрям індукційного струму. Наприклад, за правилом правої руки, відігнутий палець вказує напрям індукованого магнітного поля, а зігнуті — напрям індукційного струму в котушці.




Мал. 18.5

Узагальнимо алгоритм визначення напряму індукційного струму.

1. Визначити напрям магнітної індукції зовнішнього магнітного поля ($B_{\text{зов}}$).
2. З'ясувати, посилюється чи послаблюється зовнішнє магнітне поле (тобто збільшується чи зменшується кількість ліній магнітної індукції, що пронизують контур).
3. Визначити напрям магнітної індукції магнітного поля, створеного індукційним струмом ($B_{\text{інд}}$).
4. Визначити напрям індукційного струму за правилом свердлика або правої руки.

**ДУМАЙ**

**1.** У чому полягає явище електромагнітної індукції? **2.** Який струм називають індукційним? **3.** Які причини виникнення індукційного струму? **4.** Як визначити напрям індукційного струму?

**ДІЙ**

## ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

**Виконуй досліди з дотриманням правил безпеки життєдіяльності!**

**1** Перевір умови виникнення індукційного струму в замкненій котушці.
*Обладнання*: міліамперметр, два штабові магніти, дротяна котушка.

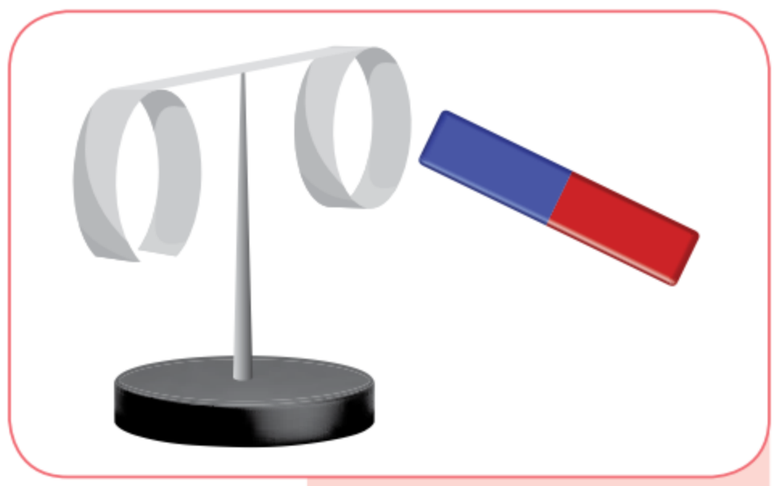
Утримуючи котушку й магніт у руках, послідовно наближай та віддаляй магніт від котушки. Проілюструй дослід малюнками (мал. 18.6), на яких познач магнітні полюси котушки та напрям індукційного струму в котушці.

Змінюй умови досліду: а) наближай і віддаляй котушку, а магніт тримай нерухомо; б) змінюй швидкість руху магніту, (швидше / повільніше) наближай і віддаляй від котушки; в) наближай і віддаляй два магніти, складені однойменними полюсами. Щоразу спостерігай за поведінкою стрілки міліамперметра. Оформи результати спостереження у таблиці, у якій зазначай дії з магнітом та відповідну поведінку стрілки міліамперметра.

**2** Досліди умови виникнення індукційного струму в замкненій котушці у випадку, коли дві котушки надіто на спільне осердя.
*Обладнання*: дві котушки з осердям, міліамперметр (або гальванометр), джерело постійного струму, реостат, ключ, провідники.

Збери електричне коло, зображене на малюнку 18.4, б. Опиши процеси у разі замикання ключа. Збери електричне коло, зображене на малюнку 18.4, в. Опиши процеси у разі зміни опору реостата.

**3** Переконайся в тому, що замкненість контуру є обов'язковою умовою для виникнення явища електромагнітної індукції. Для цього скористайся пристроєм, зображеним на мал. 18.6. Він являє собою вузьку алюмінієву пластинку з алюмінієвими кільцями на кінцях. Одне кільце суцільне, інше має розріз. Пластинку з кільцями розміщено на стійці, пластинка може вільно обертатися навколо вертикальної осі.



Мал. 18.6

Як буде поводитися суцільне кільце пристрою, якщо: а) підносити до нього магніт; б) відсувати від нього магніт; в) підносити до нього магніт південним полюсом? Що відбуватиметься, якщо магніт підносити до розрізаного алюмінієвого кільця? Як за допомогою цього пристрою перевірити правило Ленца?

**4** Виконай віртуальну лабораторну роботу 18.3 .

## ОПРАЦЮЙ ІНФОРМАЦІЮ

### Візьми участь у груповій роботі

Об'єднайтесь у групи та оберіть завдання для дослідження. Обміняйтеся своїми результатами.

**Завдання 1.** Знайдіть у різних джерелах (енциклопедіях, сайтах, відео, підручниках) інформацію про те, як М. Фарадей (в Англії) і Дж. Генрі (у США) незалежно один від одного одночасно відкрили явище електромагнітної індукції. З'ясуйте: які в них були схожі результати; чим відрізнялися їхні установки; хто опублікував результати першим.

**Завдання 2.** Знайдіть в науково-популярних матеріалах пояснення і спробуйте сформулювати, чому індукційний струм завжди протидіє причині, що його викликає.

18.4

# § 19. ДОСЛІДЖУЄМО ЕЛЕКТРОГЕНЕРАТОРИ

Якщо рух магніту зумовлює появу електричного струму, то можна зробити пристрій, у якому магніт рухатиметься без зупинки і вироблятиме електричний струм, який можна використовувати!

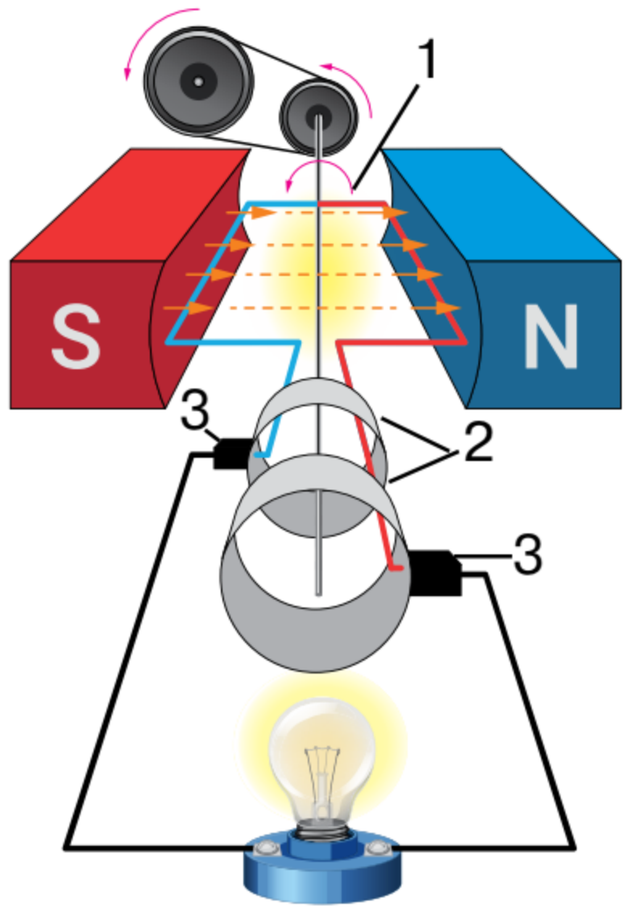


## ДОСЛІДЖУЙ

**1** Скористайся моделлю генератора (мал. 19.1, а) і згенеруй електричний струм самостійно. Поясни принцип дії такого генератора за схемою (мал. 19.1, б), користуючись текстом параграфа.




а




б

Мал. 19.1

**2** **З’ясуй, чим відрізняється індукційний струм від струму від батарейки. Використай три джерела: підручник, науково-популярну статтю, відео. Порівняй за такими критеріями: джерело енергії, напрям струму, умова виникнення, тривалість.**

## ДІЗНАВАЙСЯ

***Як працюють генератори змінного струму?*** Явище електромагнітної індукції використовують у механічних джерелах електричного струму — генераторах електричної енергії, без яких неможливо уявити сучасну електроенергетику. У таких генераторах механічна енергія перетворюється на електричну.

Розглянемо схему отримання індукційного струму (мал. 19.1, б). Рамка 1 складається з кількох витків дроту. Кінці рамки закріплено на кільцях 2, що обертаються разом з нею. До кілець щільно прилягають щітки 3, що виконують роль контактів. Під час обертання рамки кількість магнітних ліній, що її пронизують, то збільшується, то зменшується. Отже, магнітне поле, що пронизує рамку, постійно змінюється. Тому в рамці виникає індукційний струм. Оскільки кожен кінець рамки з’єднаний зі своїм кільцем, то у ті моменти, коли половина рамки проходить біля одного із полюсів магніту (наприклад, північного), у ній виникає індукційний струм, який протікає до внутрішнього контактного кільця. А коли біля північного полюса проходить друга половина рамки, індукційний струм протікає до зовнішнього контактного кільця. Щоразу як рамка змінює свою орієнтацію відносно полюсів магніту, індукційний струм також змінює свій напрям на протилежний.

Увесь час, поки ми будемо обертати рамку (а цю роль можуть відігравати різні джерела механічної енергії), у рамці виникатиме (буде генеруватися) *змінний електричний струм (Alternating Current)*.

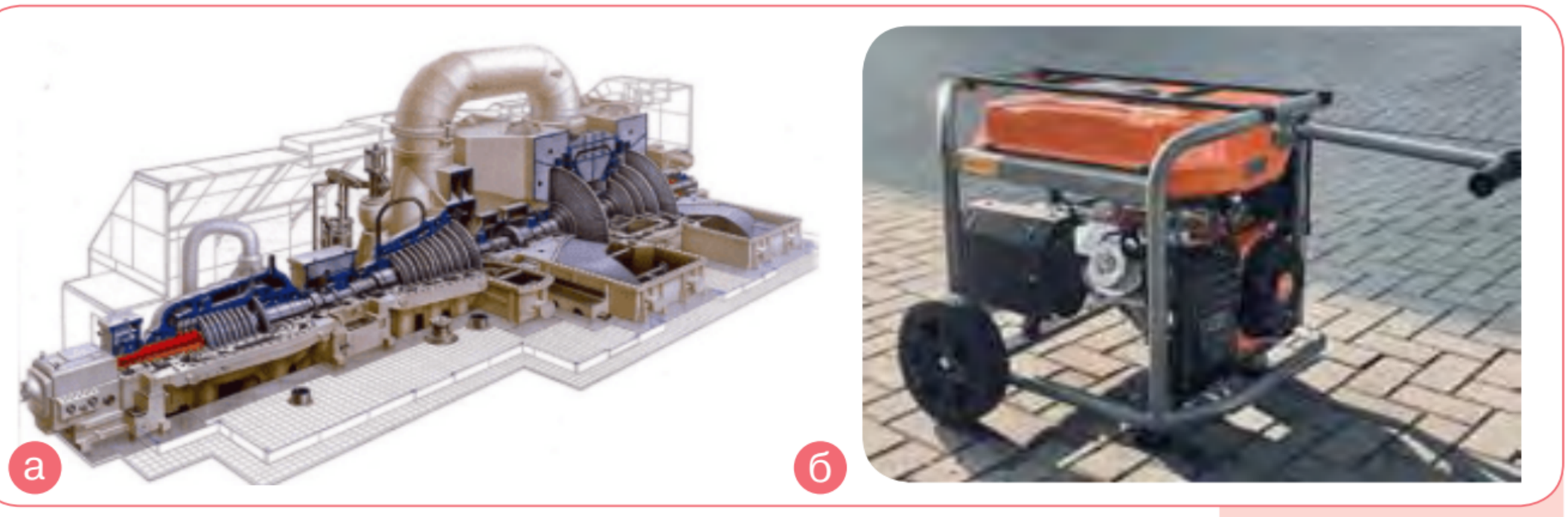
Пристрої, у яких механічна енергія перетворюється на електричну, називають *генераторами електричного струму*.

Промисловий генератор складається зі нерухомої частини (статора) і рухомої частини (ротора). Статор — це корпус з обмотками з дроту (котушками), у яких індукується (виникає) електричний струм. Ротор — це вал, який обертається всередині статора і створює магнітне поле. Ротор приводиться в рух зовнішнім джерелом, наприклад турбіною на електростанції (мал. 19.2, а), двигуном внутрішнього згорання (мал. 19.2, б).

Ротор отримує постійний струм (струм збудження) і створює потужне магнітне поле. Зовнішнє джерело (турбіна, двигун) обертає ротор з постійною швидкістю. Таким чином, магнітне поле ротора обертається і

перетинає провідники обмоток, розташованих на нерухомому статорі. Через постійну зміну напряму магнітного поля, яке перетинає провідники, струм, що генерується, є змінним. Генерований змінний струм знімається безпосередньо з обмоток статора і подається споживачам.

Промислові генератори бувають різних конструкцій і різняться за принципом взаємодії між ротором і магнітним полем, що обертається.



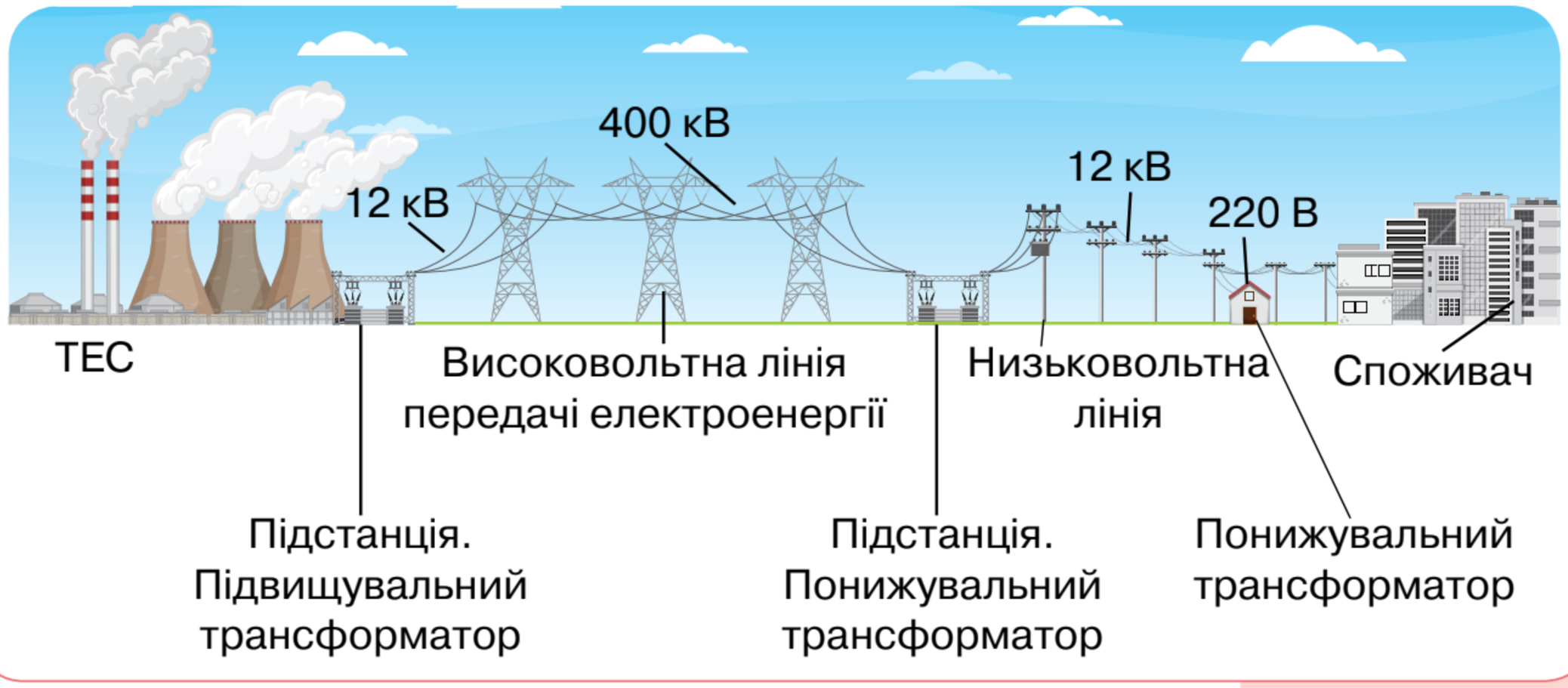

Мал. 19.2

***Дізнаємося про особливості змінного струму.*** Головна відмінність змінного струму від постійного в тому, що електрони у дроті ніби «гойдаються» вперед-назад, а не рухаються постійно в одному напрямі. У побутовій мережі України цей напрям змінюється 50 разів на секунду (це називають частотою 50 Гц). Змінний струм не просто змінює напрям; його напруга і сила струму постійно зростають від нуля до максимального значення, падають до нуля, змінюють напрям, досягають максимального значення у зворотному напрямі і знову повертаються до нуля.

Головна перевага змінного струму — його напругу легко змінювати. А це дуже важливо для зменшення втрат на нагрівання дротів лінії електропередач при транспортуванні енергії на великі відстані. Пристрої, які змінюють напругу, називають *трансформаторами*. На електростанції напруга підвищується до дуже високих значень (сотні тисяч вольт). При високій напрузі втрати енергії в дротах мінімальні. Біля споживачів (у містах) напруга знижується до безпечних побутових показників 220–240 В (мал. 19.3, с. 114).

Перетворення напруги у постійному струмі є набагато складнішим і дорожчим процесом.

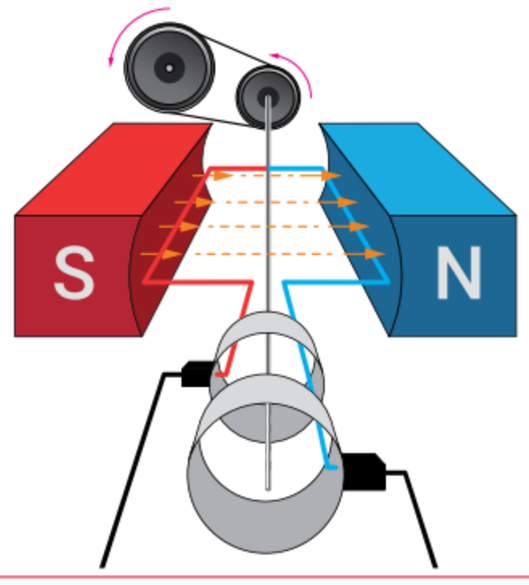
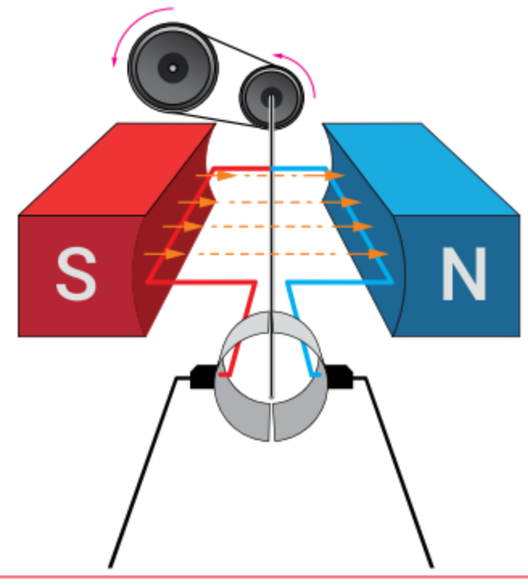
***Чим генератори змінного струму відрізняються від генераторів постійного струму?*** Усі генератори виробляють електричний струм на основі явища електромагнітної індукції, що природно призводить до виникнення змінного струму в обмотці ротора (якоря), коли вона обертається в магнітному полі. Проте для багатьох пристроїв, наприклад для зарядки акумулятора в автомобілі або живлення електроніки, по-




Мал. 19.3

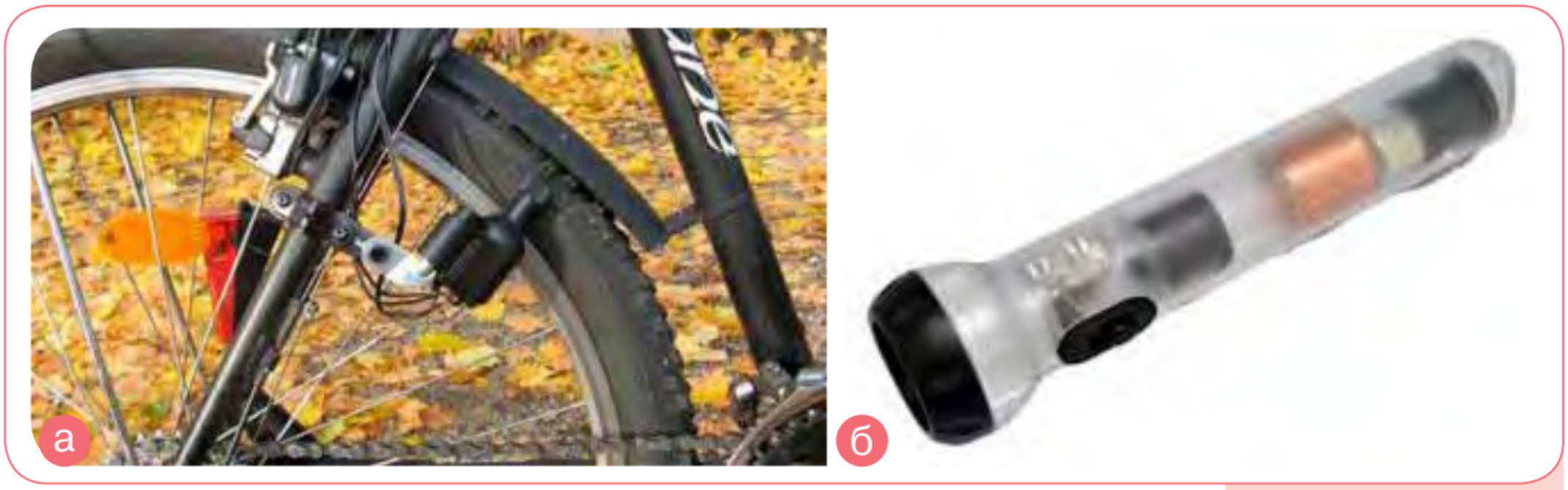
трібний постійний струм. Для цього генератор оснащують спеціальним механічним пристроєм, який називають *колектором* (комутатором). За допомогою щіток він автоматично перемикає полярність виходу в той момент, коли напрям індукованого струму в обмотці змінюється.

Порівняй роботу генераторів.

| **Ознака** | Генератор змінного струму | Генератор постійного струму |
|---|---|---|
| **Схема** |  |  |
| **Будова** | Має ковзні кільця (два кільця, до яких торкаються щітки) | Має колектор (розрізане кільце), який міняє з’єднання проводів кожного півоберту |
| **Принцип дії** | У котушці виникає змінний струм, бо магнітне поле змінюється під час обертання | У котушці так само виникає змінний струм, але він «випрямляється», щоб текти лише в один бік |
| **Напрям струму** | Змінюється двічі за кожен оберт котушки | Залишається сталим (після випрямлення колектором) |
| **Використання** | Електромережа | Динамо на велосипеді, автомобільний генератор |

Прикладом генератора, що дає постійний струм, є велосипедний генератор (динамо). Обертання колеса велосипеда приводить у рух ролик, притиснутий до покришки (мал. 19.4, а). Цей ролик обертає ротор всередині генератора відносно нерухомих обмоток (статора) та індукує струм, який виправляється для живлення фари та заднього ліхтаря.

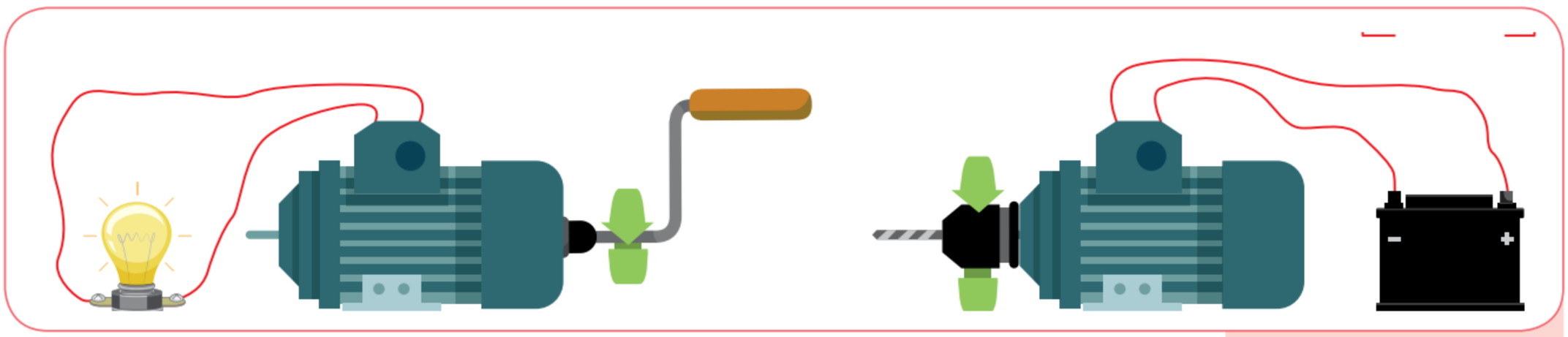
Інший приклад отримання постійного струму внаслідок явища електромагнітної індукції — інерційний ліхтарик (мал. 19.4, б). Ліхтарик струшують. Ці рухи змушують рухатися магніт через котушку (обмотку), генеруючи змінний струм короткими імпульсами. Цей струм зазвичай одразу випрямляється, щоб зарядити внутрішній акумулятор.




Мал. 19.4

Випрямляють змінний струм у постійний і за допомогою напівпровідникових діодів. Такий підхід є більш ефективним, надійним та простішим в обслуговуванні, ніж використання механічного колектора в генераторах.

Варто також сказати, що генератори електричного струму мають практично таку саму будову, що й електродвигуни (див. § 16). Але за принципом дії генератор — це електричний двигун «навпаки» (мал. 19.5).



Мал. 19.5

**ДУМАЙ**

**1.** Що є основою принципу роботи всіх електрогенераторів? **2.** Яку енергію перетворює генератор на електричну? **3.** Назви дві основні частини промислового генератора та їхню функцію. **4.** Яка особливість руху електронів у провіднику характеризує змінний струм? **5.** Чому на етапі передачі електроенергії на великі відстані на-

пругу підвищують до сотень тисяч вольт, а на етапі споживання (у містах) знижують до 220–240 В? **6.** Чим принципово відрізняється будова генератора змінного струму від генератора постійного струму? **7.** Чому у велосипедному динамо (генераторі, що виробляє змінний струм) кінцевий струм для живлення фари випрямляється у постійний?

## ДІЙ

1. Вирішу проблему: як сконструювати ліхтарик без батарейок.
2. Виконай віртуальну лабораторну роботу 19.1 .

## ОПРАЦЮЙ ІНФОРМАЦІЮ

**1.** Знайди три приклади застосування електромагнітної індукції в побуті чи техніці (наприклад, зарядні пристрої, генератори, плита). Для кожного прикладу вкажи:

- де відбувається зміна магнітного поля;
- у якому елементі індукується струм;
- яку користь це дає.

**2.** Знайди інформацію про те, як ідеї М. Фарадея було використано в створенні перших електричних генераторів. Зроби коротку хронологію: дослід Фарадея (1831) — перший генератор (кінець XIX ст.) — сучасні генератори.Можна оформити у вигляді інфографіки чи таймлайну.

**3.** Знайди в інтернеті або довіднику інформацію про один сучасний тип генератора (вітровий, гідравлічний, портативний, автомобільний). Підготуй коротке повідомлення (3–5 речень або 1 слайд):

- де використовується;
- який тип струму виробляє;
- яка енергія перетворюється.

Сформулюй 3–5 запитань, які можна було б поставити інженеру, що створює такі пристрої.

Обговори у групі, які запитання найважливіші для розуміння суті явища.

**4.** Дізнайся, що означає абрівіатура AC, DC? Хто і як переміг у «війні струмів»?

19.2

# § 20. ДОСЛІДЖУЄМО ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ХВИЛІ



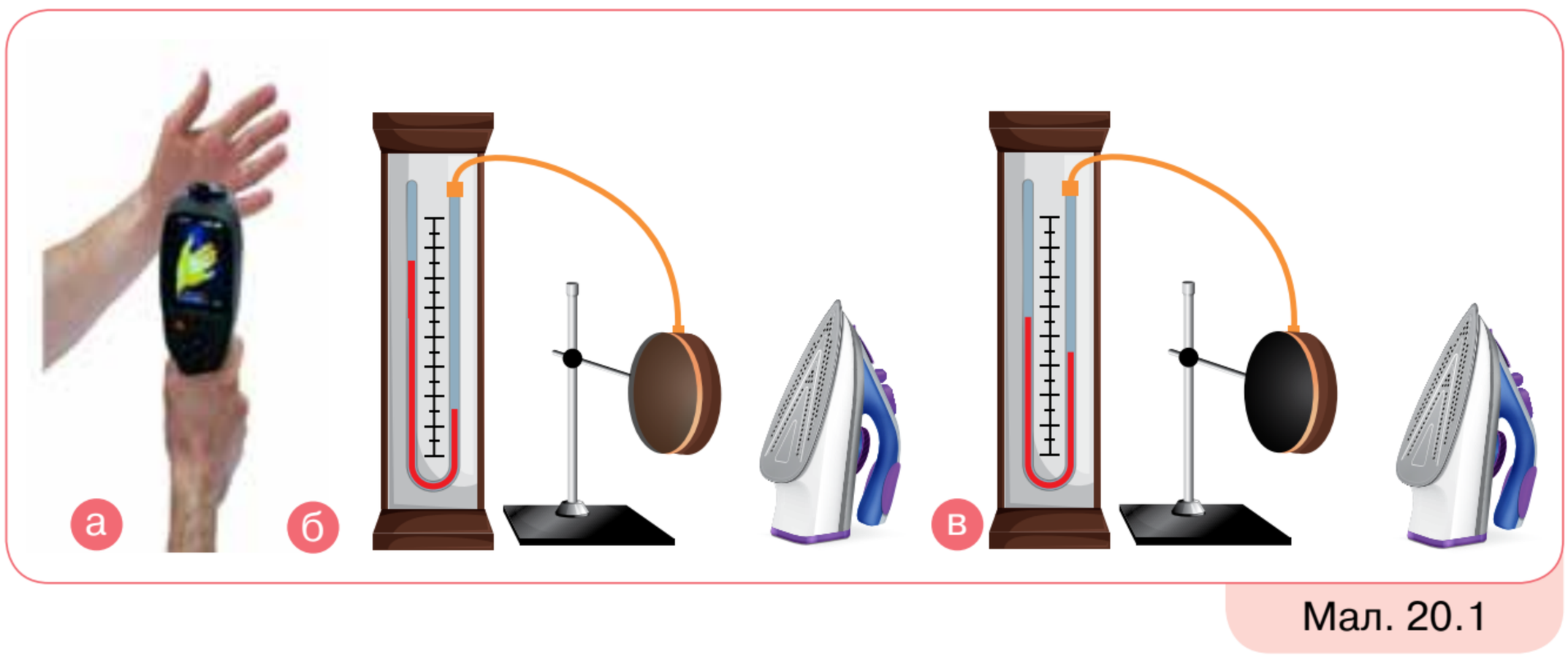
Що таке електромагнітні хвилі, я здогадуюсь. Завдяки ним передаються сигнали між засобами зв'язку. Але як їх можна дослідити?

А я пригадую, що у 8 класі ми вже досліджували електромагнітні хвилі, але вони були інфрачервоні (теплові).



## ДОСЛІДЖУЙ

**1** Пригадай, як можна переконатись у наявності інфрачервоного (теплового) випромінювання. Поясни, який пристрій зображено на малюнку 20.1, а. Чому відрізняються рівні води у манометрах на малюнках 20.1, б і в?




Мал. 20.1

**2** Переконайся, що радіохвилі зв'язку також можуть відбиватися. Тобі потрібна буде допомога друга або подруги. Включи звук телефона на голосний зв'язок і зателефонуй другу / подрузі. Переконайся, що зв'язок нормальний. Попроси друга / подругу огорнути телефон фольгою і знову зателефонуй. Що відбувається? Зроби дірку у фользі у місці, де розташована антена, і знову зателефонуй.

## ДІЗНАВАЙСЯ

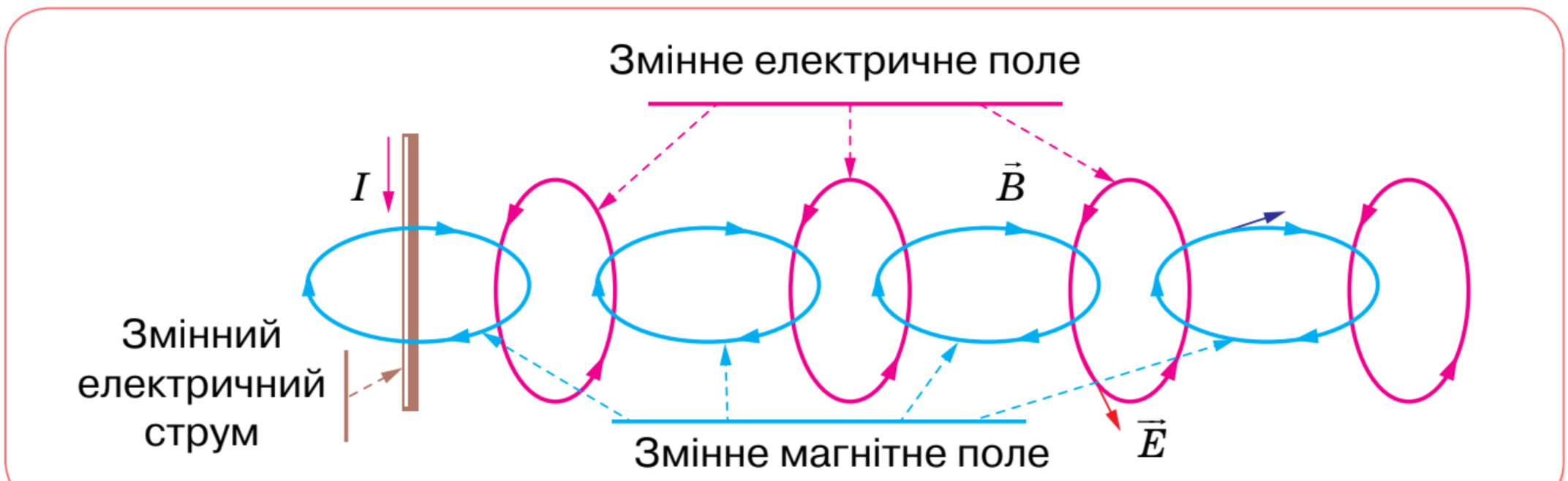
***Дізнаємося, як утворюються електромагнітні хвилі.*** Теплові (інфрачервоні), видимі світлові, ультрафіолетові, радіохвилі, рентгенівські хвилі — усі вони мають електромагнітну природу.

Як відомо, хвиля — це процес поширення коливань у просторі. Механічні хвилі — це поширення коливань у пружному середовищі, коли поширення хвилі можливе за рахунок зіткнення частинок середовища.

Електромагнітні хвилі — це поширення змінних електричного і магнітного полів, які виникають внаслідок прискореного руху електрично заряджених частинок.

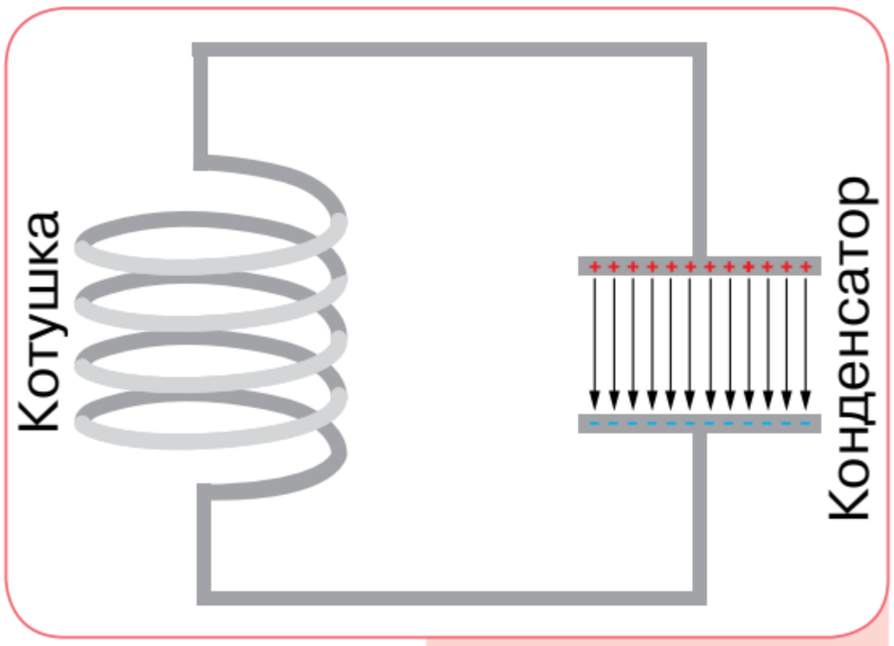
У природі взагалі немає відокремлених одне від одного електричних і магнітних полів, а існує електромагнітне поле як особливий вид матерії, через який відбувається електромагнітна взаємодія.

Залежно від причин і умов зміни швидкості заряджених частинок можливе утворення різних електромагнітних хвиль. Електрони в атомах за певних умов можуть випромінювати видиме світло. Електрони, що створюють змінний струм, коливаються з частотою 50 Гц, а отже, випромінюють електромагнітні хвилі (мал. 20.2). Це — низькочастотні радіохвилі.




Мал. 20.2

Для утворення високочастотних радіохвиль використовують спеціальні пристрої, основними елементами яких є котушка, яка накопичує магнітне поле, та конденсатор, який накопичує електричне поле. Разом вони як «гойдалка з перетворення енергії»: електричної на магнітну, і навпаки (мал. 20.3).

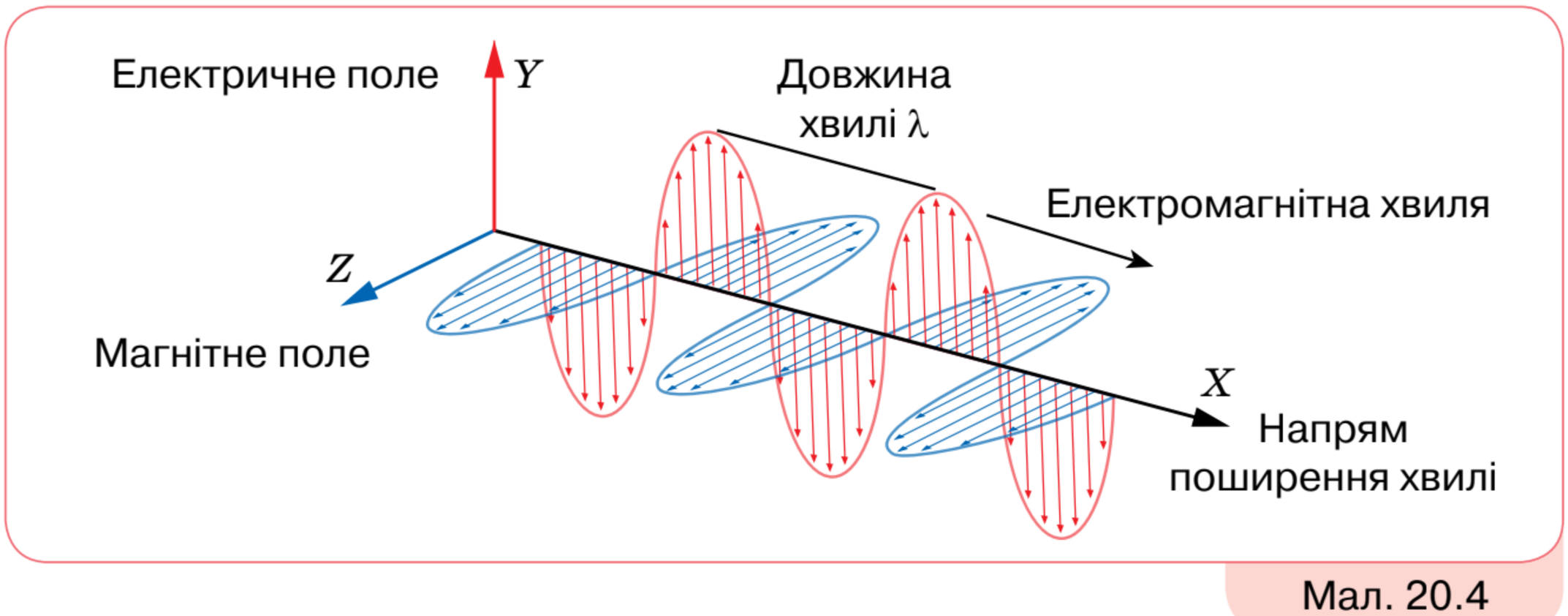



Мал. 20.3

20.1

Коли конденсатор заряджений і під'єднаний до котушки, заряд починає рухатися — виникає струм. Енергія перетворюється з електричної (у конденсаторі) на магнітну (у котушці), і навпаки. Такі переходи повторюються багато разів — це і є електромагнітні коливання. Щоб електричні коливання з коливального контуру перетворилися на електромагнітні хвилі, які можуть поширюватися на великі відстані, потрібна антена. Коли електрони в коливальному контурі «гойдаються» з високою частотою, вони змушують електрони в антені також прискорено рухатися (коливатися) вгору-вниз або ліворуч-праворуч. Цей прискорений рух заряджених частинок (електронів в антені) є джерелом електромагнітних хвиль. Отже, коливальний контур є джерелом високочастотних електричних коливань, а антена перетворює ці коливання на електромагнітні хвилі, відриваючи їх від контуру й відправляючи у вільний простір.

***Дізнаємося про характеристики електромагнітних хвиль.*** На малюнку 20.4 схематично зображено електромагнітну хвилю. На відміну від механічних хвиль, які можуть бути як поздовжніми, так і поперечними, електромагнітні хвилі лише поперечні. На малюнку це показано так: вісь $X$ — це напрям поширення хвилі (вперед), вісь $Y$ — напрям коливань електричного поля (позначено червоним), вісь $Z$ — напрям коливань магнітного поля (позначено синім). Як видно, електричне й магнітне поля коливаються перпендикулярно одне до одного і до напряму руху хвилі. Тому електромагнітна хвиля — поперечна.




Мал. 20.4

Червона хвиля — це електричне поле (Electric Field). Вона показує, як змінюється сила електричного поля з часом і місцем. Стрілки вгору і вниз означають, що поле зростає то в одному напрямі, то в протилежному. Синя хвиля — магнітне поле (Magnetic Field). Воно теж змінюється, але перпендикулярно до електричного поля. Якщо електричне поле коливається «вгору-вниз», то магнітне — «вліво-вправо». Коли електричне поле змінюється, воно породжує магнітне поле, а коли магнітне поле

змінюється, воно створює електричне поле. Так поля постійно «підтримують» одне одного — хвиля поширюється далі без дротів.

На малюнку також позначено довжину хвилі (Wavelength) — відстань між двома сусідніми «гірками» або «ямами» хвилі. Довжина хвилі відображає, як часто змінюються поля у просторі.

Усі електромагнітні хвилі у вакуумі поширюються зі швидкістю 300 000 км/с; у речовині швидкість $\vec{\upsilon}$ поширення електромагнітної хвилі зменшується під впливом електричних і магнітних властивостей цього середовища. І той факт, що виміряна швидкість електромагнітних хвиль така сама, як і швидкість світла, свого часу став вирішальним у з'ясуванні суті світла: світло — це різновид електромагнітних хвиль.

Аналогічно до знаходження швидкості механічних хвиль, швидкість електромагнітної хвилі визначають добутком довжини хвилі і її частоти: $\upsilon = \lambda\nu = \lambda / T$, де $T$ — період, $\nu$ — частота електромагнітних коливань.

**ДУМАЙ**

**1.** Чи можуть електричні і магнітні поля існувати відокремлено одне від одного? **2.** Що називають електромагнітною хвилею? **3.** Яка швидкість поширення електромагнітних хвиль у вакуумі? У речовині? **4.** Запиши формулу, що виражає зв'язок швидкості поширення хвилі з довжиною хвилі і частотою.

**ДІЙ**

## УЧИСЬ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ЗАДАЧІ

Визнач частоту електромагнітної хвилі в повітрі, якщо довжина цієї хвилі 6 см. Швидкість поширення електромагнітної хвилі в повітрі вважати такою, як у вакуумі.

**Дано:**

$\lambda = 0{,}06$ м

$\upsilon = 3 \cdot 10^8$ м/с

$\nu$ — ?

**Розв'язання:**

З формули $\upsilon = \lambda\nu$ знайдемо частоту: $\nu = \upsilon / \lambda$;

$$\nu = \frac{3 \cdot 10^8 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{0{,}06 \text{ м}} = 5 \cdot 10^9 \text{ Гц}.$$

**Відповідь:** $5 \cdot 10^9$ Гц.

## РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

1. Визнач довжину електромагнітної хвилі частою 2 МГц у середовищі, де швидкість хвилі дорівнює $2 \cdot 10^8$ м/с.
2. У скільки разів потрібно змінити частоту електромагнітної хвилі, щоб її довжина зменшилася в 3 рази?

3 Радіостанція «Промінь» веде мовлення на середніх хвилях з частотою 660 кГц. Визнач довжину хвилі, на якій працює ця радіостанція.

4 Побутова мікрохвильова піч працює на частоті 2,45 ГГц. Яка довжина цих хвиль у повітрі?

5 Виконай завдання за симуляцією 20.2 .

## ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

**Виконуй досліди з дотриманням правил безпеки життєдіяльності!**

1 Виміряй довжину електромагнітної хвилі мікрохвильової печі (домашній дослід).

Розклади зефір або сир рівномірно по тарілці. Вимкни обертання тарілки (зніми обертову платформу). Підігрівай зефір (сир) протягом 10–15 секунд. Виміряй відстань між розплавленими плямами — це півхвиля.

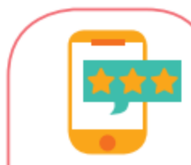
2 Спостерігай за атмосферним заломленням радіохвиль (проведи спостереження вдома). Сформулюй гіпотезу на основі цього питання: чи впливають погодні умови або час доби на якість радіосигналу від далеких станцій?

Перевір свою гіпотезу. Знайди на своєму радіоприймачі (або смартфоні з радіо) 2–3 радіостанції, які зазвичай приймаються з помірними перешкодами або є досить далекими. Запиши їхні частоти. Протягом кількох днів (наприклад, тижня) щовечора (або в певний час доби) слухай ці станції та записуй спостереження в таблицю.

| Дата, час | Якість сигналу (чіткий, з перешкодами, зовсім не чути) | Поточні погодні умови (ясно, хмарно, дощ, туман, температура) |
|---|---|---|
| | | |

Чи підтвердилася твоя гіпотеза? Чи помітив / помітила ти зміни в якості прийому далеких радіостанцій? Чи є зв'язок між якістю прийому й погодними умовами / часом доби? Як це можна пояснити з погляду взаємодії радіохвиль в атмосфері із йоносферою? (Можливо, знадобиться додатковий пошук інформації про йоносферу і її вплив на радіохвилі вдень / вночі.) Зроби висновок про вплив погодних умов або часу доби на якість радіосигналу від далеких станцій.

3 Сформулюй на основі виконаних експериментів 3–4 запитання й постав їх однокласникам / однокласницям. Що тобі складніше: експериментувати, формулювати запитання, відповідати на них чи перевіряти правильність відповідей?


20.3

# § 21. ДОСЛІДЖУЄМО ВЛАСТИВОСТІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ХВИЛЬ

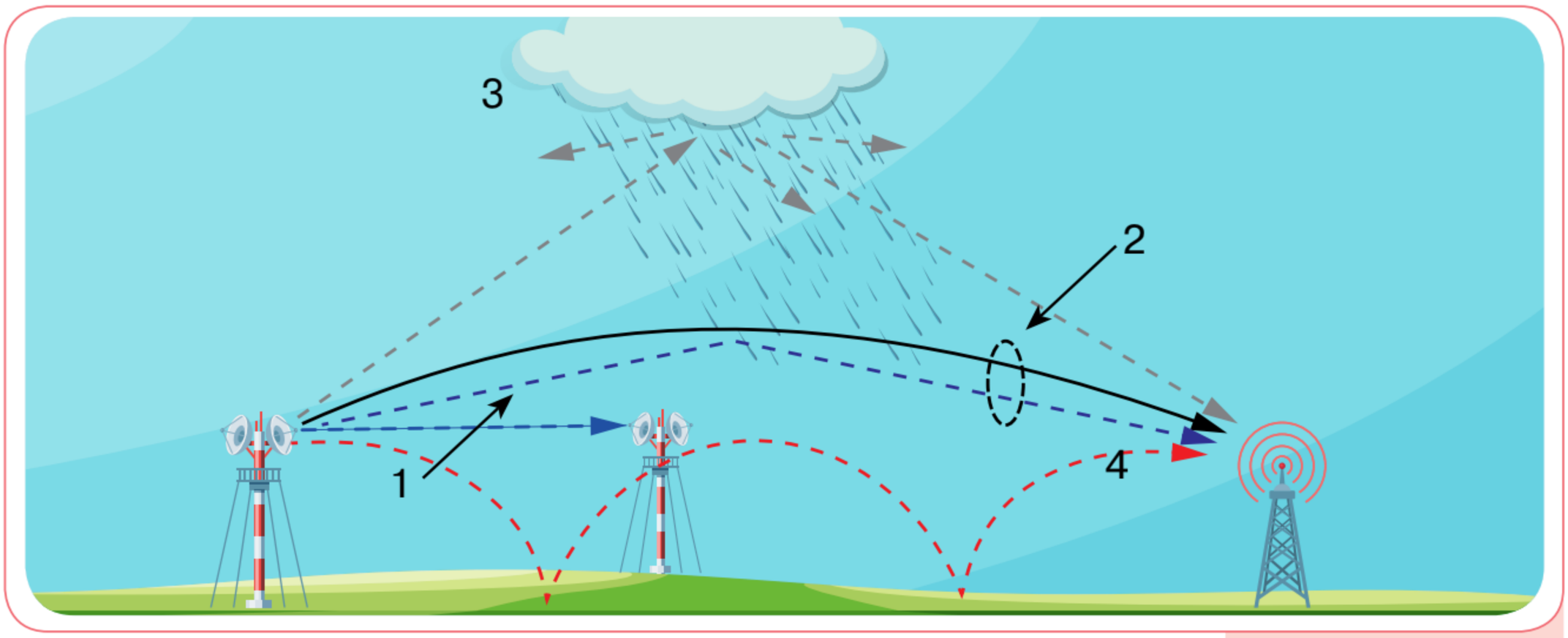
Я виявив, що погодні умови впливають на якість радіосигналу. А чому так відбувається?

Можливо, електромагнітні хвилі мають такі самі властивості, як і механічні? Заломлюються, відбиваються...



## ДОСЛІДЖУЙ

Переконайся, що електромагнітні хвилі поширюються прямолінійно, заломлюються, розсіюються та відбиваються (мал. 21.1). Установи відповідність між підписами на малюнку (1–4) та їх описом (А–Г).




Мал. 21.1

**А.** Електромагнітні хвилі можуть відбиватись або заломлюватись у верхніх шарах атмосфери (наприклад, у тропосфері чи іоносфері). Це дає змогу сигналу «обгинати» Землю й доходити на великі відстані, навіть за горизонтом.

**Б.** Під час дощу, снігу або граду краплини й кристали льоду розсіюють електромагнітні хвилі. Це призводить до ослаблення сигналу або до появи додаткових «еховідбиттів».

**В.** Коли в атмосфері існує шар із різкою зміною температури або вологості, хвиля може «замикатись» у ньому, рухаючись уздовж поверхні

Землі на сотні кілометрів — наче в «хвильовій трубі». Це пояснює появу далеких радіосигналів під час особливих погодних умов.

**Г.** Хвилі зазвичай поширюються по прямій лінії, якщо немає перешкод або атмосферних аномалій.

## ДІЗНАВАЙСЯ

***Дізнаємося про відбивання і заломлення електромагнітних хвиль.*** В однорідному середовищі електромагнітні хвилі поширюються прямолінійно. Це означає, що лінія поширення хвилі збігається з напрямом перенесення енергії. Завдяки цій властивості ми можемо визначати напрям випромінювання антен або побудову ліній зв'язку «на пряму видимість».

Коли хвиля потрапляє на межу двох середовищ, вона може *відбиватися*. Кут відбивання електромагнітних хвиль, як і хвиль будь-якої іншої природи, дорівнює куту падіння. Під час відбивання не змінюється ні частота, ні довжина, ні швидкість поширення хвилі.

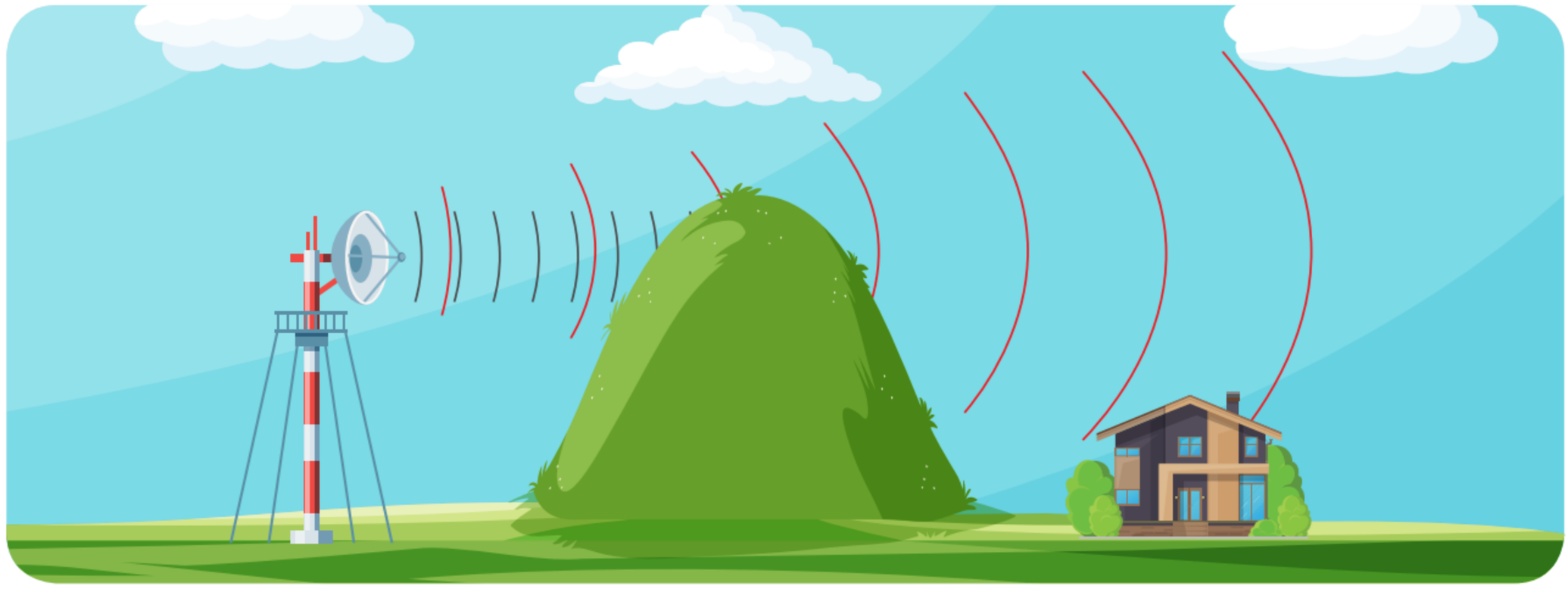
Відбиття електромагнітних хвиль лежить в основі роботи радарів, супутникового зв'язку, телебачення. Наприклад, хвиля, відбита від літака, повертається до приймача і дає змогу визначити його положення.

Якщо хвиля переходить з одного середовища в інше, її напрям змінюється. Це явище називають *заломленням*. Це відбувається тому, що при переході з одного середовища в інше частота хвилі залишається постійною, а швидкість залежить від середовища, у якому рухається хвиля, тому довжина хвилі змінюється. Ця зміна довжини хвилі під час проходження електромагнітної хвилі між двома середовищами й пояснює її заломлення.

***Дізнаємося про дифракцію та інтерференцію електромагнітних хвиль.*** Електромагнітні хвилі здатні огинати невеликі перешкоди або проходити через вузькі отвори. Це явище називають *дифракцією*. Завдяки дифракції радіосигнал може бути прийнятий навіть у місцях, куди немає прямої видимості на передавач.

На малюнку 21.2 (с. 124) зображено щоглу з радіопередавачем, який передає короткі (позначені на малюнку сірим кольором) і довгі (позначені червоним кольором) хвилі. Оскільки для коротких хвиль пагорб є великою перешкодою, то далі хвилі не проходять. Щодо довгих хвиль, то розміри пагорба співмірні з їхньою довжиною, тому проявляється властивість хвиль огинати перешкоду — дифракція.

Якщо дві або більше хвиль зустрічаються в одному місці простору, вони можуть накладатися одна на одну. У результаті в одних точках сигнал підсилюється, а в інших — послаблюється. Цю властивість називають *інтерференцією*.



Мал. 21.2

Електромагнітні хвилі виявляють такі самі хвильові властивості, як і механічні хвилі: відбивання, заломлення, інтерференцію та дифракцію. На відміну від механічних хвиль, електромагнітні хвилі можуть поширюватись у вакуумі з максимально можливою у природі швидкістю — 300 000 км/с. Взаємодія електромагнітних хвиль з речовиною залежить від їх частоти: низькочастотні хвилі переважно забезпечують зв'язок і передавання інформації, а високочастотні можуть спричиняти йонізацію речовини. Завдяки цим властивостям електромагнітні хвилі мають фундаментальне значення для фізики та лежать в основі сучасних технологій зв'язку, медицини, енергетики й астрономії. Розуміння цих властивостей дозволило нам створити мобільний зв'язок, мікрохвильові печі та навіть телескопи, що бачать крізь космічний пил.

**ДУМАЙ**

**1.** Як називають явище, коли хвиля змінює напрям при переході в інше середовище? **2.** Як називають явище, коли хвиля огинає перешкоду? **3.** Яке явище спостерігається, коли дві хвилі накладаються одна на одну? **4.** Чим відрізняється відбиття хвилі від заломлення? **5.** Електромагнітна хвиля переходить із вакууму у середовище, де її швидкість становить $2 \cdot 10^8$ м/с. Як зміниться довжина хвилі у цьому середовищі?

**ДІЙ**

## ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

### Візьми участь у груповій роботі

**Виконуй досліди з дотриманням правил безпеки життєдіяльності!**

Дослідіть властивості відбивання й заломлення радіохвиль, використовуючи доступні засоби.

*Обладнання*: смартфон з увімкненим Wi-Fi та можливістю перегляду сили сигналу (зазвичай відображається смужками Wi-Fi); джерело Wi-Fi (ваш домашній роутер або точка доступу в школі); великий металевий лист (наприклад, деко для випічки, великий шматок фольги, металеві двері); різні матеріали-перешкоди (дерево, картон, щільна тканина, скло, цегла / бетонна стіна — у разі можливості); радіоприймач (можна в смартфоні), що приймає радіостанції з різних міст / регіонів.

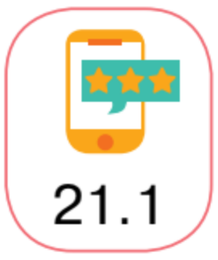
**Дослід 1.** Дослідіть відбивання радіохвиль від металевих поверхонь. Сформулюйте гіпотезу на основі проблемного питання: чи можуть радіохвилі відбиватися від металевих поверхонь, і як це впливає на силу сигналу?

Перевірте свою гіпотезу.

1. Стань на відстані 3–5 метрів від Wi-Fi роутера. Запиши рівень сигналу Wi-Fi на своєму смартфоні (кількість смужок). Це буде твій базовий показник.
2. Попроси однокласників / однокласниць тримати великий металевий лист між роутером і твоїм смартфоном. Спостерігай за зміною сигналу.
3. Попроси однокласників / однокласниць тримати металевий лист позаду тебе (як екран) так, щоб роутер був перед тобою. Металевий лист має бути орієнтований так, щоб відбивати сигнал від роутера у твій бік. Запиши зміну сигналу.
4. Зміни кут нахилу металевого листа. Чи змінюється сила сигналу?
5. Перемісти металевий лист так, щоб він повністю затуляв твій смартфон від роутера. Чи зник сигнал повністю?
6. Чи підтвердилася ваша гіпотеза?
7. Де в повсякденному житті ми можемо спостерігати такі відбивання?

**Дослід 2.** Досліди поглинання й ослаблення радіохвиль різними матеріалами. Сформулюй гіпотезу на основі проблемного питання: як різні матеріали (стіни, меблі, двері) впливають на силу сигналу Wi-Fi?

1. Обери місце, де сигнал Wi-Fi стабільний (наприклад, 3–4 смужки). Запиши рівень сигналу.
2. Пройди в іншу кімнату через дерев'яні двері (закрий їх). Запиши рівень сигналу.
3. Пройди за цегляну / бетонну стіну. Запиши рівень сигналу.
4. Спробуй пройти за шафу або великі меблі. Запиши рівень сигналу.
5. Повтори ці дії з віконним склом (за можливості).
6. Який матеріал найбільше перешкоджав сигналу Wi-Fi, а який — найменше?


21.1

# § 22. ДОСЛІДЖУЄМО ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ ХВИЛЬ



О! Тема, яку я знаю на всі 12 балів!

І не тільки ти!



## ДОСЛІДЖУЙ

Прояви уміння у радіокеруванні. Установи в системі радіоуправління (пульт + іграшка) дві основні частини: передавач (пульт) та приймач (іграшка). Визнач, який компонент у кожній частині відповідає за: генерацію сигналу; випромінювання хвилі; прийом хвилі; перетворення сигналу на механічний рух.



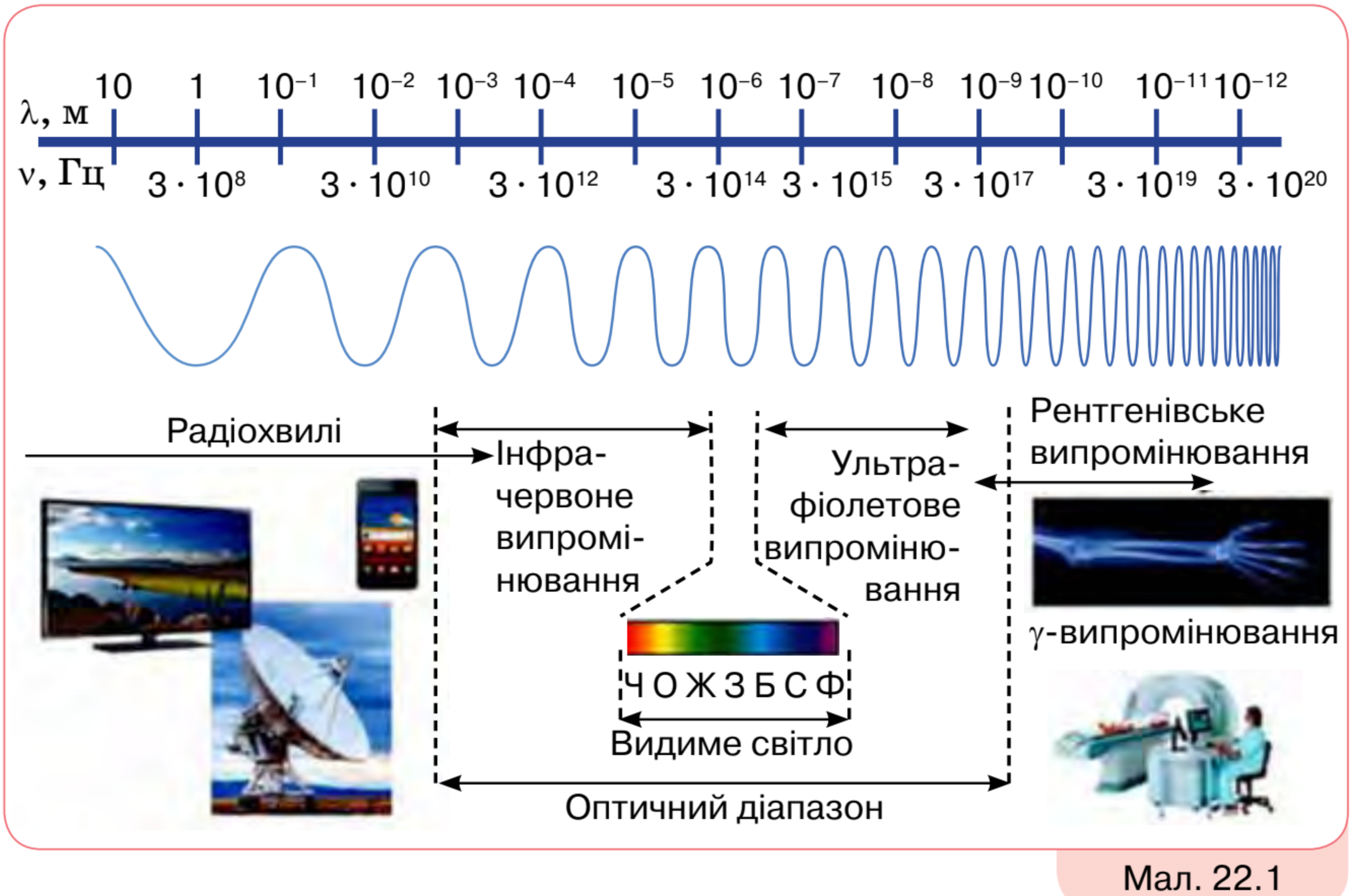
Знайди інформацію (зазвичай вказано на пульті або на коробці), на якій частоті працює іграшка. Поясни, до якого діапазону електромагнітних хвиль (за шкалою в параграфі) належить ця частота і чому вона використовується саме для радіоуправління. Використовуючи знайдену частоту, обчисли довжину хвилі. Як вона співвідноситься з розмірами антени іграшки? Перевір, чи виконується умова: ефективна довжина антени передавача для надійного випромінювання дорівнює половині довжини випромінюваної хвилі або її чверті.

Увімкни іграшку та пульт. Сплануй дослідження, щоб з'ясувати, як фізичні властивості електромагнітних хвиль (відбиття, поглинання, поширення) впливають на роботу пристрою радіоуправління. Запропонуй інженерні рішення, які могли б визначити дальність або надійність зв'язку іграшки.

## ДІЗНАВАЙСЯ

***Дізнаємося про шкалу електромагнітних хвиль.*** За довжиною хвилі ($\lambda$) або частотою коливань ($\nu$) діапазон електромагнітних хвиль простягається від $10^{4}$ м ($3 \cdot 10^{-3}$ Гц) до $10^{-11}$ м ($3 \cdot 10^{19}$ Гц). Для зручності опису властивостей електромагнітних хвиль їх можна розташувати на

одній шкалі (мал. 22.1), у якій виділяють умовні діапазони: *низькочастотні хвилі, радіохвилі, інфрачервоне випромінювання, видиме випромінювання (світло), ультрафіолетове випромінювання, рентгенівське випромінювання* та *гама-випромінювання*. Хвилі певного діапазону частот мають характерні назви й властивості.




Мал. 22.1

*Низькочастотні* електромагнітні хвилі утворюються під час роботи різних електротехнічних пристроїв, які живляться змінним струмом низької частоти. Це випромінювання внаслідок малої частоти має низьку енергію, тому не становить жодного інтересу для передачі інформації в атмосфері на великі відстані. Саме тому багатьох відомих дослідників і винахідників, які шукали способи передачі інформації за допомогою електромагнітних хвиль низької частоти, спіткала невдача.

*Радіохвилі* поділяють на довгі (понад 10 км), середні (сотні метрів), короткі (десятки метрів), ультракороткі (см, мм). Їх переважно використовують у радіозв'язку.

*Інфрачервоне випромінювання* — оптичне випромінювання з довжиною хвилі, більшою, ніж у видимого випромінювання (більше 750 нм).

*Видиме світло* — область електромагнітного випромінювання, що безпосередньо сприймається людським оком. Характеризується довжинами хвиль від 380 (фіолетовий колір) до 750 (червоний колір) нм.

Хвилі з довжиною, меншою від 380 нм, називають *ультрафіолетовими*.

Видиме світло, інфрачервоне й ультрафіолетове випромінювання об'єднують одним терміном — *оптичне випромінювання*.

*Рентгенівське випромінювання* отримують під час гальмування електронів, які прискорюються напругою в десятки кіловольтів у спеціальних вакуумних трубках. Ці промені за довжиною перекриваються із *гама-променями* (*γ-променями*), які утворюються під час розпаду деяких ядер атомів.

Детальніше про оптичне випромінювання, рентгенівське та гама-випромінювання — у наступних розділах.

***Дізнаємося про застосування радіохвиль.*** Після відкриття Г. Герца розпочалася гонка за практичне застосування електромагнітних хвиль.



Італійський інженер Гульєльмо Марконі (кінець 1890-х) розробив першу комерційно успішну систему бездротового телеграфу (передача азбуки Морзе). У 1901 році Г. Марконі здійснив першу трансатлантичну передачу радіосигналу (через Атлантичний океан), довівши, що радіохвилі можуть долати величезні відстані, відбиваючись від іоносфери.



Наступним кроком стала передача не тільки точок і тире (азбука Морзе), а й людського голосу. Канадський винахідник Реджинальд Фессенден у 1906 році здійснив першу в історії радіотрансляцію людського голосу та музики. 1920-ті — початок радіомовлення. По всьому світу почали з'являтися перші комерційні радіостанції, які використовували радіохвилі для масової передачі інформації.



Згодом інженери освоїли вищі частоти. Едвін Армстронг (1930-ті) розробив FM-радіо, яке забезпечувало набагато кращу якість звуку та стійкість до перешкод. У 1930-х роках почалися експерименти з передавання зображення — виникло телебачення.




У роки Другої світової війни активно розвивалася радіолокація (радари), яка використовувала мікрохвильовий діапазон. Це відкрило шлях до супутникового зв'язку та бездротового інтернету (Wi-Fi). У 1950–70-х роках виникла радіонавігація, супутниковий зв'язок і радіоастрономія — спостереження космосу за допомогою радіохвиль.

Впровадження цифрових технологій (наприклад, мобільного зв'язку GSM, 3G, 4G, 5G) дозволило передавати не лише голос, але й величезні обсяги даних, використовуючи різні діапазони електромагнітних хвиль для забезпечення високошвидкісного бездротового зв'язку.

Сьогодні радіохвилі — основа майже всіх систем бездротового зв'язку:

- FM-радіо і телебачення;
- Wi-Fi, Bluetooth, мобільний зв'язок (4G, 5G);
- супутникова навігація (GPS, ГЛОНАСС);
- радіолокація і радіотелескопи.

Кожна з цих систем використовує свій діапазон частот радіохвиль — від довгих (кілометри) до надкоротких (міліметри). Завдяки цьому людство отримало можливість передавати інформацію на будь-яку відстань без дротів.

Радіохвилі з різними довжинами хвиль по-різному поширюються біля поверхні Землі. Радіозв'язок здійснюють на довгих (10 000–1000 м), середніх (1000–100 м), коротких (100–10 м) та ультракоротких (менше 10 м) хвилях.

*Довгі хвилі* поширюються далеко за межі видимого горизонту. Тому радіопередачі на довгих хвилях можна приймати на великих відстанях за межами прямої видимості антени.

*Середні хвилі* поширюються біля поверхні Землі на менші відстані за межі прямої видимості.

*Короткі хвилі* можна прийняти в будь-якій точці на поверхні Землі. Поширення коротких радіохвиль на великі відстані від передавальної радіостанції пояснюється їх здатністю відбиватися від іоносфери як від металевої пластинки.

Ультракороткі хвилі не відбиваються іоносферою і не огинають поверхню Землі. Тому зв'язок на ультракоротких хвилях здійснюється тільки в межах прямої видимості антени передавача.

***Як працює мобільний зв'язок?*** Коли ти телефонуєш, твій мобільний телефон перетворює звук голосу на електричні сигнали, а потім — на електромагнітні хвилі (радіохвилі). Ці хвилі випромінюються антеною телефону й поширюються у просторі. Поруч із тобою є базова станція — велика антена, яку ти часто бачиш на дахах або вежах (мал. 22.2, с. 130). Телефон «з'єднується» саме з тією станцією, яка має найсильніший сигнал у даний момент. Базова станція приймає твої радіохвилі, перетворює їх на електричні сигнали і передає далі по дротах або оптоволоконній мережі. Усі базові станції з'єднані з центральним комутаційним вузлом, який працює як «мозок системи». Він визначає, кому саме потрібно передати твій дзвінок або повідомлення:

- якщо співрозмовник у тій самій зоні — сигнал іде напряму;
- якщо в іншому місті чи країні — сигнал іде через інші центри або супутники.




Мал. 22.2

Коли комутаційний центр знаходить телефон того, кому ти телефонуєш, інформація знову передається через найближчу базову станцію у вигляді радіохвиль. Телефон приймає ці хвилі, перетворює їх на електричний сигнал, а потім — на звук. Отже, твій голос долає відстань через повітря, дроти й навіть супутники за частку секунди!

Під час користування інтернетом або месенджерами інформація також передається радіохвилями — тільки не у вигляді звуку, а у вигляді цифрових даних (0 і 1). Чим новіша технологія зв'язку (3G, 4G, 5G), тим більше інформації вона може передати за секунду.

Кожна базова станція обслуговує свою ділянку. Коли ти рухаєшся (наприклад, їдеш у машині), твій телефон автоматично перемикається від однієї ділянки на іншу — це відбувається непомітно, і розмова не переривається.

***Як застосовуються електромагнітні хвилі для керування пристроями на відстані?*** Розглянемо це на прикладі керування дроном (мал. 22.3). Радіоуправління — це передавання електромагнітних хвиль від пульта (або смартфона) до приймача, установленого на дроні. Хвилі несуть інформацію про команди: піднятись або знизитись, летіти вперед, назад, праворуч або ліворуч, повертати камеру, зупинятися тощо.

Пілот керує дроном за допомогою передавача — це пристрій, який перетворює рухи важелів (джойстиків) на електричні сигнали, кодує їх у цифровий формат і передає у вигляді радіохвиль певної частоти (зазвичай 2,4 ГГц або 5,8 ГГц). Передавач також може передавати дані про висоту, швидкість і положення дрона.



Мал. 22.3

На борту дрона є радіоприймач, який: приймає хвилі, розкодовує сигнали і перетворює їх на електричні імпульси, які керують електродвигунами, гвинтами та системою стабілізації.

Якщо, наприклад, пілот відхиляє джойстик уперед — приймач «розуміє», що потрібно збільшити оберти задніх двигунів, і дрон летить уперед.

Сучасні дрони мають двосторонній зв'язок: пульт передає команди дрону, а дрон у відповідь передає інформацію назад (рівень заряду, координати, висоту, швидкість, відеосигнал). Цей процес відбувається через окремий радіоканал або через той самий, але з іншою частотою.

Деякі дрони додатково використовують: GPS — щоб знати своє місцезнаходження та автоматично повертатись у точку старту, Wi-Fi або LTE — для передавання відео в реальному часі, цифрове шифрування — щоб сторонні не могли перехопити сигнал керування.

Якщо сигнал між пультом і дроном зникає (через перешкоди або відстань), дрон переходить у режим безпечного повернення (Return Home): за допомогою GPS він самостійно повертається на місце запуску або зависає в повітрі.

Радіокерування застосовують усюди, де потрібно передати команду без дротів: у транспорті, медицині, військовій техніці, промисловості, побуті та навіть у космосі.

Доречі, у Wi-Fi, Bluetooth і GPS застосовується технологія, яка свого часу була запропонована Геді Ламар - австрійсько-американською акторкою та винахідницею. Під час Другої світової війни вона разом із композитором Джорджем Антейлом запропонувала принцип перестрибування частот для захищеного радіозв'язку.

***Дізнаємося про радіолокацію.*** Ультракороткі хвилі використовують в радіолокації. *Радіолокація* — це виявлення різних предметів і вимірювання відстані до них за допомогою радіохвиль.

В основу радіолокації покладено властивість електромагнітних хвиль відбиватися від металевих предметів або будь-яких тіл, що проводять електричний струм.

Відстань $l$ до предмета, що відбив радіохвилі, розраховується за формулою: $l = \frac{v\,t}{2}$, де $v$ — швидкість поширення радіосигналу ($3 \cdot 10^8$ м/с);

$t$ — час проходження електромагнітних хвиль в прямому і зворотному напрямах.

Основним пристроєм, що використовується під час радіолокації, є *радар* (від англ. *Radar* — скорочення від *radio detection and ranging*) або *радіолокаційна станція* — система для виявлення повітряних, морських і наземних об'єктів, а також для визначення їхньої дальності і геометричних параметрів.

Радіолокаційні станції досліджують планети Сонячної системи і поверхню Землі, визначають параметри орбіт супутників і виявляють скупчення грозових хмар.

**ДУМАЙ**

**1.** Укажи діапазон частот і довжин хвиль, до якого належать радіохвилі. **2.** Які види радіохвиль використовують у радіозв'язку? **3.** Хто створив першу систему бездротового телеграфу? **4.** Коли відбулася перша передача людського голосу по радіо? **5.** Яку роль відіграють іоносфера та поверхня Землі у поширенні радіохвиль? **6.** Як називають пристрій, який приймає сигнали від телефону у мобільному зв'язку? **7.** Які дві основні частини містить система радіоуправління іграшками або дронами? **8.** Поясни, чому низькочастотні хвилі не передають інформацію на великі відстані. **9.** Поясни, як здійснюється передавання сигналу під час мобільного дзвінка. **10.** Чому зв'язок між телефоном і базовою станцією не переривається під час руху користувача? **11.** Уяви себе журналістом, якому доручено взяти інтерв'ю у спеціалістів різних категорій населення щодо їх думки про електромагнітні випромінювання. Яким би було твоє повідомлення (в газеті, на телебаченні, в інтернеті)?

**ДІЙ**

## РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

**1** Wi-Fi працює на частотах 2,4 ГГц і 5 ГГц. Порівняй довжини хвиль та поясни, чому сигнал з частотою 5 ГГц має менший радіус дії, але більшу швидкість передачі даних.

**2** Телефон ловить сигнал з частотою 900 МГц. Яка довжина хвилі цього сигналу? Чому антену мобільного телефону роблять довжиною близько 8 см?

**3** Радіолокатор працює на довжині хвилі 20 см і відправляє імпульс з частотою 4 кГц і тривалістю 2 мкс. Визнач частоту хвилі, на якій працює радар.

**4** Радіосигнал від передавача до супутника проходить відстань 36 000 км. Обчисли час, за який сигнал доходить до супутника.

**5** Супутник передає сигнал на Землю, яка знаходиться на відстані 42 000 км. Оціни затримку між передачею і прийомом сигналу.

**6** Довжина хвилі радіолокатора 20 см, частота випромінювання 500 імпульсів за секунду, тривалість кожного імпульсу 0,02 мкс. Скільки коливань міститься в одному імпульсі і яка найбільша відстань дії локатора?

**7** Відправлений радіолокатором сигнал повернувся назад через 43 мкс. Визнач відстань до перешкоди.

**8** Відстань від радіолокатора до метеорита в момент відбиття сигналу радіолокатора 54 км. Яку відстань пролетів метеорит, швидкість якого 3 км/с від початку випромінювання імпульсу?

## ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

**Виконуй досліди з дотриманням правил безпеки життєдіяльності!**

Уяви, що ти працюєш в компанії «Мобільні технології майбутнього», яка розробляє і поліпшує систему мобільного зв'язку. Ти і твої колеги маєте виконати завдання, що потребують розуміння принципів роботи мобільного зв'язку й інтернету.

### Завдання 1. Мертві зони в місті

*Проблема*: мешканці нового житлового комплексу, збудованого серед високих засклених хмарочосів, скаржаться на частий розрив зв'язку під час розмов і дуже повільний мобільний інтернет (навіть 4G працює, як 2G). Вони не розуміють, чому так відбувається, адже вишок навколо нібито багато.

Поясніть мешканцям, чому в їхньому районі можуть виникати мертві зони або погіршується зв'язок, ураховуючи наявність високих засклених хмарочосів. Які властивості радіохвиль можуть спричиняти ці проблеми?

Запропонуйте можливі технічні рішення, які ваша компанія могла б застосувати для покращення якості зв'язку в цьому житловому комплексі.

### Завдання 2. Перехід на 5G — пояснення для споживачів

*Проблема*: багато користувачів не розуміють, у чому різниця між 4G і 5G й чому варто переходити на нове покоління зв'язку. Вони вважають, що «просто швидше» — це недостатній аргумент.

Поясніть трьома простими реченнями, у чому полягає фундаментальна відмінність між 4G і 5G, окрім швидкості.

Наведіть два приклади, як 5G може змінити життя або прискорити впровадження нових технологій (наприклад, розумні міста, медицина, транспорт), демонструючи його переваги, окрім простого перегляду відео.



22.1
22.2

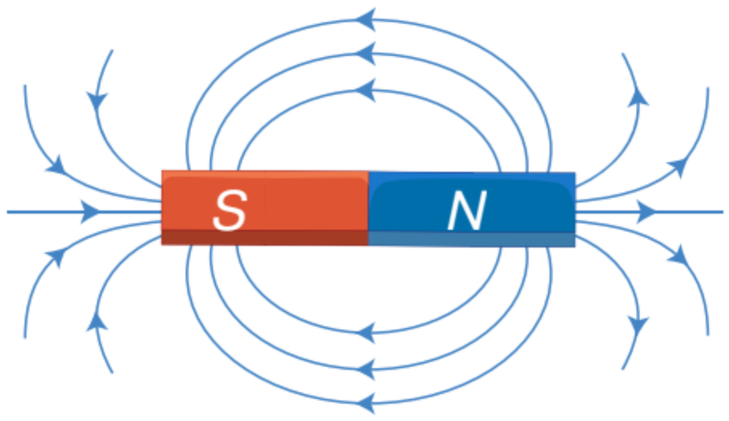
## ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

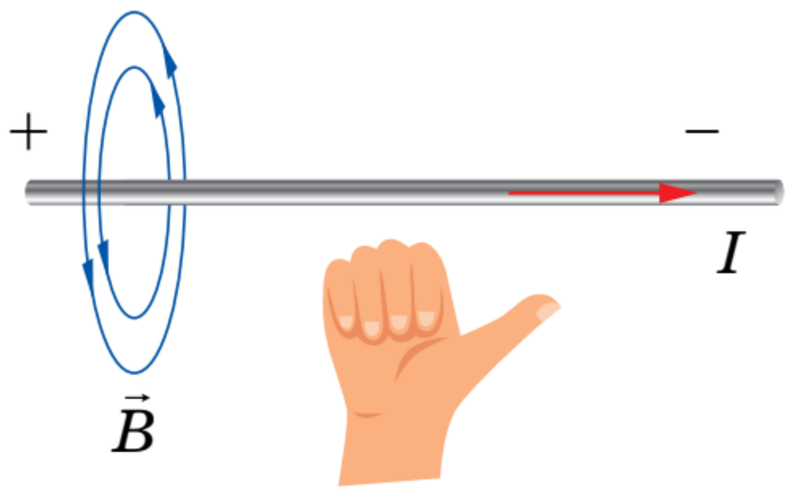
**1** Ти можеш пояснити, що є причиною магнітного поля. Можеш його описати, графічно зобразити, порівняти різні магнітні поля, застосовуючи відповідну термінологію.

**Магнітне поле** — форма матерії, яка існує навколо намагнічених тіл, провідників зі струмом та рухомих заряджених частинок.

**Магнітна індукція *B*** — це векторна фізична величина, яка показує, наскільки «сильним» є магнітне поле в даній точці та куди воно спрямоване.

Напрям вектора магнітної індукції збігається з напрямком, на який вказує північний полюс ($N$).




**2** Ти можеш пояснити, чому одні тіла проявляють магнітні властивості, а інші — ні.

*Магнітні властивості речовин* пояснюються взаємодією рухомих заряджених частинок. У магнітному полі всі речовини намагнічуються, але по-різному.

**3** Ти можеш пояснити поведінку провідника зі струмом у магнітному полі.

Прямолінійний провід зі струмом у полі підковоподібного магніту або виштовхується назовні, або втягується всередину під дією сили Ампера: $F_A = BI\Delta l \sin\alpha$, тут $\alpha$ — кут між напрямком струму $I$ в проводі та індукцією магнітного поля $\vec{B}$, $\Delta l$ — довжина ділянки проводу, що перебуває в однорідному магнітному полі.

**4** Ти виявив/виявила умови, за яких магнітне поле може утворити електричний струм.

Причина виникнення індукційного струму полягає в тому, що кількість ліній магнітної індукції, що пронизують замкнену котушку, змінюється.

При цьому створюване індукційним струмом магнітне поле перешкоджає зміні того магнітного поля, яке породжує цей індукційний струм.

**5** Ти розумієш, яке практичне значення має *явище електромагнітної індукції*.

**6** Ти можеш пояснити, що змінний струм (а саме заряджені частинки, що постійно рухаються з прискоренням) є джерелом *електромагнітних хвиль* (радіодіапазону).

## ПЕРЕВІР СЕБЕ

### 1 Як ти умієш досліджувати природу

Уяви, що тобі доручили захистити чутливий прилад (наприклад, механічний годинник) від дії зовнішнього магнітного поля.

- ✓ Сформулюй гіпотезу:
  як саме магнітне поле може змінювати роботу годинникового механізму;
  які матеріали можуть послаблювати дію магнітного поля.
- ✓ Яке джерело магнітного поля ти використаєш в досліді?
- ✓ Як перевіриш, що магнітне поле діє на прилад?
- ✓ Які матеріали обереш як захисні екрани (наприклад: папір, пластик, алюміній, сталь, залізо)?
- ✓ Які змінні у твоєму дослідженні: незалежні; залежні; контрольовані?
- ✓ Які ознаки впливу магнітного поля ти будеш фіксувати?
- ✓ Які матеріали виявилися ефективними для захисту?
- ✓ Чому саме ці матеріали краще виконують захисну функцію?
- ✓ Чи завжди «екранування» означає повне блокування магнітного поля?
- ✓ Яку роль відіграють властивості речовини (магнітні властивості)?

### 2 Як ти умієш опрацьовувати інформацію

З'ясуй, яку роль відіграють знання про магнітні явища у професії, яку ти розглядаєш як можливу для свого майбутнього.

Скориставшись відкритими джерелами (сайти університетів, професійні портали, відеоінтерв'ю з фахівцями), знайди інформацію про те:

- ✓ у яких професійних діях представників обраної спеціальності застосовуються знання про магнітні явища;
- ✓ які фізичні формули, закони, правила вони фактично застосовують у роботі;
- ✓ які наслідки може мати помилка у розумінні магнітних явищ (ризики, аварії, неточності).

### 3 Як ти усвідомлюєш закономірності природи

Група юних інженерів вирішила створити модель електромагнітного прискорювача. Конструкція складається з двох паралельних мідних рейок, на яких лежить рухома металева перемичка (стрижень). Усю систему поміщено у вертикальне магнітне поле, створене потужними неодимовими магнітами.

*Вихідні дані:*

- довжина перемички (відстань між рейками): $l = 0{,}1$ м;
- маса перемички: $m = 20$ г;
- індукція магнітного поля: $B = 0{,}5$ Тл;
- сила струму, що пропускається через рейки та перемичку: $I = 4$ А;
- коефіцієнт тертя між перемичкою та рейками: $\mu = 0{,}1$;
- довжина рейок (шлях прискорення): $s = 50$ см.



# ТЕМА 3. СВІТЛОВІ ЯВИЩА

## ТИ НАВЧИШСЯ:

- досліджувати закони поширення, відбивання і заломлення світла;
- розкладати біле світло на кольори;
- будувати зображення, що утворює збиральна лінза;
- вимірювати освітленість, фокусну відстань лінзи.

## ТИ ЗРОЗУМІЄШ:

- корпускулярно-хвильову природу світла;
- геометричні та хвильові властивості світла;
- принципи утворення кольорового зображення в дисплеях;
- дію оптичних приладів та джерел світла.

## ТИ ЗМОЖЕШ:

- правильно освітлювати робоче місце;
- розв’язувати задачі на закони прямолінійного поширення, відбивання та заломлення світла, формулу тонкої лінзи;
- формулювати проблему й обирати стратегії її розв’язання;
- оцінювати та систематизувати інформацію, презентувати її в різних формах.

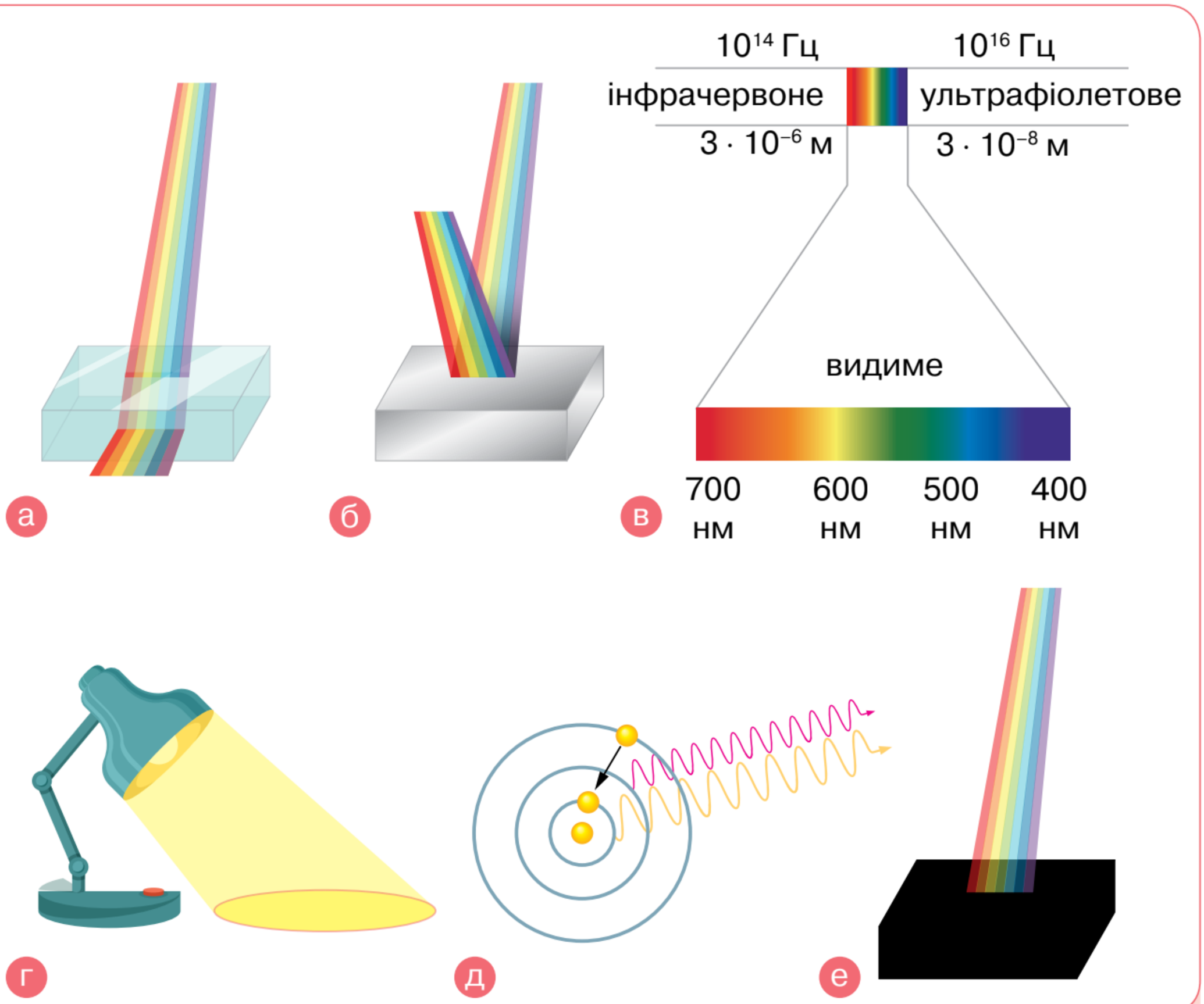
# § 23. ДОСЛІДЖУЄМО СВІТЛО



Завдяки світлу ми можемо бачити навколишній світ. Це дає нам можливість його досліджувати, пізнавати. А от що значить дослідити саме світло?

## ДОСЛІДЖУЙ

**Установи відповідність між властивістю світла (1–8) та відповідною ілюстрацією (а–е) (мал. 23.1).**




Мал. 23.1

1. Світло — це електромагнітна хвиля видимого діапазону.
2. Світло, потрапляючи на поверхню, відбивається.
3. Коли світло переходить з одного середовища в інше, воно змінює напрям (заломлюється).

4 Світло — це потік частинок — фотонів.

5 Частина енергії світла поглинається речовиною, перетворюючись на тепло або викликаючи хімічні реакції.

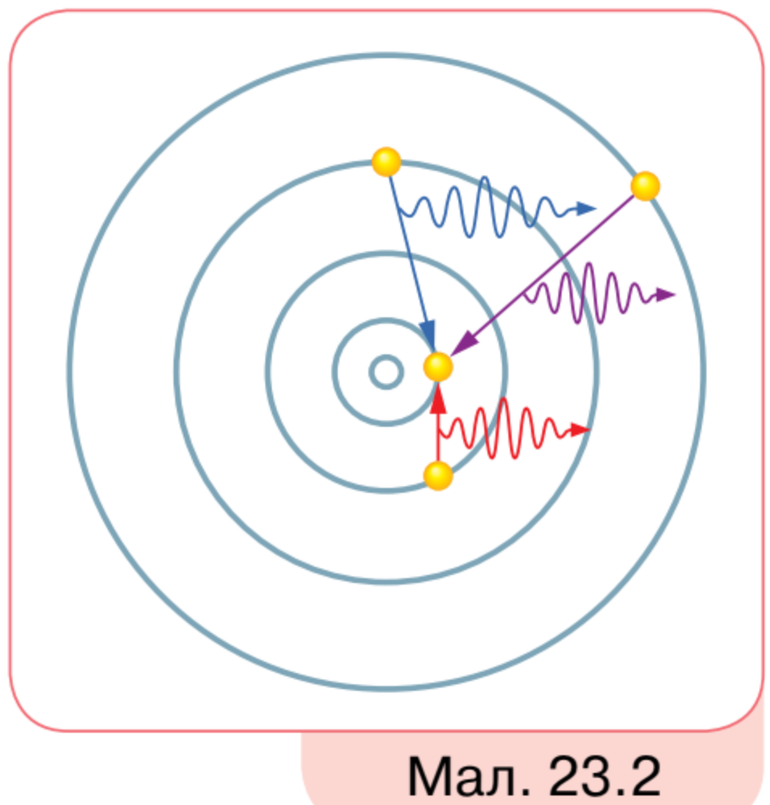
6 Біле світло, проходячи через призму, розкладається на спектр.

7 Світло характеризується інтенсивністю світлового потоку.

8 Світло утворюється, коли частинки речовини (переважно атоми або молекули) змінюють свій енергетичний стан.

## ДІЗНАВАЙСЯ

***Дізнаємося, як випромінюється світло.*** Світло (*light*), яке є частиною спектра електромагнітних хвиль, утворюється в результаті перетворення різних видів енергії на електромагнітне випромінювання. Основний механізм його виникнення пов'язаний зі збудженням і рухом заряджених частинок на атомному та молекулярному рівнях (мал. 23.2). Електрони в атомах перебувають на певних енергетичних рівнях. Коли атом отримує зовнішню енергію (наприклад, від нагрівання, електричного розряду або зіткнення), один із його електронів переходить на вищий, нестабільний енергетичний рівень (атом стає «збудженим»). Збуджений стан триває дуже короткий час. Електрон прагне повернутися на свій початковий, нижчий енергетичний рівень. Під час цього «стрибка» атом випускає надлишок енергії у вигляді порції світла — фотона. Енергія (а отже, і колір/частота) випроміненого фотона залежить від різниці енергій між початковим і кінцевим рівнями електрона.



Мал. 23.2

23.1

Коли тіло нагрівається, атоми та молекули рухаються швидше, електрони часто збуджуються — і речовина випромінює електромагнітні хвилі. За достатньо високої температури частина випромінювання утворює видиме світло. Так світяться теплові джерела світла: багаття, Сонце та зорі, лампа розжарення.

Випромінювання світла *холодними* (*люмінесцентними*) джерелами здійснюється атомами або молекулами за рахунок енергії зовнішнього впливу. Випромінювання ними світла зумовлене різними причинами. Наприклад, світіння речовини можливе під час проходження через неї електричного струму або під впливом на неї електричного поля. Прикладом такого виду світіння є газові розряди, північне сяйво.

Світіння може виникати також внаслідок хімічної реакції. Наприклад, світіння комах-світлячків, деяких видів риб, що мешкають на значній глибині, трухлого дерева, гнилля.

З перелічених джерел світла можна виділити такі, які існують в природі, і які створила людина. За цією ознакою джерела світла поділяють на *природні* та *штучні*.

*Приймачами світла* називають пристрої, призначені для виявлення або вимірювання світлового (оптичного) випромінювання.

Приймачами світла є очі живих істот, а також спеціальні пристрої: термоелементи, фотоелементи, фотодіоди. Принцип дії приймачів заснований на перетворенні енергії випромінювання на інші види енергії, які є більш зручними для безпосереднього вимірювання (теплову, механічну, електричну). Наприклад, фотоплівка та фотопапір під дією світла змінюють свій хімічний склад. На цьому ґрунтується процес отримання фотографій. (Друк фотографій на кольоровому принтері має іншу основу.) Спеціальні пристрої — фотоелементи — перетворюють світлову енергію на електричну. Одними із найважливіших і необхідних для живої природи приймачів світла на Землі є листя рослин. Під дією світла у них відбувається процес фотосинтезу — утворення органічних сполук і виділення кисню.

Для людини головним приймачем світла є око. Світло спричиняє в очах нервові подразнення, які передаються у мозок людини, і людина сприймає навколишні предмети. Наша шкіра — теж приймач сонячного світла. Під дією світла вона змінює колір (засмагає).

Вода, ґрунт — теж приймачі сонячного світла, під дією якого вони нагріваються — перетворюють енергію світла на внутрішню енергію.

***Чому світло називають у науці «темною плямою»?*** Протягом майже 300 років світло було джерелом фундаментальних наукових дебатів щодо його природи. Ісаак Ньютон стверджував, що світло складається з найдрібніших частинок (корпускул). Ця теорія легко пояснювала прямолінійне поширення та відбиття. Крістіан Гюйгенс та Томас Юнг довели, що світло має типові хвильові властивості. Джеймс Максвелл (1860-ті) остаточно підтвердив, що світло є електромагнітною хвилею. Здавалося б, питання закрито. Але з'явилася нова проблема. Світло, що падає на метал, вибиває з нього електрони, але енергія вибитих електронів залежала не від інтенсивності світла (як передбачала хвильова теорія), а лише від його частоти (кольору). Альберт Ейнштейн пояснив це явище (фотоефект) тим, що світло складається з дискретних частинок — фотонів.

На початку XX століття стало зрозуміло, що світло має подвійну природу: у процесах поширення світло поводиться як хвиля, у процесах взаємодії (випромінювання, поглинання, фотоефект) — як потік частинок (фотонів).

Світло, як і будь-яка хвиля, відбивається, заломлюється, розсіюється, огинає певні перешкоди (дифракція). Як частинка бере участь у фотохімічних реакціях та інших процесах.

Світло має ще одну унікальну властивість. Швидкість світла у вакуумі $c \approx 3 \cdot 10^8$ м/с є максимально можливою (граничною) швидкістю руху будь-яких сигналів. Жоден об'єкт не може рухатися зі швидкістю, більшою за швидкість світла.

**ДУМАЙ**

**1.** За допомогою схеми на малюнку 23.2 поясни, як виникає випромінювання фотона. **2.** Назви природні та штучні джерела світла. Які з них є гарячими, а які — холодними? **3.** Чим відрізняється випромінювання праски чи кип'ятильника від випромінювання електричної лампи розжарювання? **4.** Чому вченим було складно визначити природу світла?

**ДІЙ**

## РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

**1** За який приблизно час світло проходить відстань 150 млн км від Сонця до Землі?

**2** Однією з одиниць довжини, яку застосовують в астрономії, є світловий рік. Скільки метрів становить світловий рік, якщо він дорівнює відстані, яку долає за один рік світло у вакуумі? Якою є відстань від Сонця до Землі у світлових роках?

**3** Зоря Вега розташована на відстані 26,4 св. року від Землі. Скільки років летів би до неї космічний апарат з постійною швидкістю 30 км/с?

**4** Переглянь дослід випромінювання та поглинання світла за симуляцією 23.2 .

## ОПРАЦЮЙ ІНФОРМАЦІЮ

Скористайся додатковими джерелами інформації та дізнайся, хто і в який спосіб виміряв швидкість поширення світла.

23.3

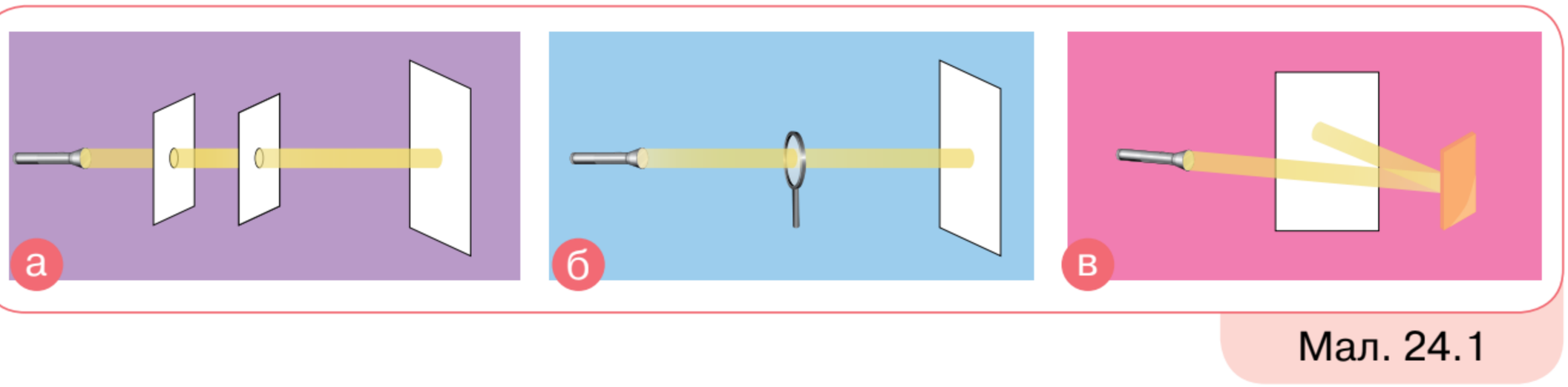
# § 24. ПЕРЕВІРЯЄМО ЗАКОНИ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ОПТИКИ



Готуй олівці й лінійки. Будемо креслити сонячні промені.

## ДОСЛІДЖУЙ

Розглянь ілюстрації дослідів (мал. 24.1). Як за їх допомогою можна довести, що світло поширюється прямолінійно, проходить крізь прозорі тіла і відбивається від непрозорих? Сплануй свої дослідження.




Мал. 24.1

## ДІЗНАВАЙСЯ

***Дізнаємося про геометричну оптику.*** Продовжуємо досліджувати світло і звернемося до тих його властивостей, які легко спостерігати і для яких не важлива його природа. На початку опису поширення світла потрібно ввести певні терміни і моделі.

Прикладом точкового джерела світла є зорі, далекі ліхтарі тощо. Зрозуміло, що одне і те саме джерело можна вважати точковим, а можна і протяжним.

**Точкове джерело світла** — це джерело світла, розмірами якого за конкретних умов можна знехтувати. Якщо розмірами джерела світла знехтувати не можна, його називають **протяжним**.

Наступним модельним поняттям, яким оперуватимемо, розглядаючи світлові явища, є світловий промінь. У реальному житті маємо справу з пучками світла, а от для схематичного зображення світлових пучків використовують світловий промінь (мал. 24.2, с. 142).

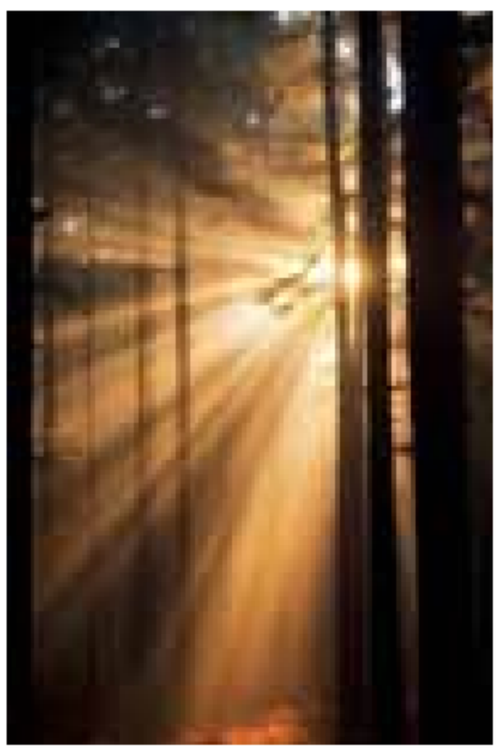
**Світловий промінь** (*light beam*) — це лінія, вздовж якої поширюється світло (світловий пучок).

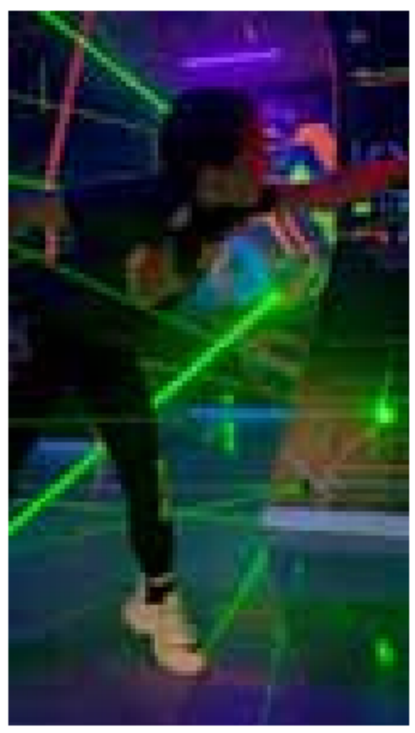
Частину оптики, яка вивчає хід променів світла, називають геометричною оптикою. До речі, у геометрії поняття променя та прямої лінії виникли на основі уявлень про світлові промені.



Мал. 24.2

***Перевіряємо закон прямолінійного поширення світла.*** Ти не раз затулявся / затулялася від Сонця рукою. Сонячне світло не огинає руку і не потрапляє тобі в очі. Сподіваюся, тобі вдалося переконатись у прямолінійному поширенні світла за допомогою досліду, про який згадано на початку параграфа. Можеш переконатися в цьому і за світлинами (мал. 24.3).





Мал. 24.3

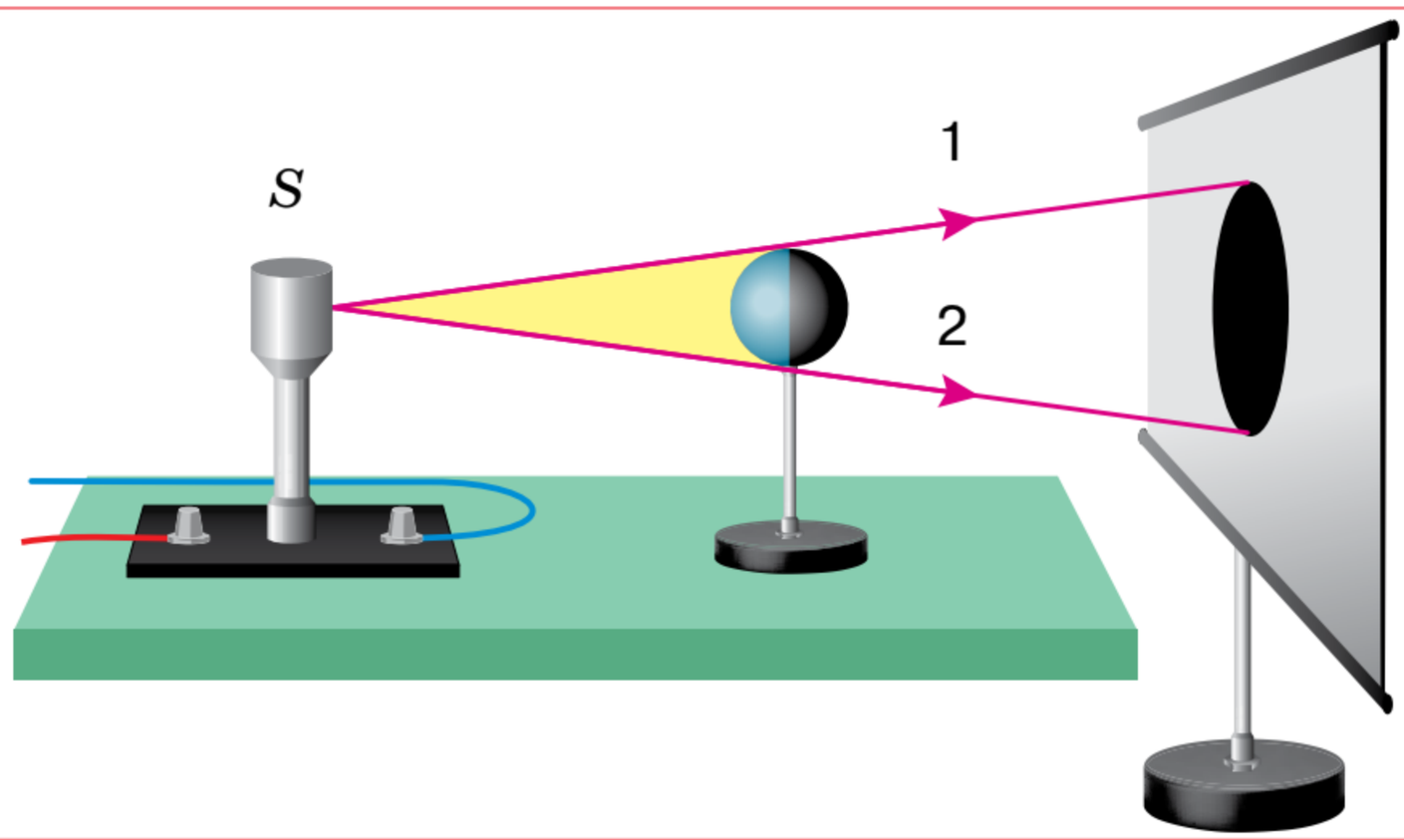
Ці приклади демонструють перший закон геометричної оптики —

**закон прямолінійного поширення світла:** у прозорому однорідному середовищі світло поширюється від джерела прямолінійно.

24.1

*Однорідним* називають середовище, якщо густина речовини, із якої воно складається, в усіх його точках однакова.

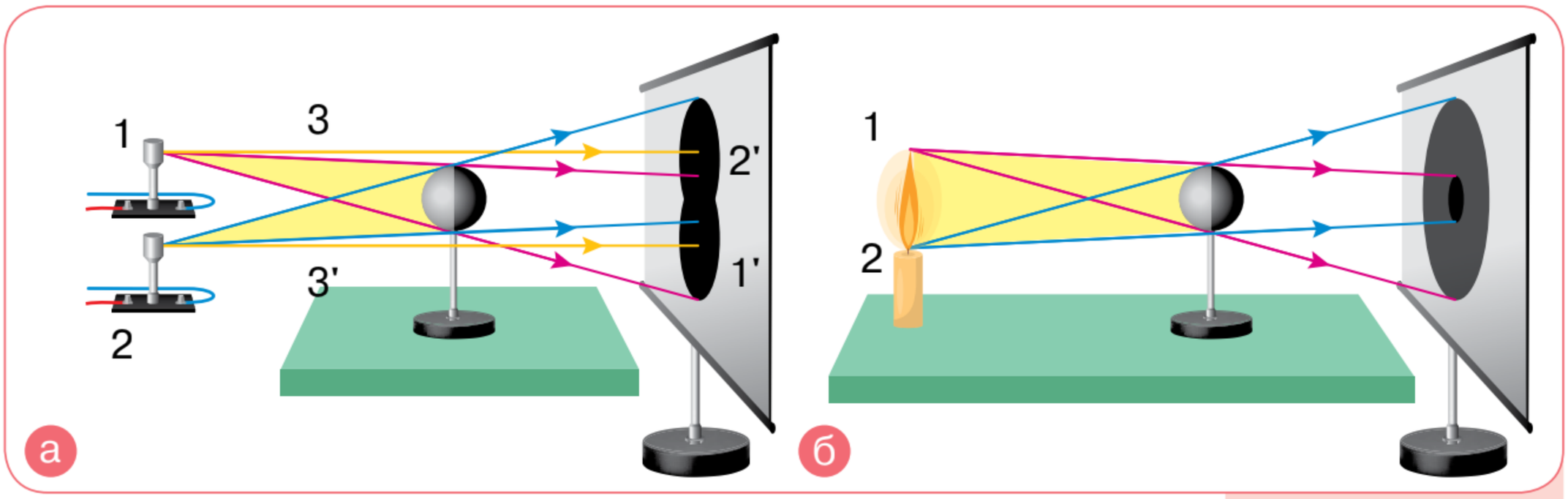
Прямолінійністю поширення світла пояснюється утворення тіні від непрозорих тіл при їх освітленні. Якщо джерело світла $S$ (мал. 24.4) відносно предмета є точковим, то тінь від предмета буде чіткою. У цьому випадку говорять про повну тінь.




Мал. 24.4

**Повна тінь** (*full shadow*) — це та область простору, до якої не потрапляє світло від джерела.

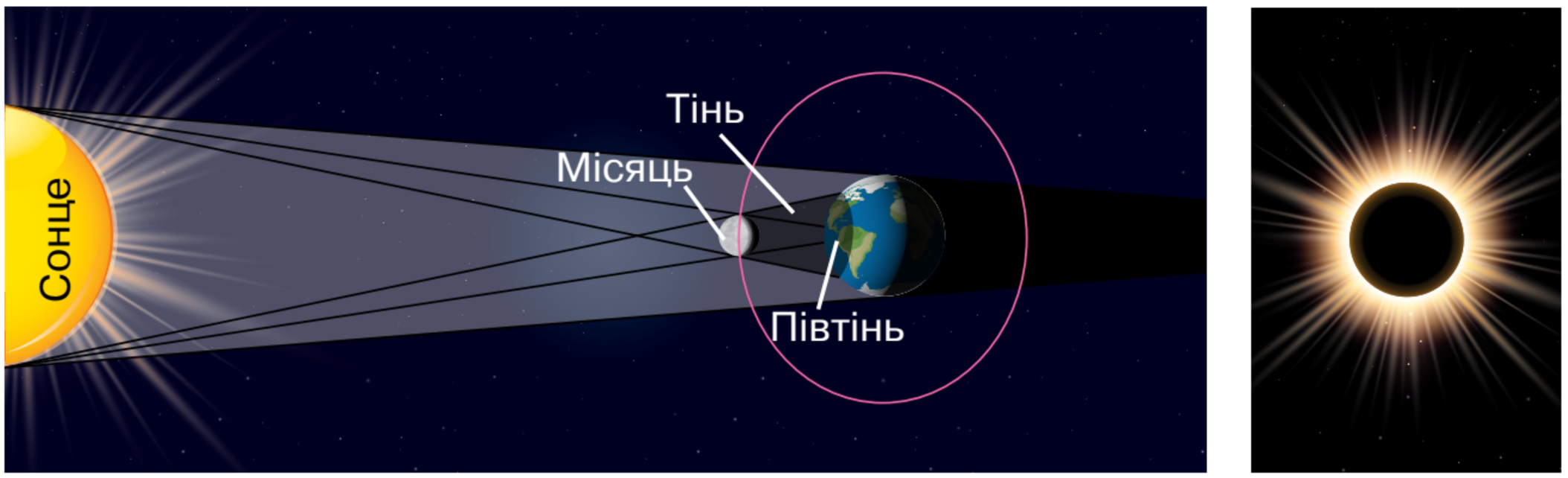
Якщо предмет освітлювати двома точковими джерелами світла (мал. 24.5, а) або протяжним джерелом світла (мал. 24.5, б), то на екрані утворюється тінь із нечіткими контурами. У такому випадку створюється не тільки повна тінь, а ще й півтінь (в області 1' і 2'потрапляє світло тільки від одного джерела).




Мал. 24.5

Утворення повної тіні й півтіні в космічних масштабах ти можеш спостерігати під час місячного та сонячного затемнень (*lunar and solar eclipse*).

Якщо Місяць розташовується між Землею та Сонцем, то у тих місцях Землі, на які впала повна тінь Місяця, спостерігається повне сонячне затемнення, у місцях півтіні — часткове затемнення Сонця (мал. 24.6).




Мал. 24.6. Схема сонячного затемнення
(примітка: масштаб відстаней та розмірів на малюнку не дотримано)

Взаємне розташування Сонця, Землі та Місяця при місячному затемненні зображено на мал. 24.7, с. 144.

Мал. 24.7. Схема місячного затемнення
(примітка: масштаб відстаней та розмірів на малюнку не дотримано)

24.2

**ДУМАЙ**

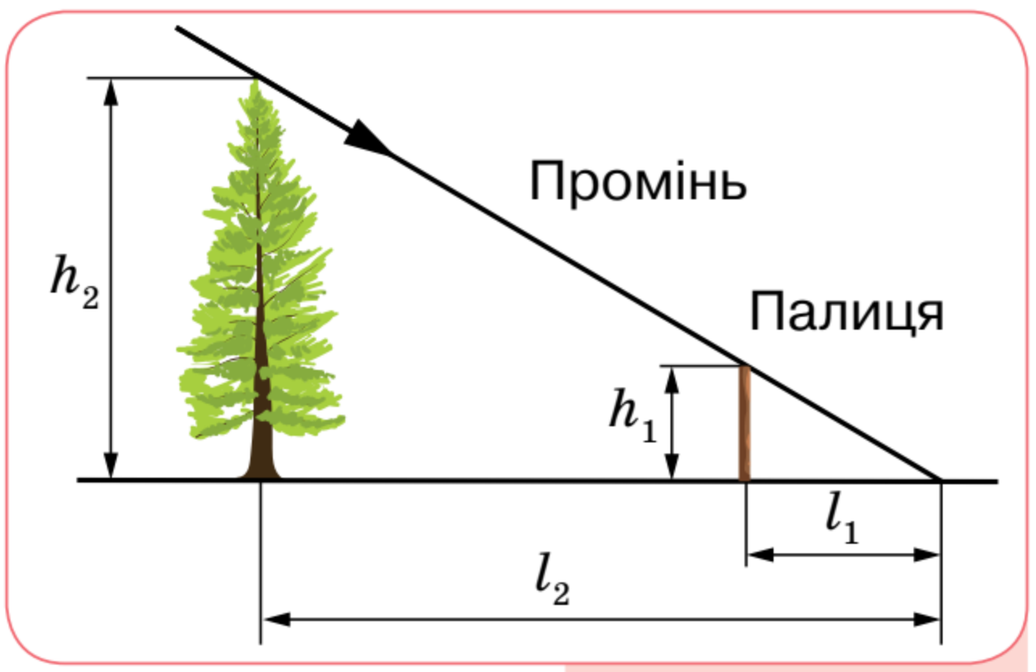
**1.** Які моделі використовують для опису світлових явищ в геометричній оптиці? Чому виникає необхідність у їх введенні? **2.** У чому полягає закон прямолінійного поширення світла? Які явища підтверджують прямолінійність поширення світла? **3.** За яких умов предмет утворюватиме повну тінь, а за яких — повну тінь і півтінь? **4.** За яких умов виникають сонячні та місячні затемнення? Що триває довше — повне затемнення Сонця чи повне затемнення Місяця?

**ДІЙ**

## УЧИСЬ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ЗАДАЧІ

Як виміряти висоту дерева за допомогою метрової палиці в сонячну погоду?

Розглянь уважно малюнок 24.8. Палицю відносно дерева розташовано так, що кінці тіней від дерева $l_2$ і від палиці $l_1$ співпадають. За такого їх розташування виконується співвідношення: $\frac{h_2}{h_1} = \frac{l_2}{l_1}$.

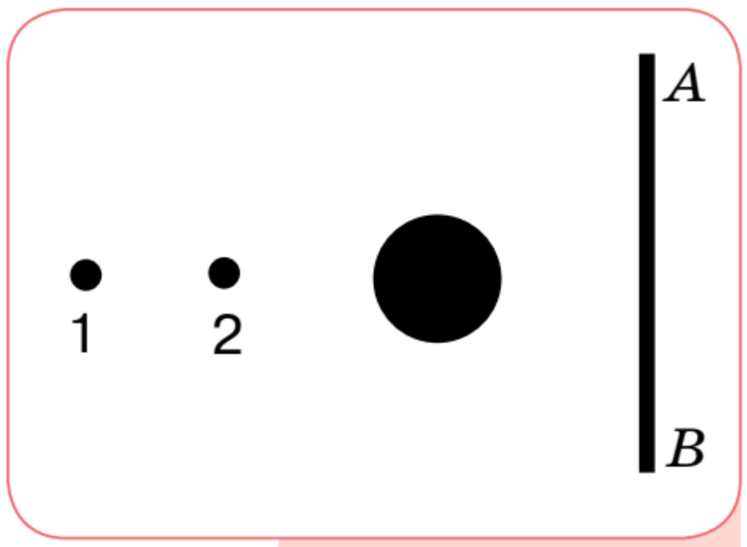



Мал. 24.8

Довжини тіней можна виміряти. Висота палиці відома: $h_1 = 1$ м. Отже, висота дерева: $h_2 = \frac{h_1 l_2}{l_1}$.

Спробуй перевірити цей метод на практиці. Можеш скористатися власною тінню, адже свій зріст ти знаєш.

## РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ



Мал. 24.9

**1** У якій точці — 1 чи 2 (мал. 24.9) — необхідно розташувати лампу, щоб отримати на екрані $AB$ тінь від кулі найбільших розмірів?

**2** Перенеси малюнок 24.10 у зошит і вкажи на ньому тіні і півтіні від м'яча, який освітлюється двома джерелами світла $S_1$ і $S_2$.

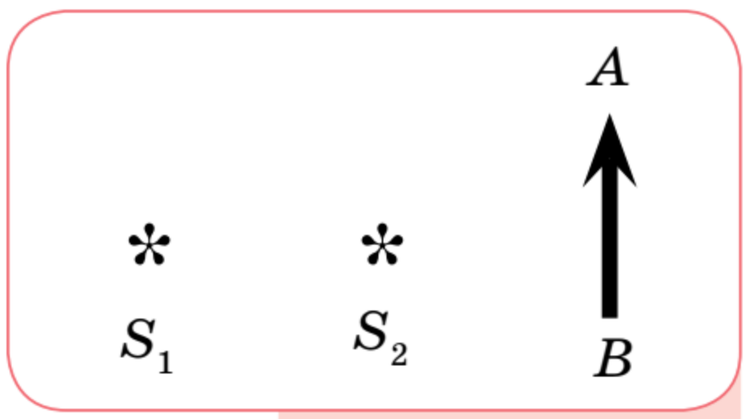


Мал. 24.10

**3** У сонячний день довжина тіні від будинку на землі дорівнює 30 м, а довжина тіні від прямовисно поставленої лопати висотою 1,5 м дорівнює 2 м. Яка висота будинку?

**4** Кут висоти Сонця над горизонтом становить 45°. Яку довжину має тінь від предмета заввишки 2 м?

**5** Перемалюй малюнок 24.11 у зошит і вкажи на ньому ділянки тіні і напівтіні, які утворюються за непрозорим предметом $AB$, який освітлюється двома джерелами світла $S_1$ і $S_2$.

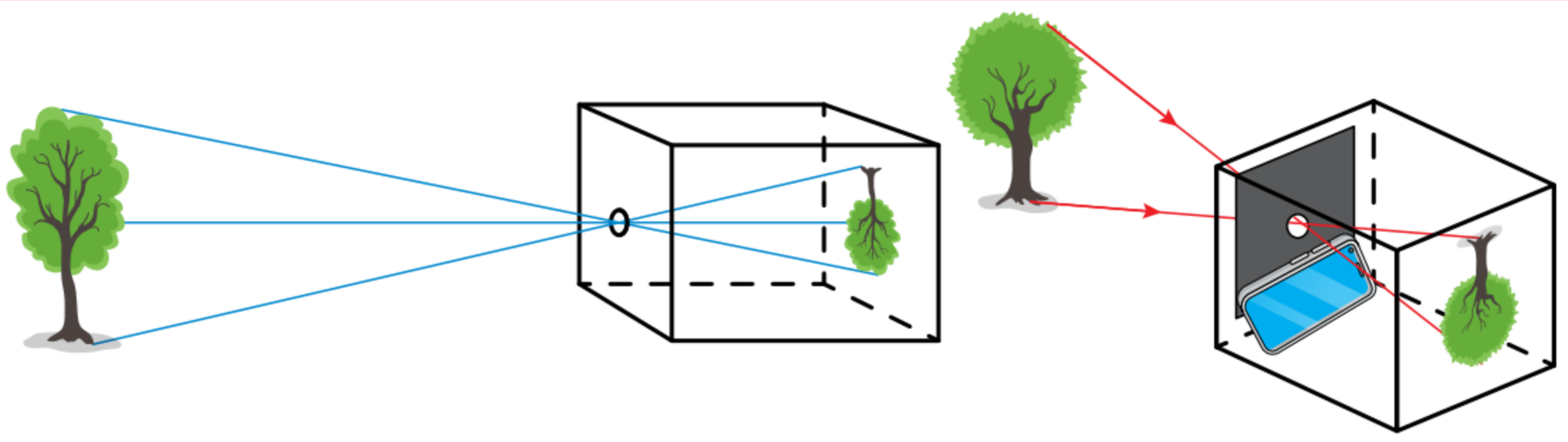


Мал. 24.11

**6** Учні вимірюють довжину своєї тіні о 9:00, 12:00 і 15:00. О 9:00 довжина тіні була 2,4 м, о 12:00 — 1,2 м, о 15:00 — 2 м. Поясни, як змінюється висота Сонця над горизонтом протягом дня.

**7** Точкове джерело світла розташоване на відстані 3 м від непрозорого диска діаметром 10 см. Екран розташовано на відстані 5 м від диска. Визнач діаметр тіні на екрані.

**8** Висота дерева 30 м. За допомогою камери-обскури (мал. 24.12) довжиною 25 см отримали його зображення висотою 5 мм. На якій відстані від дерева розміщено камеру? Перевір свою відповідь практично. Сконструюй камеру-обскуру. Розташуй усередині камери нижче від отвору ввімкнений у режимі фільмування телефон. Переміщуй камеру так, щоб через отвір усередину потрапляло світло від освітлених предметів, розташованих перед отвором.


Мал. 24.12

## ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

**Виконуй досліди з дотриманням правил безпеки життєдіяльності!**

1 Як отримати тінь від олівця різної довжини? Проекспериментуй і зроби відповідні малюнки.

2 Як перевірити, що три далеко розташовані один від одного стовпи стоять уздовж однієї прямої? Запропонуй свій варіант перевірки.

3 Учні вирішили створити шкільний сонячний годинник. Щоб розрахувати положення тіні від гномона (кілка висотою 50 см), вони виміряли його довжину опівдні — 20 см та знайшли кут висоти Сонця над горизонтом у цей час. Поясни, як цей принцип можна використати для визначення часу протягом дня. Запропонуй, як можна зробити позначки годин на шкільному подвір'ї.

4 Пофантазуй, як ти можеш домалювати тіньовий малюнок (мал. 24.13). Як би ти використав / використала ефект тіні для створення 3D-інсталяції на вулиці?



Мал. 24.13

## Візьми участь у груповій роботі

Дізнайтесь із додаткових джерел, як зробити власноруч театр тіней (мал. 24.14). Презентуйте свої вистави однокласникам / однокласницям.



24.3

Мал. 24.14

# § 25. ДОСЛІДЖУЄМО ВІДБИТТЯ СВІТЛА



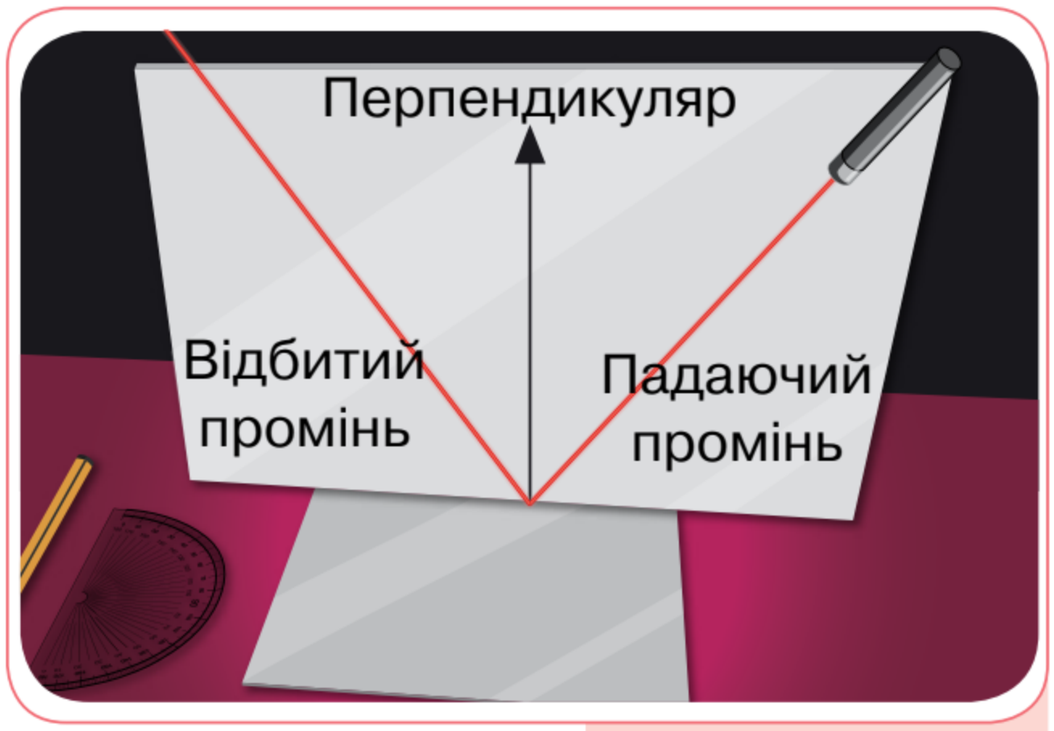
Зможеш зробити так, щоб кількість зображень збільшилася в десятки разів?



## ДОСЛІДЖУЙ

Тобі знадобляться: білий аркуш картону, транспортир, лінійка, олівець, лазерна указка та дзеркало.

Розмісти на столі дзеркало. Розташуй біля нього білий картон. Спрямуй на дзеркало промінь лазерної указки (мал. 25.1). З точки падіння проведи перпендикуляр. Виміряй і порівняй кути між падаючим променем і перпендикуляром та відбитим променем і перпендикуляром. Змінюй кут падіння. Спостерігай, як при цьому змінюється кут відбиття.




Мал. 25.1

## ДІЗНАВАЙСЯ

***Дізнаємося про відбиття світла.*** Ти бачиш джерела світла тому, що утворюване ними випромінювання потрапляє у твої очі. Тіла, що не є джерелами світла (будинки, дерева, книжки тощо), ти бачиш тому, що вони відбивають світло. Проте різні предмети відбивають світло не однаково. Саме це й надає розмаїтості навколишньому світу. Предмети, що відбивають майже все світло, яке на них падає, здаються білими. Сніг, наприклад, відбиває 80–85 % світла, що на нього падає. Предмети, які поглинають майже все світло, що на них падає, здаються чорними. Предмет, що відбиває всього 10 % світла, здається зазвичай темно-сірим. Однак, дивлячись на повний Місяць, мало хто назве його темно-сірим, хоча виміри показують, що він відбиває теж 10 % сонячного світла, що на нього падає. Річ у тім, що ти бачиш Місяць на тлі темного нічного неба, тому він здається яскравим.

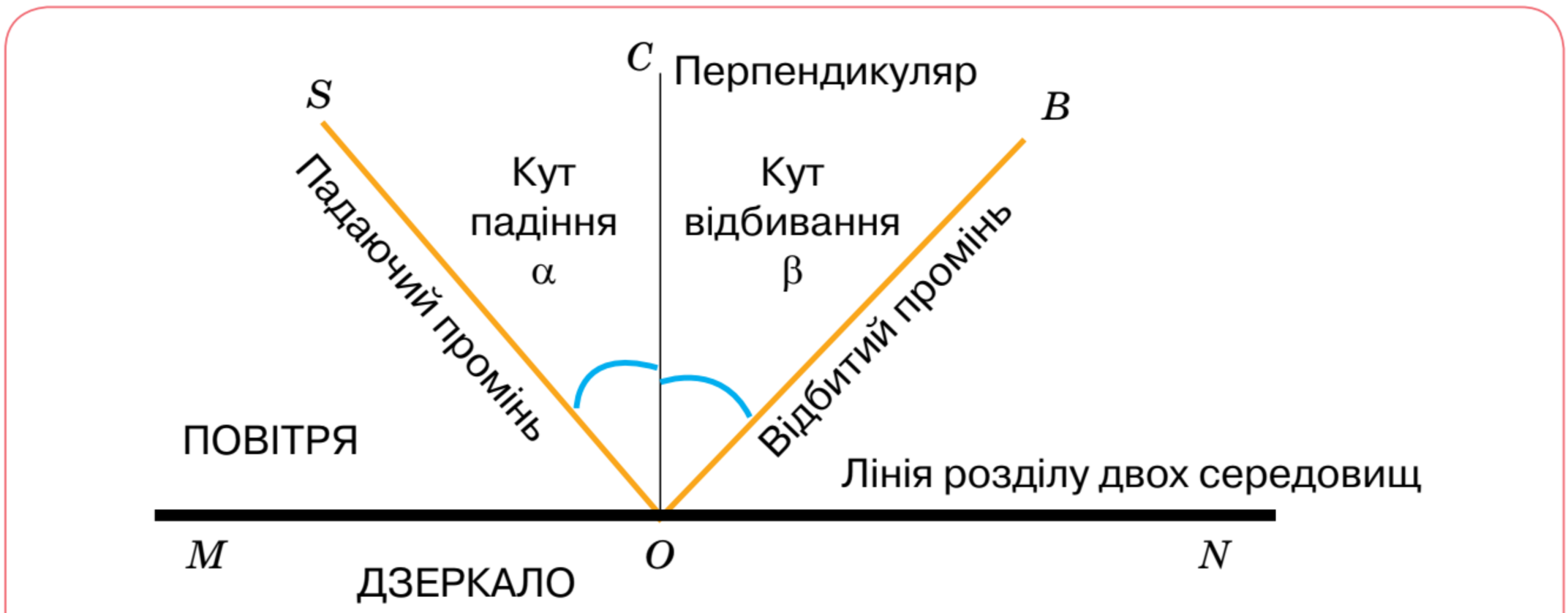
Земля, як і всі інші планети, відбиває сонячне світло. Для спостерігача, який би перебував на Місяці, Земля «світила» б, як 45 Місяців (мал. 25.2).



Мал. 25.2

Окрім того, яку кількість світла відбивають предмети, ще дуже важливо знати, як саме вони його відбивають. Розглянь малюнок 25.3 (с. 148).

Напрям світлового пучка від освітлювача позначено променем $SO$. Цей промінь називають *падаючим променем*. Промінь $OB$, який показує напрям пучка світла, що відбивається, називають *відбитим променем*.




Мал. 25.3

У точку падіння променя (точку $O$) проводять перпендикуляр $CO$ до поверхні дзеркала. Зверни увагу на те, що перпендикуляр $CO$, падаючий промінь $SO$ та відбитий промінь $OB$ лежать в одній площині.

Кут $\alpha$, утворений падаючим променем $SO$ та перпендикуляром $CO$, називають *кутом падіння*.

Кут $\beta$, утворений відбитим променем $OB$ і перпендикуляром $CO$, називають *кутом відбивання*. За допомогою досліду ти довів / довела: якщо змінювати кут падіння $\alpha$, відповідно змінюється й кут відбиття $\beta$. Якщо виміряти кути $\alpha$ і $\beta$, можна переконатися, що вони рівні.

Встановлені тобою закономірності називають *законом відбиття світла* (*light reflection*):

- падаючий і відбитий промені, а також перпендикуляр до відбиваючої поверхні, опущений у точку падіння променя, лежать в одній площині;
- кут відбиття $\beta$ дорівнює куту падіння $\alpha$.

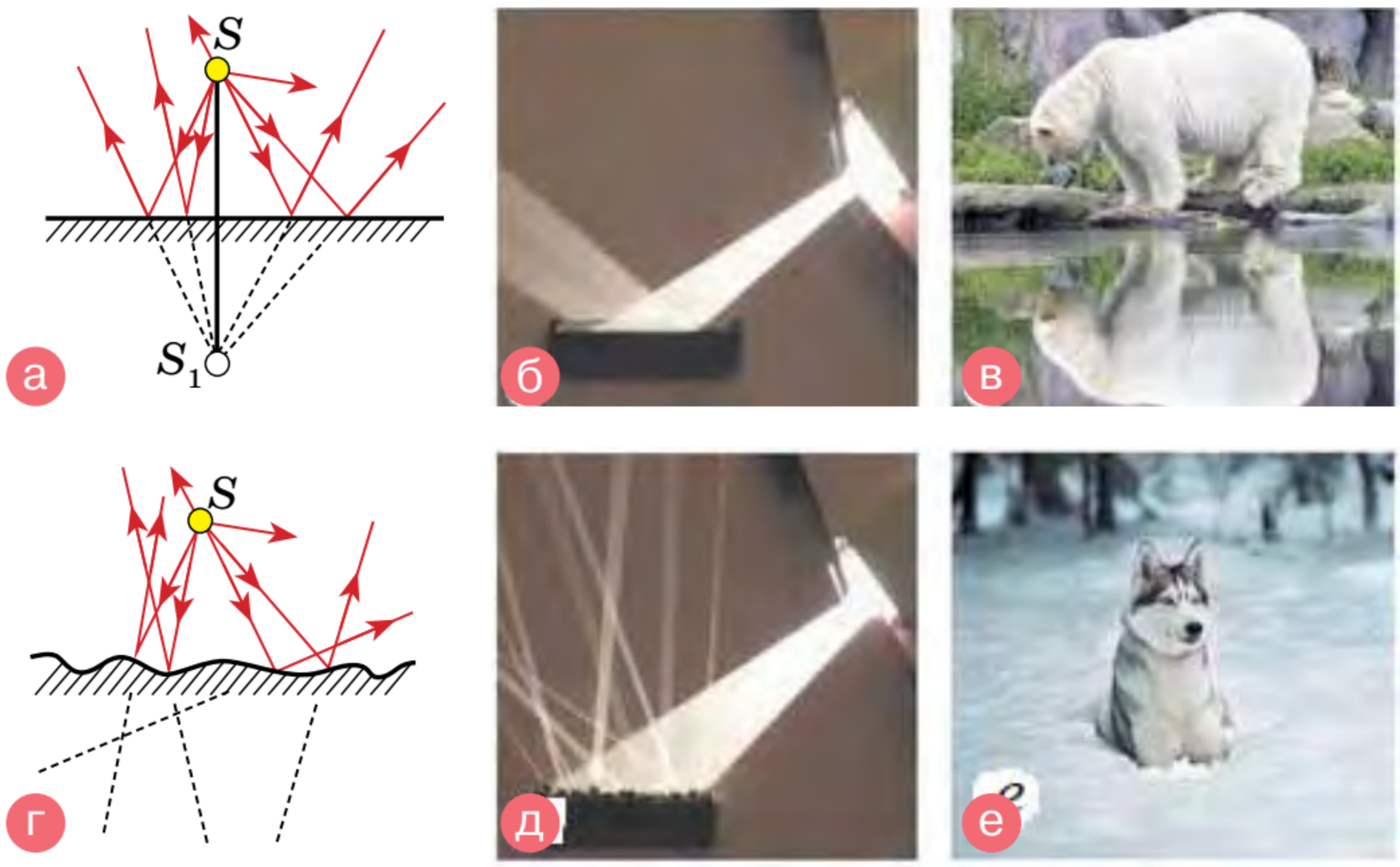
25.1

Із закону відбиття випливає дуже важливе твердження: промінь падаючий і промінь відбитий можуть мінятися місцями. Якщо падаючий промінь спрямувати у напрямі $BO$, то відбитий промінь буде спрямовано у напрямі $OS$. Цю властивість називають *оборотністю світлових променів*.

Залежно від якості поверхні розрізняють *дзеркальне* та *дифузне* (*розсіяне*) відбиття (мал. 25.4). Якщо пучок паралельних променів спрямувати на дзеркало або іншу гладку поверхню, то у відбитому пучку промені також будуть паралельними (мал. 25.4, а–в).

У разі відбиття світла від нерівної поверхні кожна її точка відбиває світло у «своєму» напрямі, що призводить до розсіювання пучка світла у всіх напрямах (мал. 25.4, г–е).

Важливе значення мають обидва види відбиття. Навколишні предмети ти бачиш саме тому, що вони відбивають світло розсіяно (дифузно). А дивлячись на дзеркальну поверхню, ти можеш бачити зображення предметів (і своє власне, звичайно).

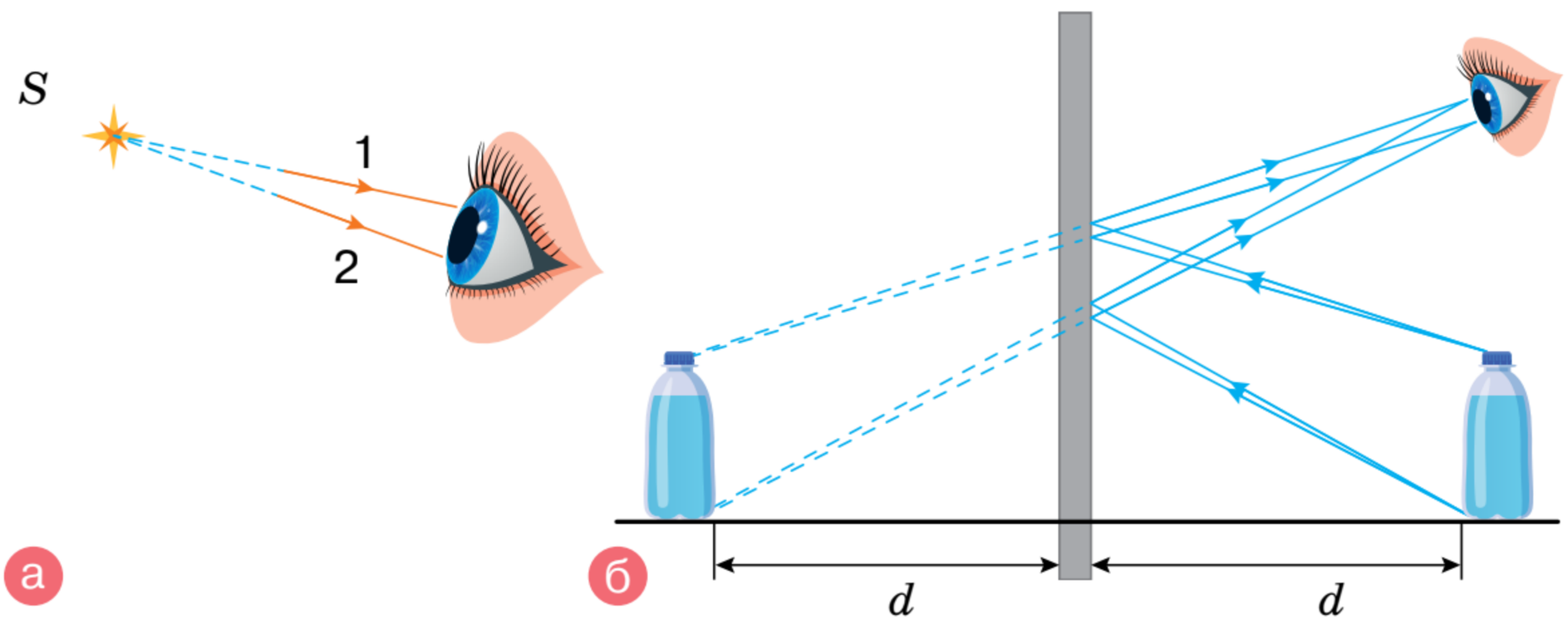



Мал. 25.4

***Які секрети мають дзеркала?*** Коли ти дивишся на себе у плоске дзеркало, тобі здається, що твоє зображення є реальним і міститься воно за дзеркалом, хоча там ніякого зображення немає. Це зображення утворюється лише завдяки спільній дії плоского дзеркала й ока.

Розглянемо, як око сприймає звичайний предмет без дзеркал (мал. 25.5, а). Від кожної точки джерела світла (світної точки $S$) в усіх напрямах розходяться проме-

**Дійсне** зображення точки утворюється в результаті перетину світлових променів, що йдуть від світної точки.




Мал. 25.5

ні світла. Частина з них розбіжним пучком потрапляє в око. Воно сприймає точку в тому місці, звідки йдуть промені, тобто у місці їх перетину, де й насправді й розміщено світну точку $S$.

На малюнку 25.5, б показано, як сприймає око зображення точки в дзеркалі. Усі промені відбиваються від дзеркала згідно із законами відбиття. Відбиті промені потрапляють в око розбіжним пучком, і око бачить зображення за дзеркалом, де сходяться не самі промені, а їх уявні продовження (на мал. 25.5, б — пунктирні лінії), тому таке зображення називають *уявним*.

25.2

Досліди показують, що зображення предмета у плоскому дзеркалі уявне; пряме; за розмірами дорівнює предмету; розташоване на такій самій відстані від дзеркала за ним, що й сам предмет перед дзеркалом; правий бік предмета здається лівим, і навпаки.

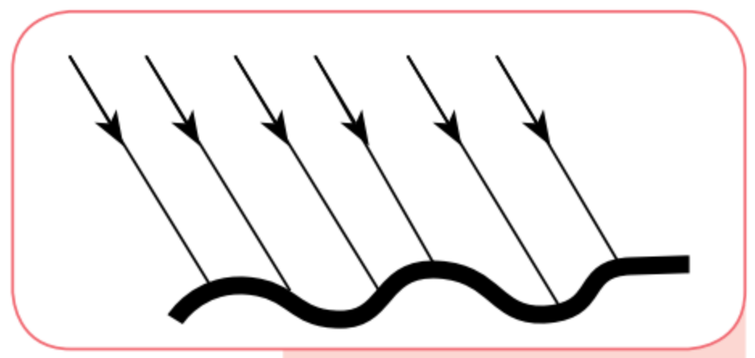
**Уявне зображення** — зображення, отримане в результаті перетину не самих світлових променів, а їх продовжень.

## ДУМАЙ

**1.** Що потрібно, щоб бачити предмети? **2.** Чим відрізняється дзеркальне відбиття від розсіяного (дифузного)? **3.** Поясни, чому вікна будинків удень здаються темнішими за стіни будинків, навіть якщо стіни пофарбовано у темний колір? **4.** Сидячи на березі річки, рибалка бачить на гладкій поверхні води зображення ранкового сонця. Куди переміститься це зображення, якщо рибалка встане? **5.** У якому випадку зображення називають дійсним? Уявним? **6.** Які характеристики має зображення предмета у плоскому дзеркалі? **7.** Як зміниться відстань між людиною та її зображенням у дзеркалі, якщо людина відійде на крок від дзеркала?

## ДІЙ

### РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

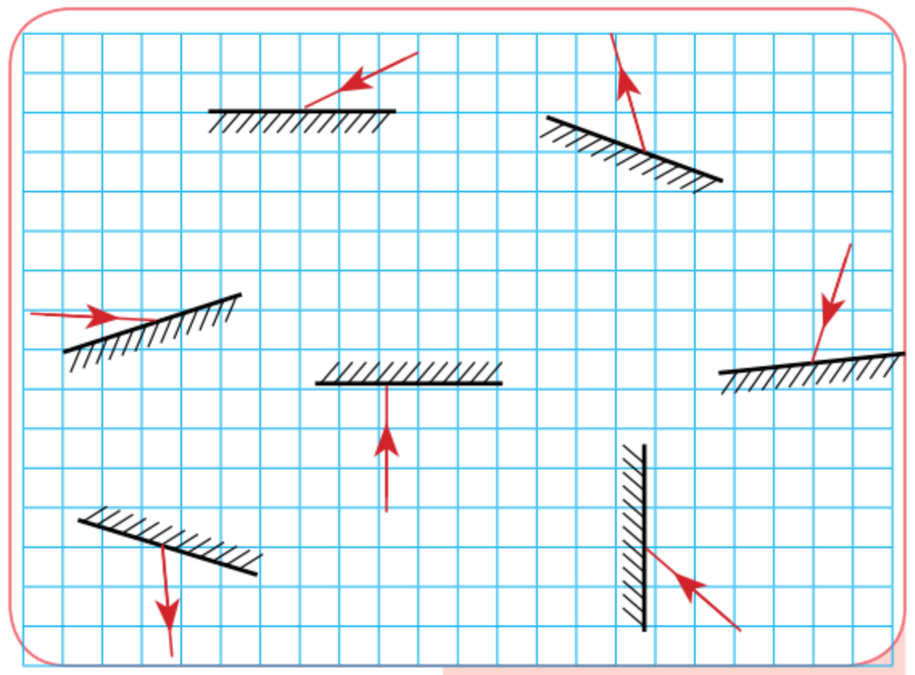


Мал. 25.6

**1** На малюнку 25.6 зображено напрям сонячних променів, які падають на хвильову поверхню води ставка. Покажи хід відбитих променів.

**2** Накресли в зошиті промені, зображені на малюнку 25.7. Побудуй для кожного випадку положення відбитого (або падаючого) променя.

**3** Кут падіння променя 25°. Чому дорівнює кут між падаючим і відбитим променями?



Мал. 25.7

**4** Кут між падаючим і відбитим променями 90°. Чому дорівнює кут відбиття?

**5** 2/3 кута між падаючим і відбитим променями дорівнюють 80°. Чому дорівнює кут падіння променя?

**6** Кут між поверхнею і падаючим променем дорівнює куту між падаючим і відбитим променями. Чому дорівнює кут падіння?

**7** Промінь світла падає перпендикулярно на поверхню дзеркала. На який кут відхилиться відбитий промінь від падаючого, якщо дзеркало повернути на кут: а) 16°; б) 24°; в) 35°? Зроби висновок.

**8** На одне з двох дзеркал, розміщених під прямим кутом одне до одного, падають промені 1 і 2. Виконай малюнок 25.8 у зошиті та покажи подальший хід цих променів.

**9** Падаючий промінь утворює з поверхнею дзеркала 50°. Як треба розташувати плоске дзеркало, щоб змінити напрям сонячного променя на горизонтальний?

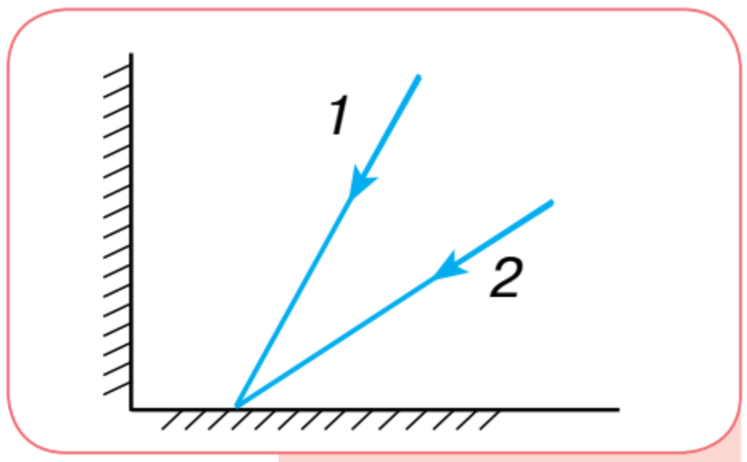
**10** Висота Сонця така, що його промені утворюють з горизонтом кут 40°. Під яким кутом слід розташувати дзеркало $AB$ над краєм криниці, щоб відбитий від нього промінь потрапляв на дно (мал. 25.9). Побудуй хід променів.

**11** Яких мінімальних розмірів має бути дзеркало, щоб ти побачив / побачила себе в повний зріст? Як його при цьому слід розмістити?

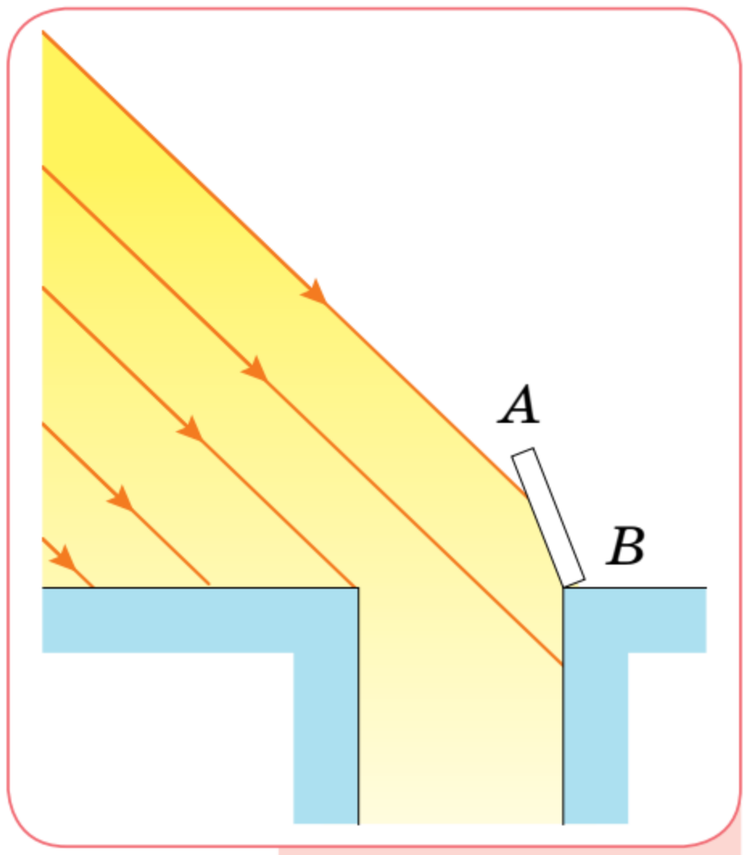
**12** Людина йде в напрямі до плоского дзеркала зі швидкістю 2 м/с. Із якою швидкістю вона наближається до свого зображення? Із якою швидкістю потрібно віддаляти дзеркало від людини, щоб відстань між людиною і її зображенням не змінювалася?

**13** Предмет $AB$ розташований перед плоским дзеркалом (мал. 25.10). Побудуй і схарактеризуй зображення предмета у дзеркалі.

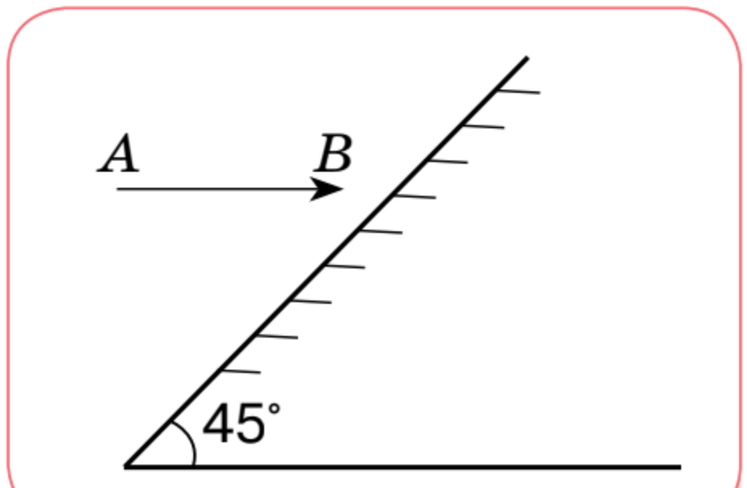
**14** Промінь падає на дзеркала так, як зображено на малюнку 25.11. Визнач кут відбиття променя від другого дзеркала.



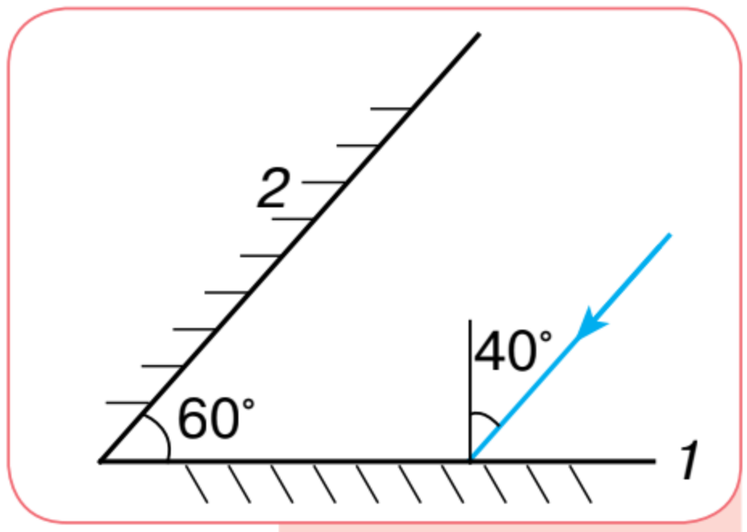
Мал. 25.8



Мал. 25.9



Мал. 25.10



Мал. 25.11

## ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

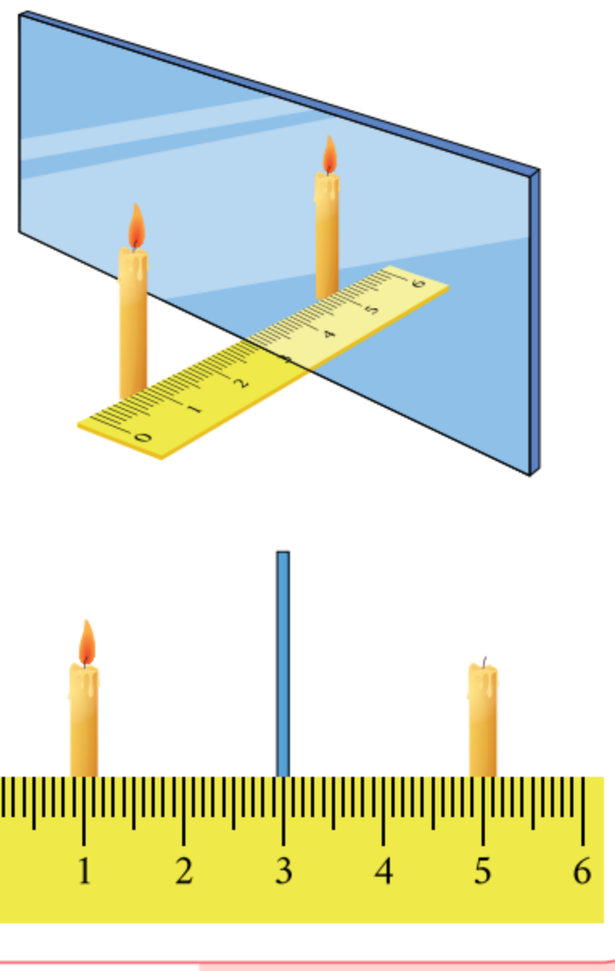
**Виконуй досліди з дотриманням правил безпеки життєдіяльності!**

**1** Переконайся, що зображення є симетричним відносно дзеркала.
*Обладнання*: скляна пластина, дві свічки, сірники і лінійка.

Розмісти вертикально скляну пластину, що виконуватиме роль півпрозорого дзеркала. Оскільки скло прозоре, ти бачитимеш усе, що розташоване за склом.

Запали свічку і постав її перед склом. За склом постав таку саму незапалену свічку і пересувай її вздовж лінійки доти, доки вона не стане здаватися запаленою (мал. 25.12, а).

Виміряй відстані від свічки, що світить, до скла і від скла до незапаленої свічки (мал. 25.12, б). Зроби висновок.




Мал. 25.12

**2** Спробуй себе у ролі фотографа. Під яким кутом і скільки слід розмістити дзеркал, щоб отримати п'ять зображень; шість зображень; вісім зображень? Зроби пояснювальний малюнок. При нагоді зроби такий знімок власного зображення.

25.3

# § 26. ДОСЛІДЖУЄМО ЗАЛОМЛЕННЯ СВІТЛА



У попередньому параграфі ми розглядали досліди з дзеркалами, а зараз розглянемо досліди з водою. Спробуй їх повторити.

## ДОСЛІДЖУЙ

Спостерігай, як змінюється напрям поширення світла у різних середовищах (мал. 26.1). Виконай подібні досліди.

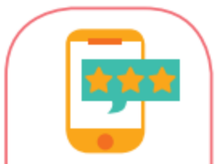


26.1

Мал. 26.1

## ДІЗНАВАЙСЯ

***Що є причиною заломлення світла?*** Однією із цікавих властивостей світла є його перехід з одного середовища в інше. Це явище відоме як заломлення світла. Коли світло зустрічається з межею між двома різними прозорими речовинами (наприклад, з повітрям і водою або склом і повітрям), воно частково відбивається і частково проходить крізь прозорі середовища. При переході із одного середовища в інше швидкість поширення світла змінюється, що призводить до зміни напряму поширення світла (заломлення).




У вакуумі світло поширюється зі швидкістю 300 000 км/с. У повітрі швидкість поширення світла змінюється незначно, тому вважається, що і для повітря вона становить 300 000 км/с. У прозорих середовищах швидкість поширення світла зменшується порівняно зі швидкістю світла у повітрі у відповідну кількість разів: у воді у 1,33 раза; у склі — майже у 1,6 раза; в алмазі — у 2,4 раза.

Абсолютний показник заломлення середовища залежить від фізичного стану середовища (температури, густини тощо). Крім того, показник заломлення залежить від кольору світла: для червоного світла він менший, ніж для зеленого, а для зеленого менший, ніж для фіолетового.

Фізичну величину, що показує, у скільки разів швидкість поширення світла у вакуумі $c$ більша, ніж у середовищі $v$, називають **абсолютним показником заломлення середовища $n$**: $n = \frac{c}{v}$.

Для повітря абсолютний показник заломлення приблизно дорівнює 1. Для будь-якого середовища абсолютний показник заломлення $n > 1$. Із двох прозорих середовищ *оптично більш густим* називають середовище з більшим показником заломлення, тобто в якому швидкість поширення світла менша. Вода — більш оптично густе середовище, ніж повітря, а скло або алмаз — більш оптично густі середовища, ніж вода.

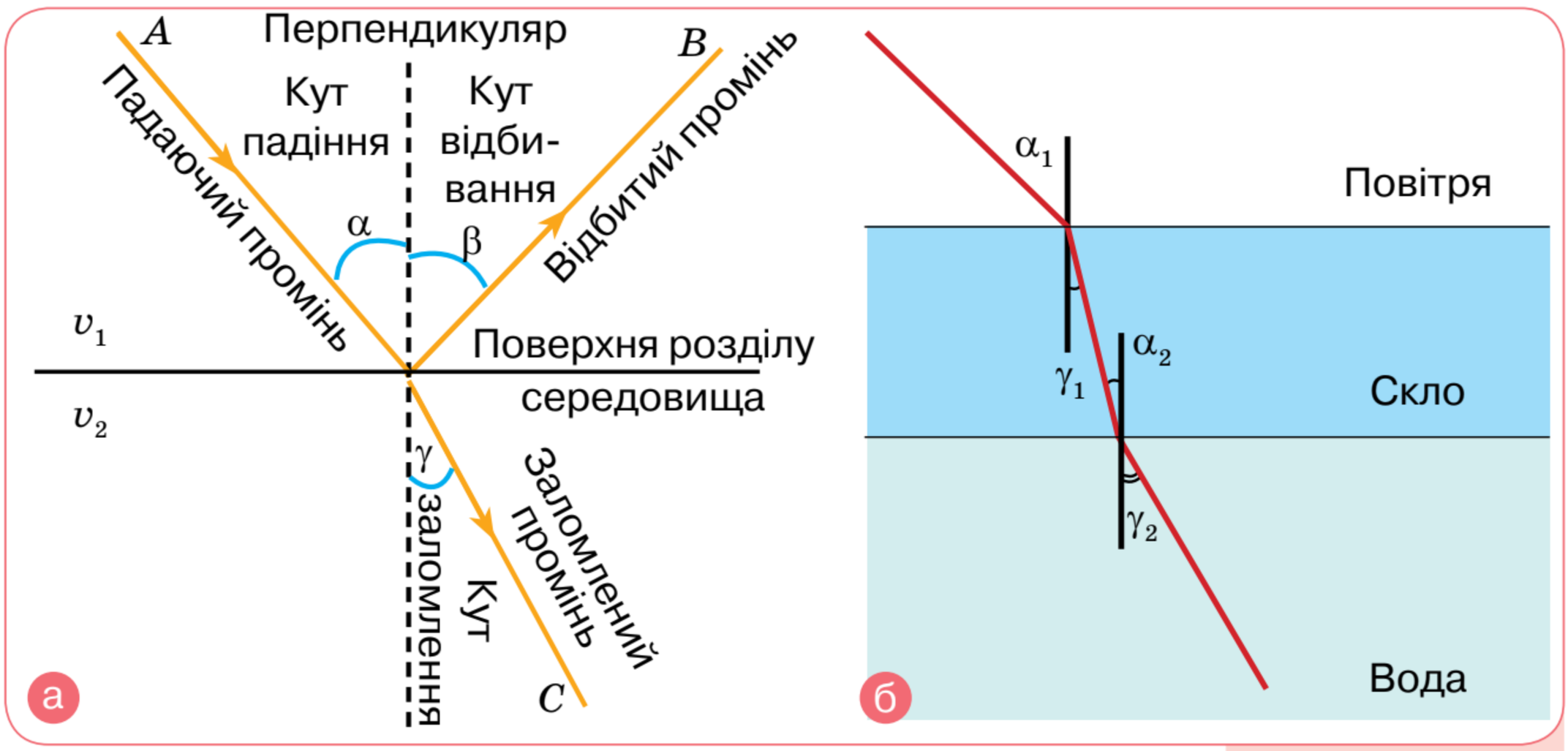
| Речовина | Абсолютний показник заломлення $n$ |
|---|---|
| Повітря | 1,0003 |
| Лід | 1,31 |
| Вода | 1,33 |
| Бензин | 1,50 |
| Скло | 1,43–2,17 |
| Кварц | 1,54 |
| Алмаз | 2,42 |

Таким чином, на ступінь заломлення впливає кілька факторів, зокрема, кут падіння, показники заломлення двох середовищ і довжина хвилі світла.

Вимірювання кутів падіння і заломлення (мал. 26.2, а, с. 154), співвідношення абсолютних показників заломлення середовищ дають можливість визначити *закони заломлення світла* (*refraction of light*):

- падаючий промінь, заломлений промінь та перпендикуляр, встановлений до межі поділу середовищ у точці падіння променя, лежать в одній площині;
- відношення синуса кута падіння ($\alpha$) до синуса кута заломлення ($\gamma$) світлового променя є сталою величиною, яка дорівнює відносному показнику заломлення двох середовищ: $\frac{\sin\alpha}{\sin\gamma} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$, де $n_1$ і $n_2$ — абсолютні показники заломлення першого і другого середовищ, $n_{21}$ — відносний показник заломлення.

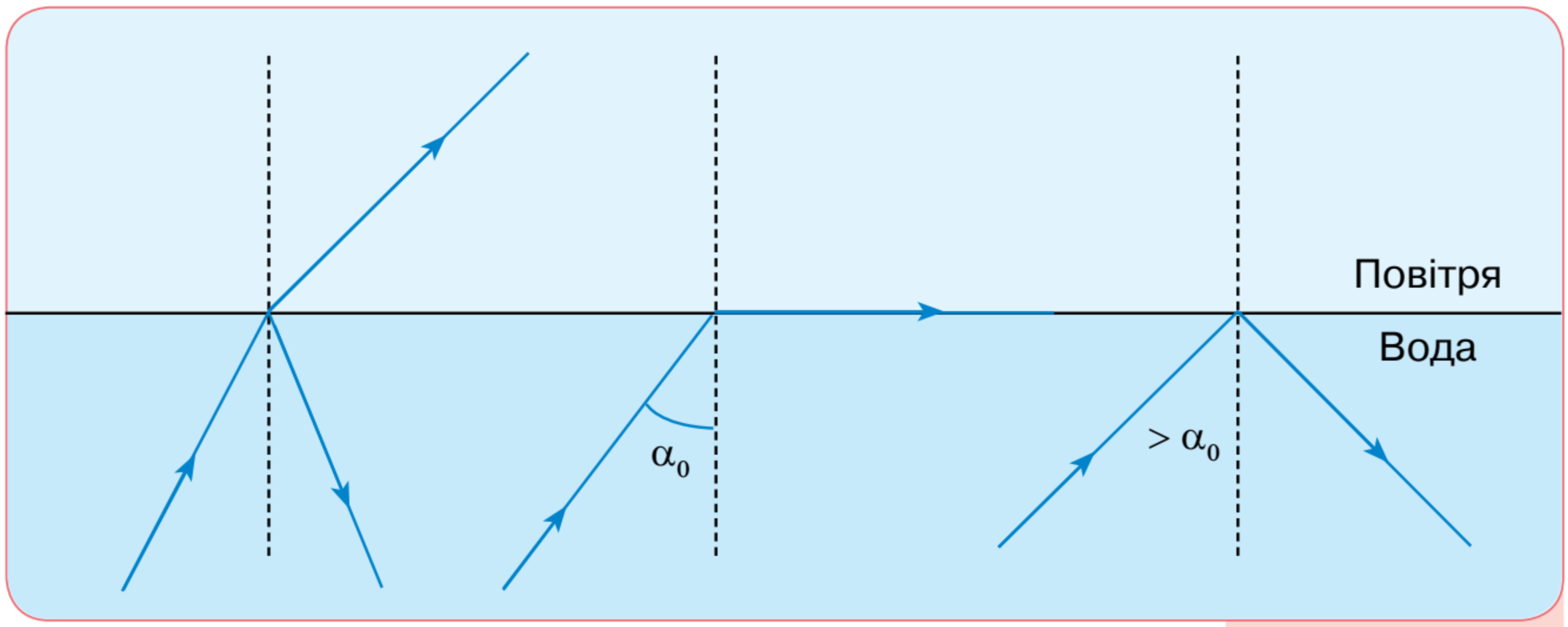
26.3




Мал. 26.2

Співвідношення значень кута падіння та кута заломлення у випадку переходу пучка світла з одного середовища в інше залежить від оптичної густини кожного із середовищ. Наприклад, при переході світлового променя із повітря у скло кут заломлення менший від кута падіння ($n_{\text{пов}} < n_{\text{скла}}$, $\gamma_1 < \alpha_1$), оскільки скло — більш оптично густе середовище, ніж повітря, а при переході світлового променя із скла у воду кут заломлення більший, ніж кут падіння ($n_{\text{вод}} < n_{\text{скл}}$, $\gamma_2 > \alpha_2$), бо вода — менш оптично густе середовище, ніж скло (мал. 26.2, б).

При переході світла із середовища з більшою оптичною густиною у середовище з меншою оптичною густиною (наприклад, із води у повітря) можна спостерігати повне внутрішнє відбиття світла (мал. 26.3). Якщо поступово збільшувати кут падіння, то при певному його значенні $\alpha_0$ кут заломлення дорівнюватиме $90^0$. При подальшому збільшенні кута падіння падаючий промінь уже відбиватиметься у те саме середовище, звідки поширювалося світло.



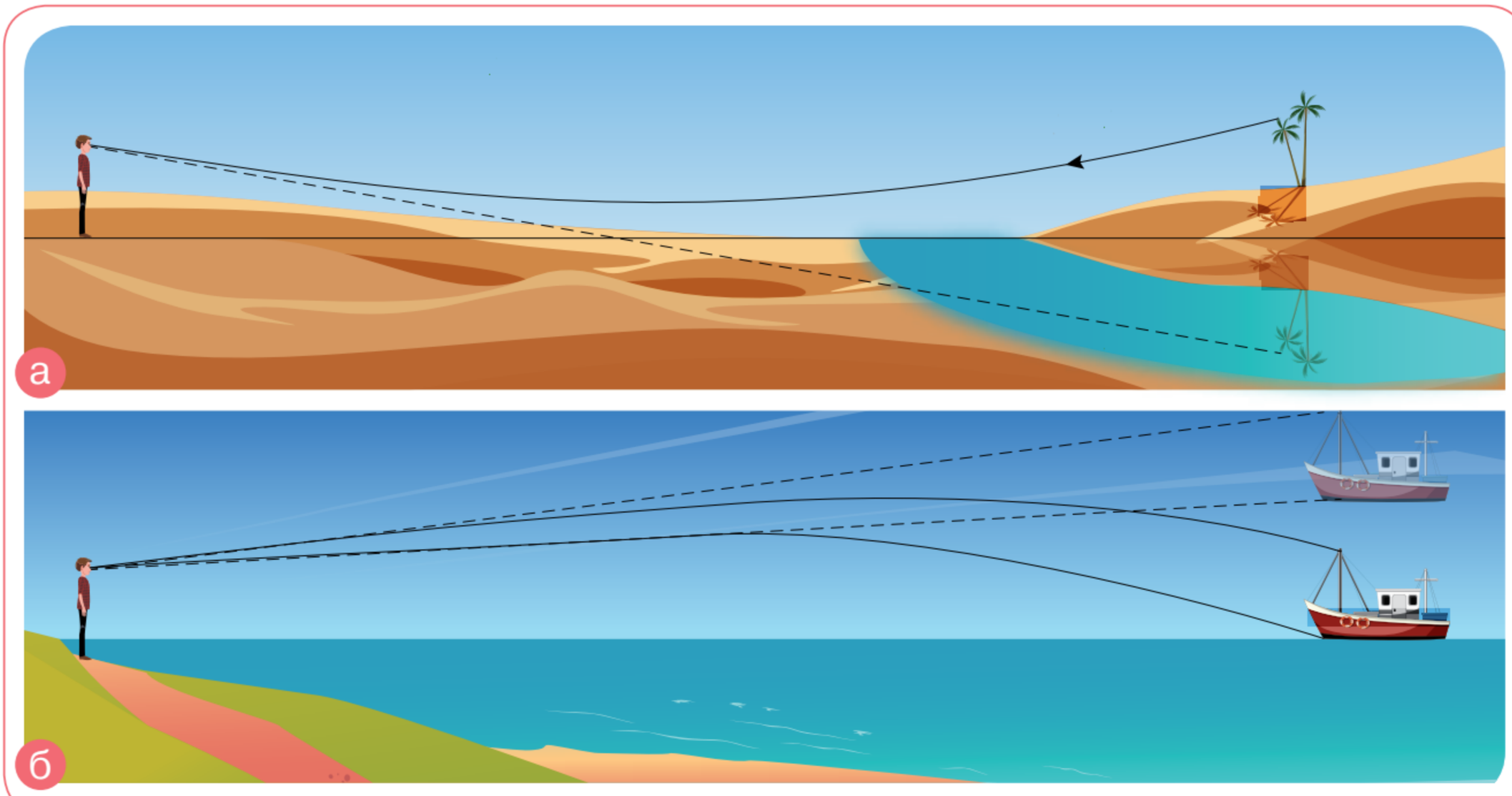

Мал. 26.3

***Спостерігаємо заломлення світла в природі і техніці.*** Повне внутрішнє відбиття застосовують у сучасній техніці для передавання світлових сигналів (для телевізорів, комп'ютерів, телефонів) тонкими скляними нитками — світловодами (так звана «волоконна оптика» мал. 26.4). Оптичні волокна застосовують і в медицині. За їх допомогою зображення внутрішніх органів передають на телекамеру, що дозволяє ретельно обстежувати внутрішні органи.



Мал. 26.4

Усі оптичні прилади містять лінзи, які заломлюють світло. Заломленням світла пояснюється виникнення міражів (мал. 26.5).




Мал. 26.5

Удень у пустелі нижні шари повітря дуже прогріваються від гарячого піску, унаслідок чого повітря стає неоднорідним. Проходячи крізь таке середовище, промінь повітря плавно викривляється. У результаті цього промінь, що йде зверху від блакитного неба, попадає в око мандрівнику знизу, і мандрівнику здається, ніби він бачить блакитне озеро (мал. 26.5, а). Подібні міражі можна спостерігати у спекотний літній день на автомобільних дорогах. Водію або пасажиру здається, що на асфальті є «калюжі», хоча насправді він сухий.

Міражі спостерігаються і над морем. У цьому випадку тепліші шари повітря розташовано над холоднішими, і виникає так званий верхній міраж (мал. 26.5, б).

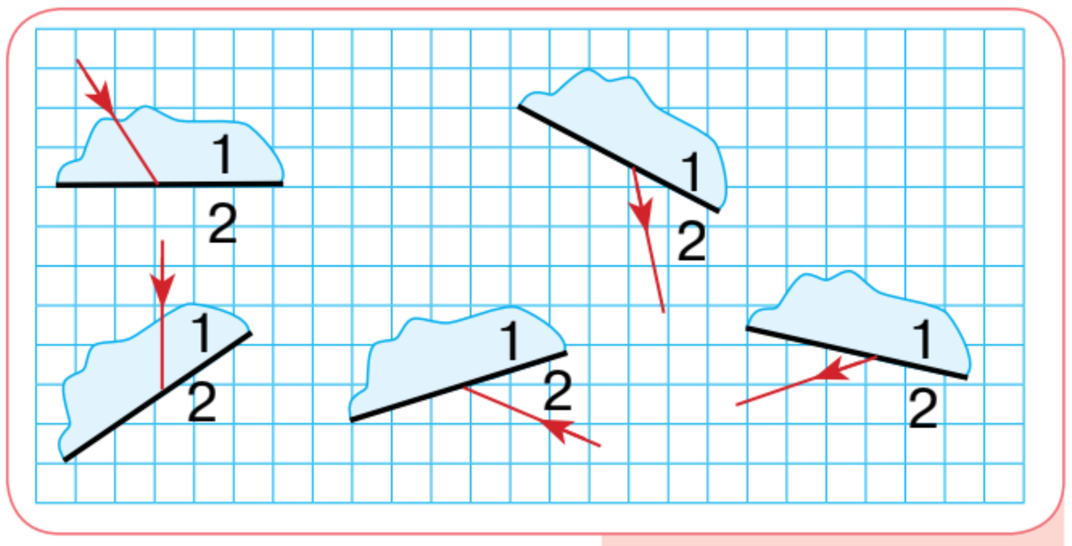
Заломленням світла пояснюється також виникнення веселки.

**ДУМАЙ**

1. Чим зумовлене заломлення світла на межі двох прозорих середовищ? 2. Яке середовище називають більш оптично густим? 3. Сформулюй закони заломлення світла. 4. Який фізичний зміст відносного показника заломлення? Абсолютного показника заломлення? 5. Поясни сутність явища повного внутрішнього відбиття світла. 6. Яке практичне застосування заломлення світла?

**ДІЙ**

## РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ



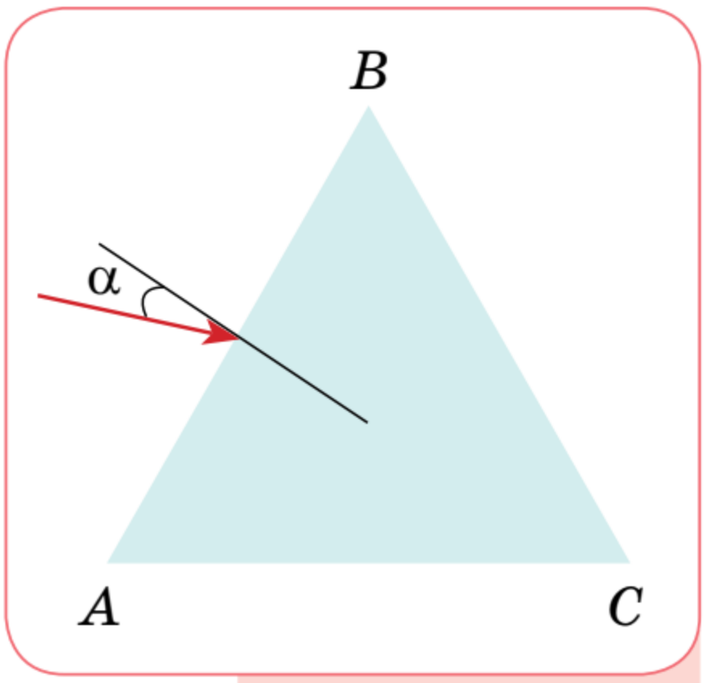
Мал. 26.6

**1** Накресли у зошиті малюнок 26.6. Для кожного випадку накресли заломлений або падаючий промінь, вважаючи, що всі зображені тіла виготовлені зі скла.

**2** Промінь світла падає з повітря у воду під кутом 60°. Кут між відбитим і заломленим променями становить 80°. Обчисли кут заломлення променя.

**3** Промінь, який відбивається від поверхні скла з показником заломлення 1,7, утворює із заломленим променем прямий кут. Визнач кути падіння і заломлення.

**4** В оптиці досить часто користуються тригранними призмами. Промінь, проходячи крізь призму, зазнає заломлення двічі: при входженні у призму та при виході з неї. Накресли у зошиті переріз призми і

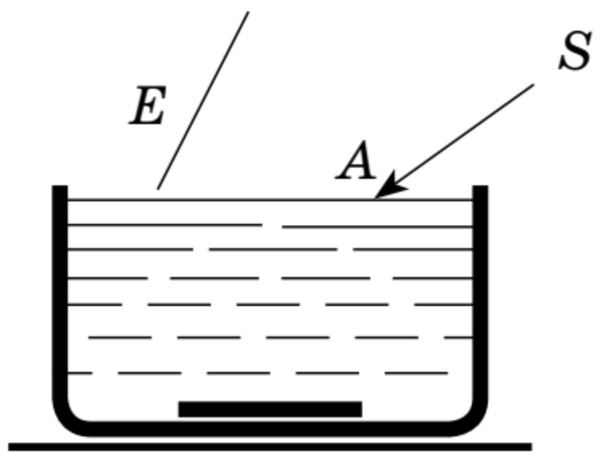


Мал. 26.7

падаючий на її грань промінь (мал. 26.7). Побудуй орієнтовний хід променя крізь призму.

5 Позірна глибина водойми 3 м. Визнач дійсну глибину водойми. Показник заломлення води 1,33.

6 На дні посудини з водою лежить плоске дзеркало (мал. 26.8). Накресли наближено хід променя $SA$ і вкажи на екрані $E$ точку, в яку попадає промінь, що вийшов з води.



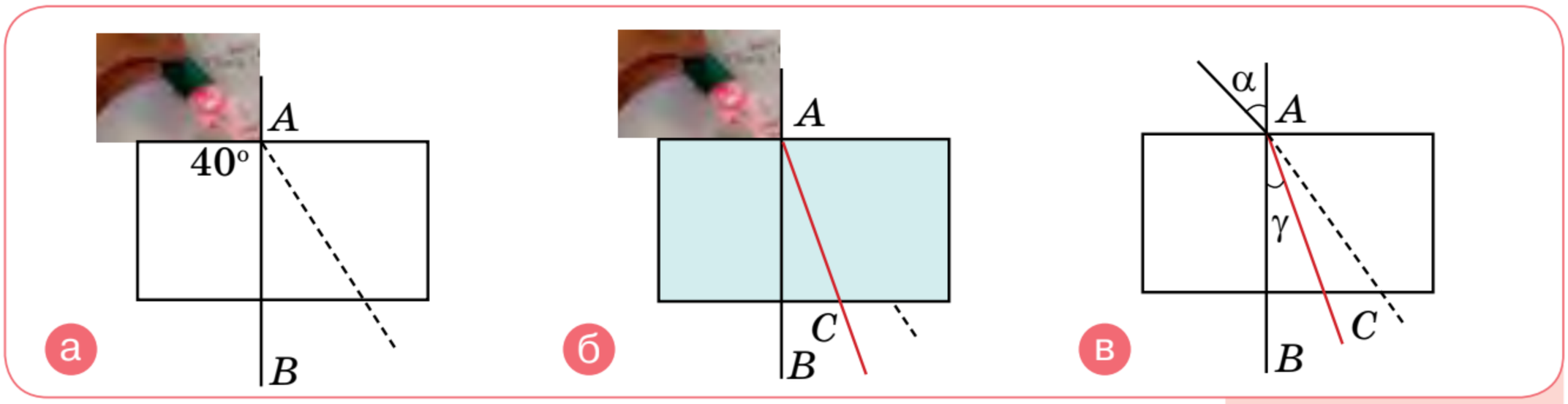

Мал. 26.8

## ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

**Виконуй досліди з дотриманням правил безпеки життєдіяльності!**

1 Перевір виконання закону заломлення світла.

*Обладнання*: скляна пластинка, олівець, транспортир, лазерна указка.




Мал. 26.9

1. Поклади аркуш паперу на стіл. На папір поклади скляну пластинку та обведи її контури. Познач точку $A$ на верхній лінії контуру і проведи із цієї точки перпендикуляр $AB$ до верхньої лінії .

2. Спрямуй промінь світла від лазерної указки під кутом приблизно $40^\circ$ до перпендикуляра. Познач хід променя олівцем (мал. 26.9, а).

3. Не рухаючи папір і лазерну указку, помісти скляну пластинку на шлях світлового променя таким чином, щоб її грані співпали із накресленими перед цим лініями контуру(мал. 26.9, б).

4. Переконайся, що світло заломилося. Познач хід заломленого променя олівцем. З'єднай точку $A$ входу променя на верхній грані із точкою $C$ виходу променя із нижньої грані (мал. 26.9, в).

5. Виміряй кути падіння і заломлення та обчисли їх синуси. Обчисли відношення синуса кута падіння до синуса кута заломлення.

6. Повтори дослід (п. 3–5), змінивши кут падіння. Порівняй нове отримане значення відношення синуса кута падіння до синуса кута заломлення із попередньо отриманим значенням. Зроби висновок.

2 Виконай віртуальну лабораторну роботу 26.4 .

26.5

# § 27. ДОСЛІДЖУЄМО ОПТИЧНІ ПРИЛАДИ

Як зміниться зображення, якщо закрити половину лінзи в окулярах: зникне половина зображення чи воно лише потьмяніє?



## ДОСЛІДЖУЙ

Спробуй виконати запропоноване завдання.

Одягни окуляри (будь-які: для зору, сонцезахисні). Закрий половину однієї лінзи (наприклад, зліва направо) папером / пальцем так, щоб ця половина взагалі не пропускала світло. Подивись одним оком крізь цю «напівзакриту» лінзу на назву підручника «ФІЗИКА». Запиши спостереження за трьома ознаками:

- чи бачиш ти все слово, чи тільки його половину;
- наскільки темніше / світліше стало;
- чи стало гірше видно дрібні деталі?

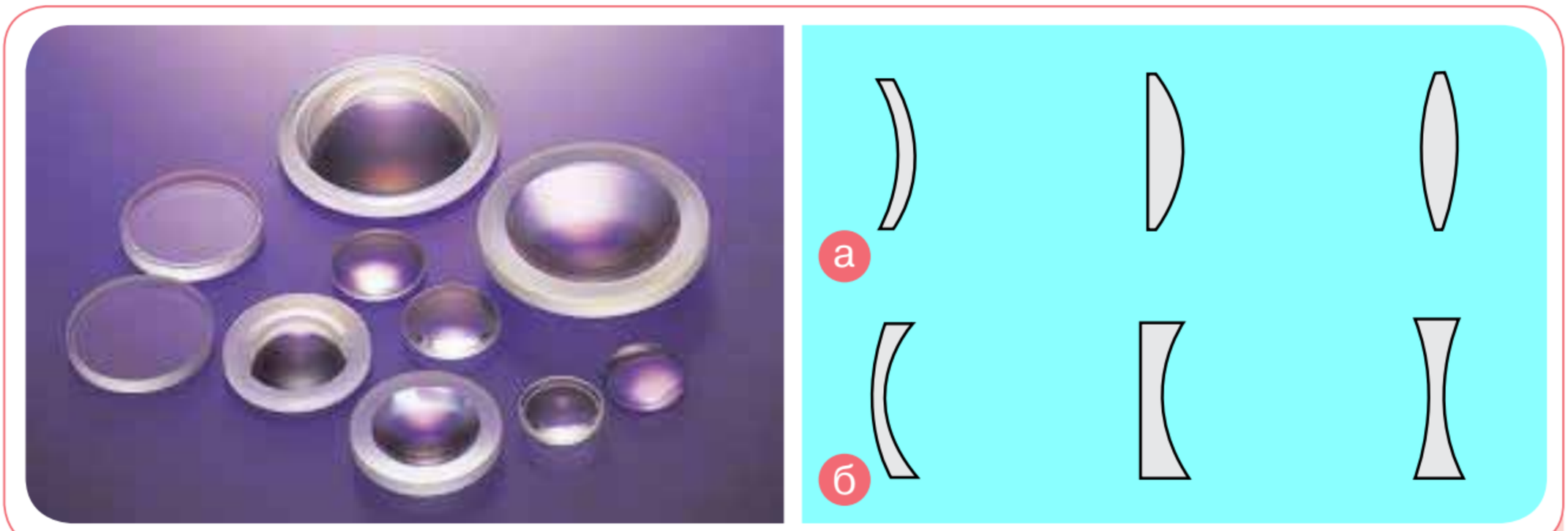
Тепер закрий половину однієї лінзи справа наліво. Повтори спостереження.

## ДІЗНАВАЙСЯ

***Дізнаємося про характеристики лінз.*** За допомогою лінз людині вдалося «проникнути» у таємниці мікросвіту та Всесвіту. Лінзи дали нам можливість сприймати невидимі неозброєним оком об'єкти і ті, що перебувають на далекій відстані, фіксувати інформацію за допомогою фотографії.

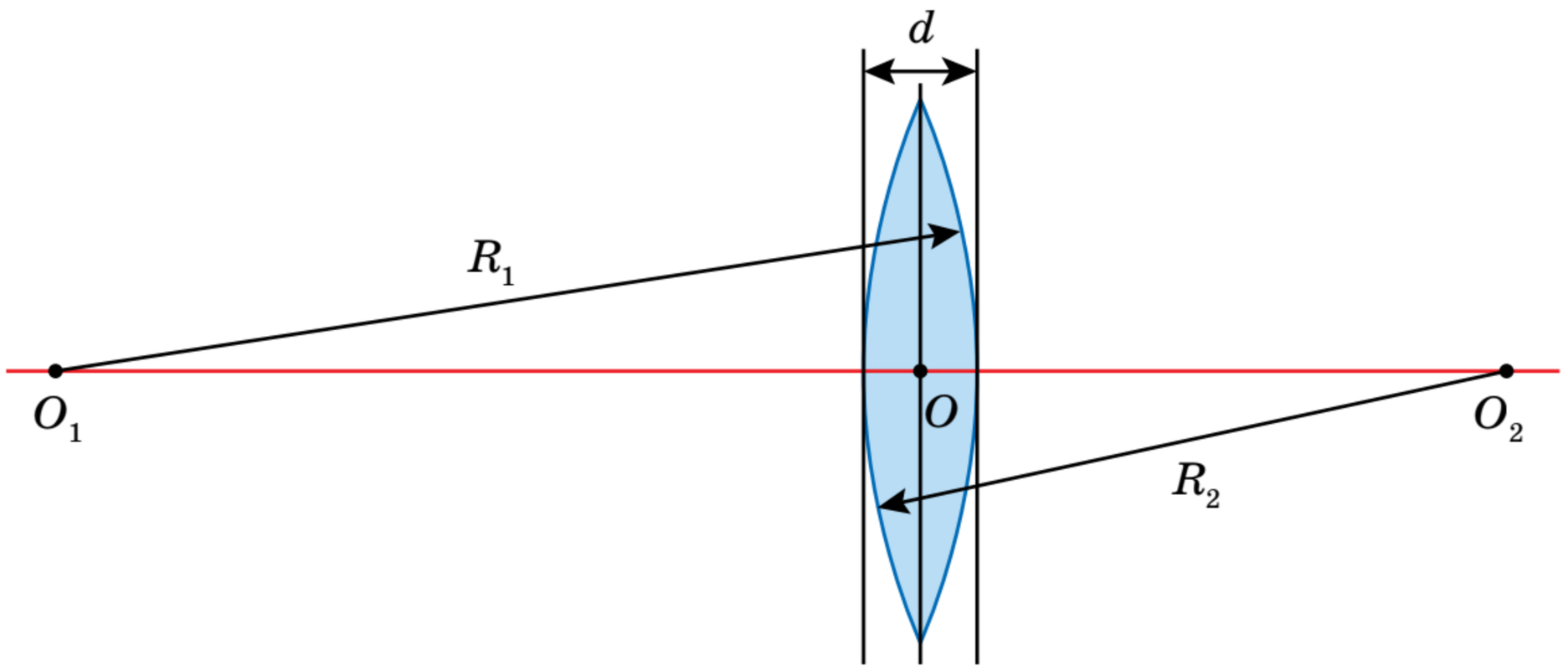
За формою лінзи поділяються на *опуклі* — лінзи, що посередині товщі, ніж біля країв (мал. 27.1, а) та *увігнуті* — лінзи, що посередині тонші (мал. 27.1, б).

**Лінза** (*lens*) — прозоре тіло, обмежене з двох боків сферичними поверхнями (зокрема, одна із поверхонь може бути і плоскою).




Мал. 27.1

Якщо товщина лінзи $d$ у багато разів менша від радіусів сферичних поверхонь $R_1$ і $R_2$, що її утворюють, то таку лінзу називають *тонкою лінзою* (мал. 27.2).




Мал. 27.2

Далі, говорячи про лінзу, ми завжди матимемо на увазі саме тонку лінзу. Для тонкої лінзи можна вважати, що вся лінза лежить в одній площині.

Для характеристики лінз введемо наступні поняття.

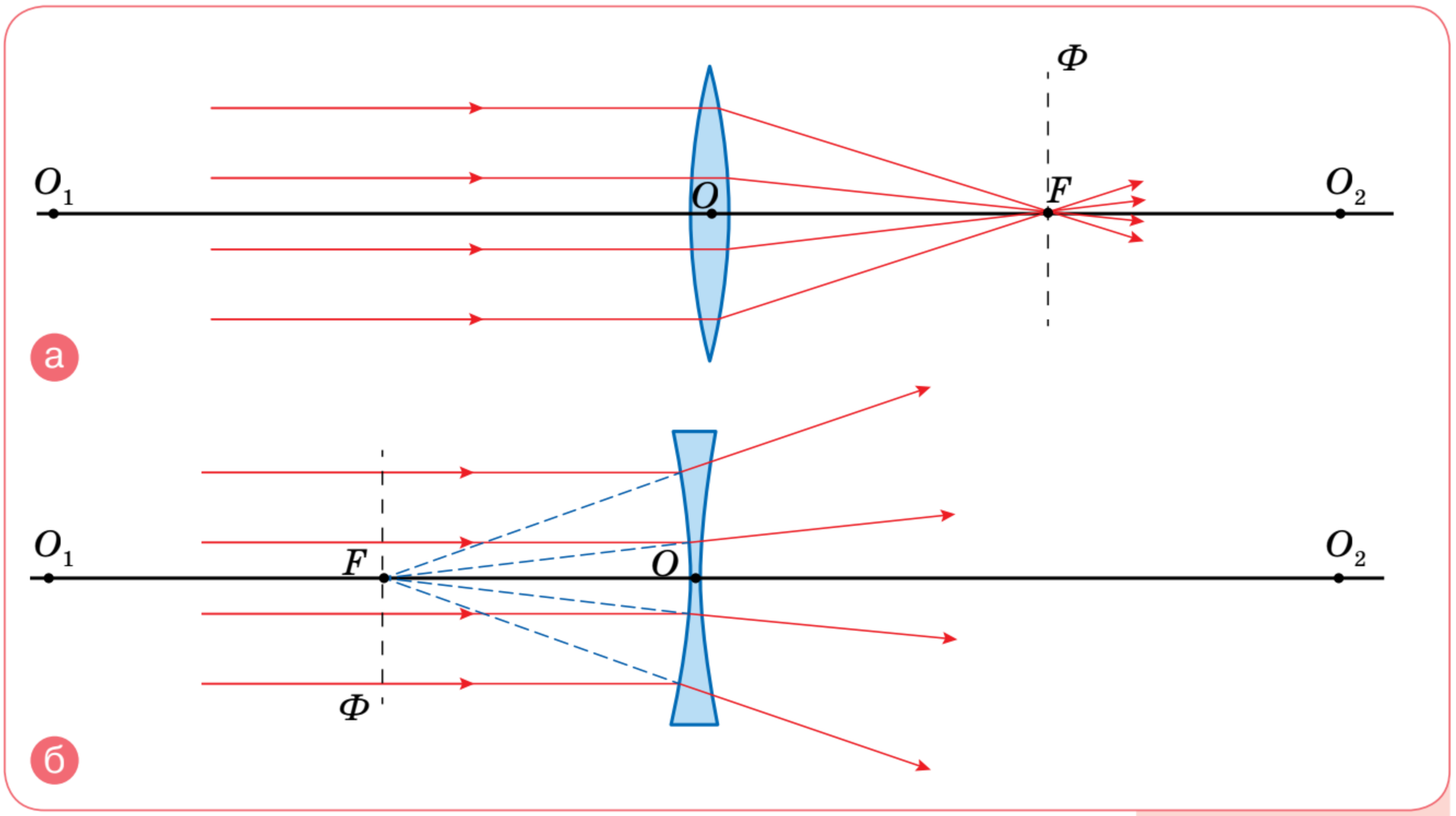
*Головна оптична вісь* — пряма $O_1O_2$, яка проходить через центри сферичних поверхонь, що обмежують лінзу (мал. 27.3, а, б, с. 160).

*Оптичний центр лінзи* — точка $O$, що лежить на головній оптичній осі в центрі лінзи (мал. 27.3, а, б). Промінь світла, що проходить через оптичний центр лінзи, не змінює свого напряму.

Зазвичай опуклі лінзи є *збиральними* (мал. 27.3, а), увігнуті лінзи є *розсіювальними* (мал. 27.3, б).

Промені, що падають на збиральну лінзу паралельно головній оптичній вісі, після заломлення в лінзі перетинаються в одній точці, яку називають *фокусом лінзи* й позначають $F$ (мал. 27.3, а, б).

Кожна збиральна лінза має два фокуси, розташовані на однакових відстанях по обидва боки від лінзи. Фокус збиральної лінзи називають *дійсним*, оскільки в ньому перетинаються дійсні промені (мал. 27.3, а).




Мал. 27.3

Якщо на розсіювальну лінзу спрямувати пучок променів, паралельних головній оптичній осі, то після заломлення в лінзі вони вийдуть розбіжним пучком (мал. 27.3, б). Однак їх продовження зберуться в одній точці на головній оптичній осі — фокусі лінзи, яку позначають $F$. Кожна розсіювальна лінза також має два фокуси, які розташовані на однакових відстанях по обидва боки від лінзи. Фокус розсіювальної лінзи називають *уявним*, оскільки в ньому перетинаються не самі промені, а їх продовження.

Слід також відмітити, що одна і та сама лінза може бути як збиральною, так і розсіювальною. Так, скляна двоопукла лінза у повітрі є збиральною, а якщо її занурити у рідину, яка заломлює світлові промені сильніше, ніж скло, то лінза буде розсіювальною.

*Фокусна відстань* — відстань від оптичного центра лінзи до фокуса. Її також позначають символом $F$. Вимірюють у метрах.

Фокусну відстань збиральної лінзи домовились вважати додатною ($F > 0$), а розсіювальної — від'ємною ($F < 0$).

Сильніші заломлюючі властивості має більш опукла лінза, отже, тим меншою є її фокусна відстань.

*Оптична сила лінзи* — фізична величина, що характеризує заломлюючі властивості лінзи, вона обернена до фокусної відстані. Оптичну силу лінзи позначають символом $D$ та визначають за формулою: $D = \frac{1}{F}$.

Одиницю оптичної сили лінзи називають *діоптрія*. 1 діоптрія (дптр) — це оптична сила такої лінзи, фокусна відстань якої дорівнює 1 м. Якщо лінза збиральна, то її оптична сила є додатною ($D > 0$), якщо лінза розсіювальна — від'ємною ($D < 0$).

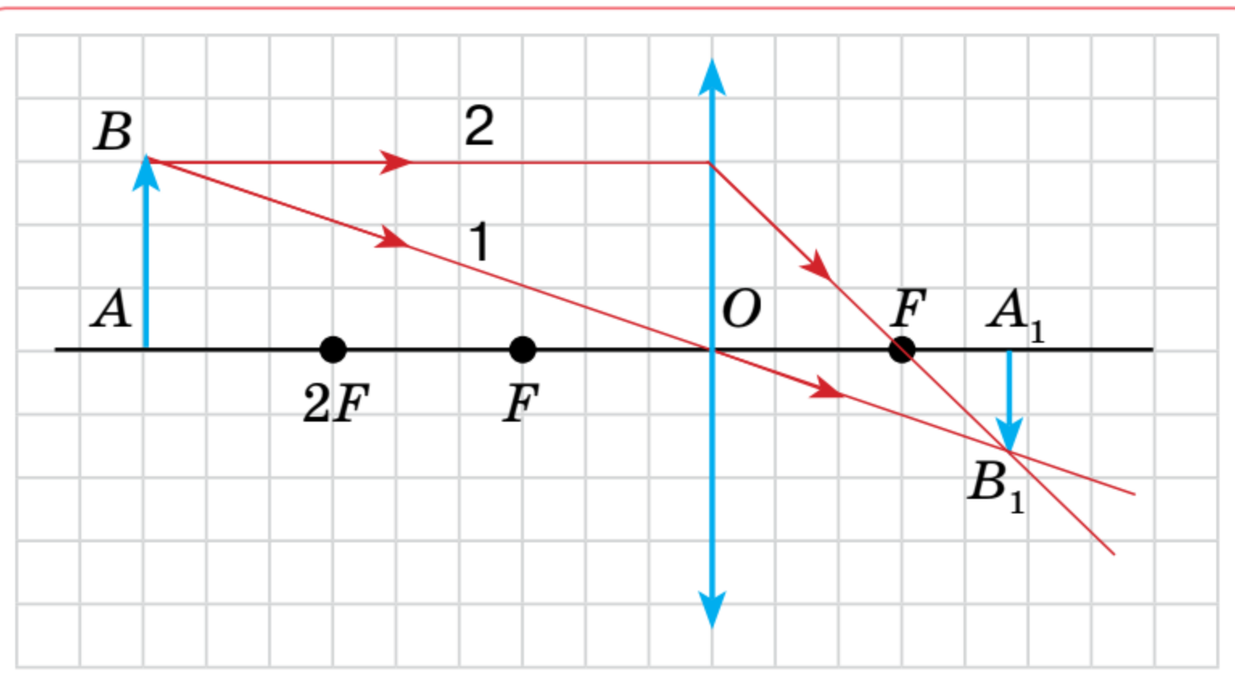
***Як за допомогою лінзи отримують зображення.*** Будь-який предмет можна уявити як сукупність точок. Кожна точка предмета, що світиться власним або відбитим світлом, випускає промені в усіх напрямах. Кожна точка лінзи пропускає промені, але під різними кутами. Тому навіть невелика частина лінзи формує повне, але менш яскраве зображення. У чому тобі вдалося переконатися, закриваючи половину лінзи? Якщо промені, що виходять із світної точки, після заломлення в лінзі перетинаються, то точка перетину і є зображенням світної точки.

*Зображення світної точки* — це точка перетину заломлених у лінзі променів (або продовжень променів), що виходять із світної точки.

Для побудови зображення світної точки із усієї сукупності світлових променів, що з неї виходять, використовують такі промені:

- промінь, що проходить через оптичний центр лінзи. Він не заломлюється і не змінює свого напряму;
- промінь, що йде до лінзи паралельно головній оптичній осі. Після заломлення в збиральній лінзі він йде через фокус (у випадку розсіювальної лінзи або уявного зображення цей промінь після заломлення в лінзі матиме такий напрям, нібито він виходить із фокуса);
- промінь, що проходить через фокус і падає на збиральну лінзу, згідно з властивістю оборотності променів, після заломлення в лінзі йде паралельно головній оптичній осі.

На малюнку 27.4 наведено зразок побудови зображення предмета, отриманого за допомогою збиральної лінзи.




Мал. 27.4

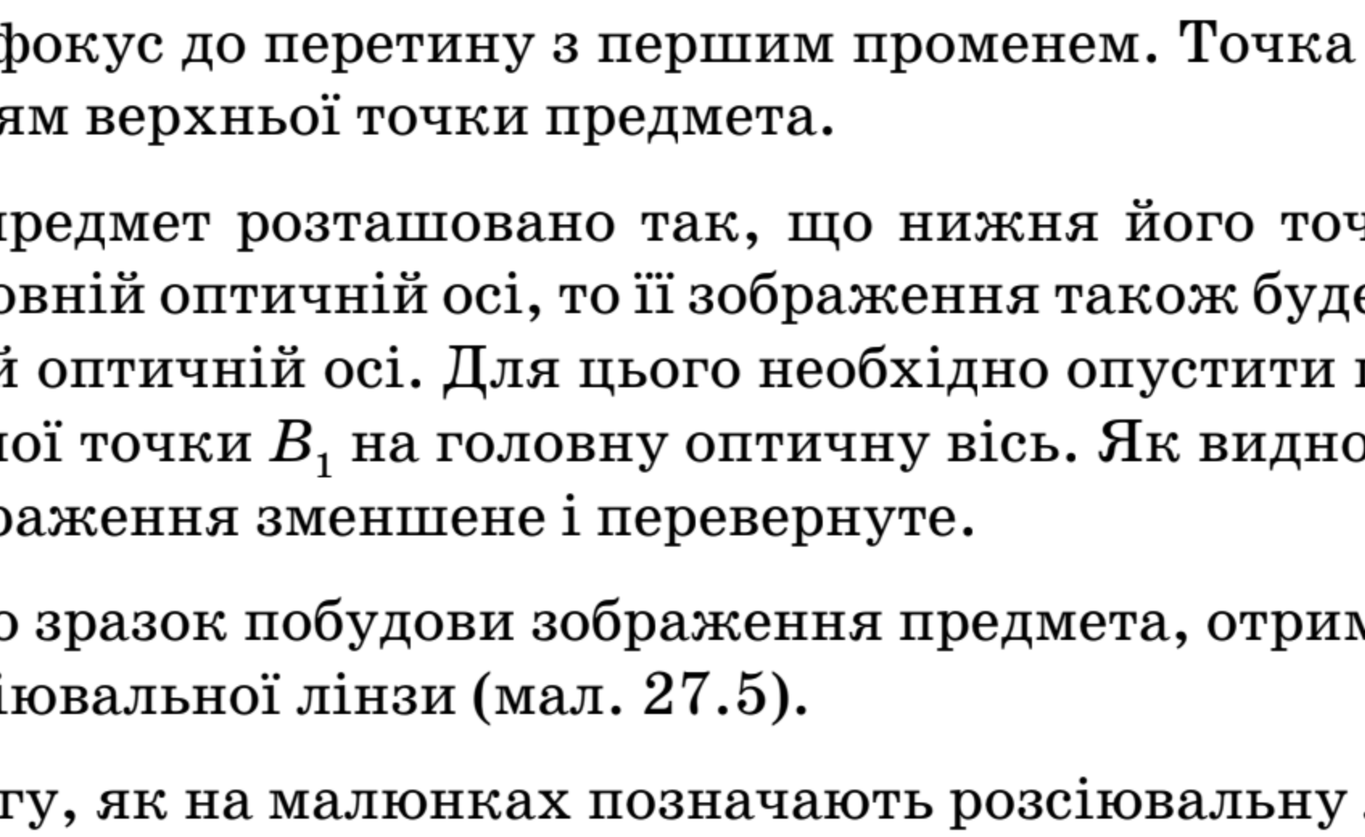
Збиральну лінзу на малюнках схематично зображують у вигляді двосторонньої стрілки. На малюнку необхідно показати оптичний центр лінзи, головну оптичну вісь, фокуси $F$ по обидва боки від лінзи. Предмет найчастіше зображують у вигляді стрілки.

Для побудови зображення верхньої точки $B$ предмета застосуємо два промені (надалі при побудові завжди будемо використовувати саме два промені). Перший промінь виходить із точки $B$ і, не заломлюючись, проходить через оптичний центр лінзи. Проводимо до лінзи із точки $B$ другий промінь паралельно головній оптичній осі. Після лінзи промінь проходить через фокус до перетину з першим променем. Точка перетину $B_1$ і є зображенням верхньої точки предмета.

Оскільки предмет розташовано так, що нижня його точка $A$ знаходиться на головній оптичній осі, то її зображення також буде розташоване на головній оптичній осі. Для цього необхідно опустити перпендикуляр з отриманої точки $B_1$ на головну оптичну вісь. Як видно з побудови, отримане зображення зменшене і перевернуте.

Розглянемо зразок побудови зображення предмета, отриманого за допомогою розсіювальної лінзи (мал. 27.5).

Зверни увагу, як на малюнках позначають розсіювальну лінзу.




Мал. 27.5

Починаємо, як і у першому випадку, з променя, що виходить з верхньої точки предмета і проходить через оптичний центр лінзи.

Другий промінь проводимо із верхньої точки предмета до лінзи паралельно головній оптичній осі. Розсіювальна лінза заломлює промені так, що після виходу з неї вони йдуть розбіжним пучком.

Щоб визначити подальший напрям другого променя, необхідно сполучити той фокус лінзи, який знаходиться по один бік із предметом, і місце на лінзі, куди падає даний промінь. Потім необхідно показати пунктирною лінією напрям виходу променя та його продовження.

У випадку розсіювальної лінзи перетинаються не самі промені, а їх продовження. Нагадаємо, що отримане зображення в такому випадку називають уявним. Як видно з побудови, зображення предмета зменшене і пряме (не перевернуте).

За допомогою однієї і тієї самої лінзи можна отримати або збільшене, або зменшене зображення предмета. Вид зображення, яке дає збиральна лінза, залежить від відстані, на якій розташовано предмет від лінзи.




Відстань від предмета до лінзи прийнято позначати літерою $d$, а відстань від лінзи до зображення — літерою $f$.

У розглянутому випадку предмет розташовувався на відстані, що перевищує дві фокусні відстані: $d > 2F$. Отримане зображення дійсне, зменшене і перевернуте. Такий тип зображення виходить, наприклад, на сітківці ока.

Поступово наближатимемо предмет до лінзи і спостерігатимемо, як змінюється його зображення (мал. 27.6, с. 164).

У випадку, коли предмет знаходиться у подвійному фокусі $d = 2F$, зображення дійсне, перевернуте і таких само розмірів, як і предмет.

При $2F > d > F$ зображення дійсне, перевернуте і збільшене. Таке зображення дозволяє одержати на екрані проєкційна апаратура.

При $d = F$ зображення не утворюється.

При $d < F$ зображення уявне, пряме і збільшене. Таке зображення можна отримати за допомогою лупи або мікроскопа.

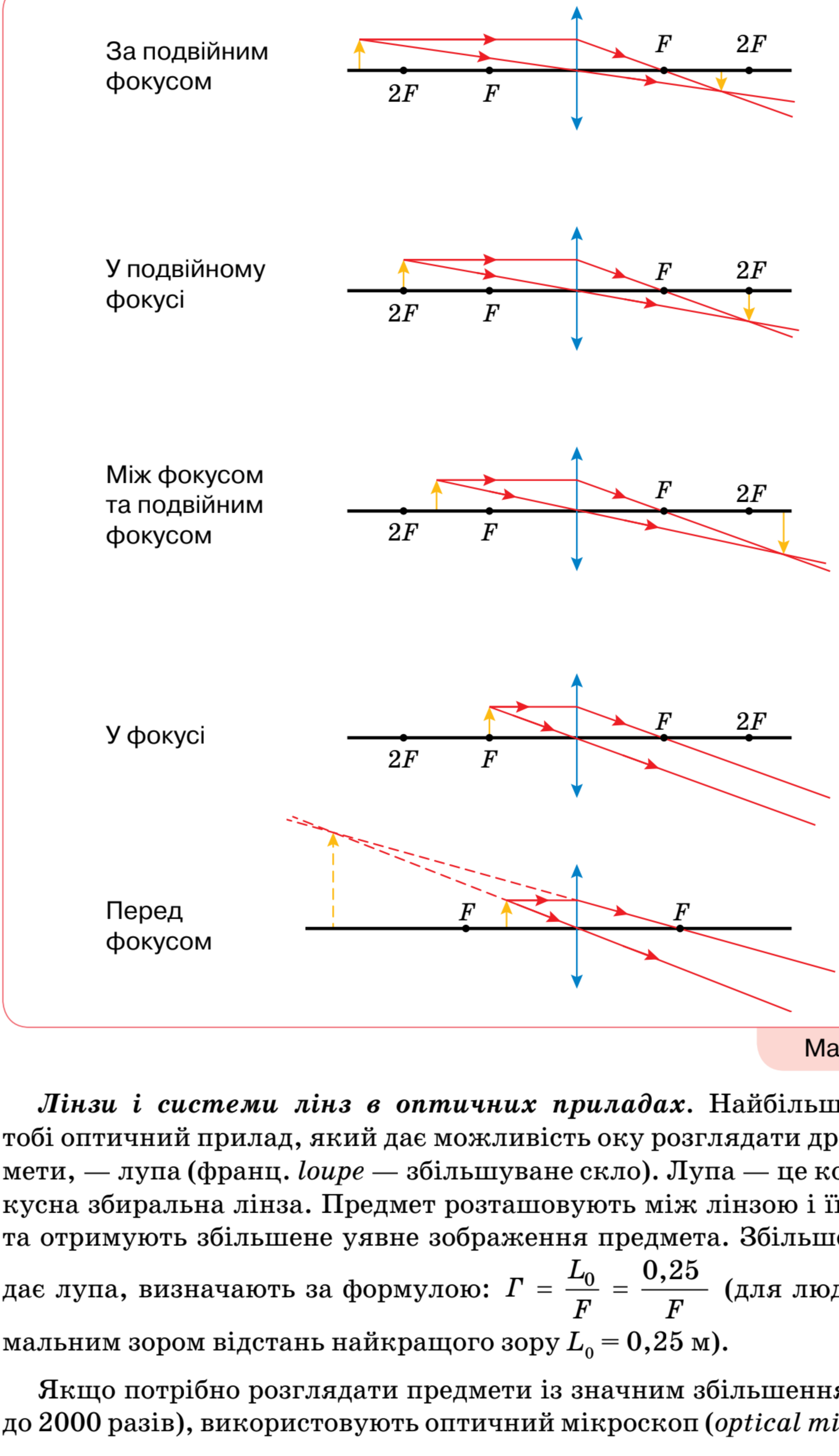
Розсіювальна лінза завжди дає уявне, пряме і зменшене зображення, яке завжди знаходиться між лінзою і фокусом. (Переконайся у цьому самостійно.)

Існує математична залежність між відстанню $d$ від предмета до лінзи, відстанню $f$ від зображення до лінзи і фокусною відстанню $F$ лінзи. Цю залежність називають *формулою тонкої лінзи* й записують так:

$$\pm\frac{1}{F} = \frac{1}{d} \pm \frac{1}{f}.$$

Користуючись формулою тонкої лінзи для розв'язування задач, слід мати на увазі:

- відстань $f$ слід брати зі знаком «мінус», якщо зображення є уявним, і зі знаком «плюс», якщо зображення дійсне;
- фокусна відстань $F$ збиральної лінзи є додатною, розсіювальної — від'ємною.

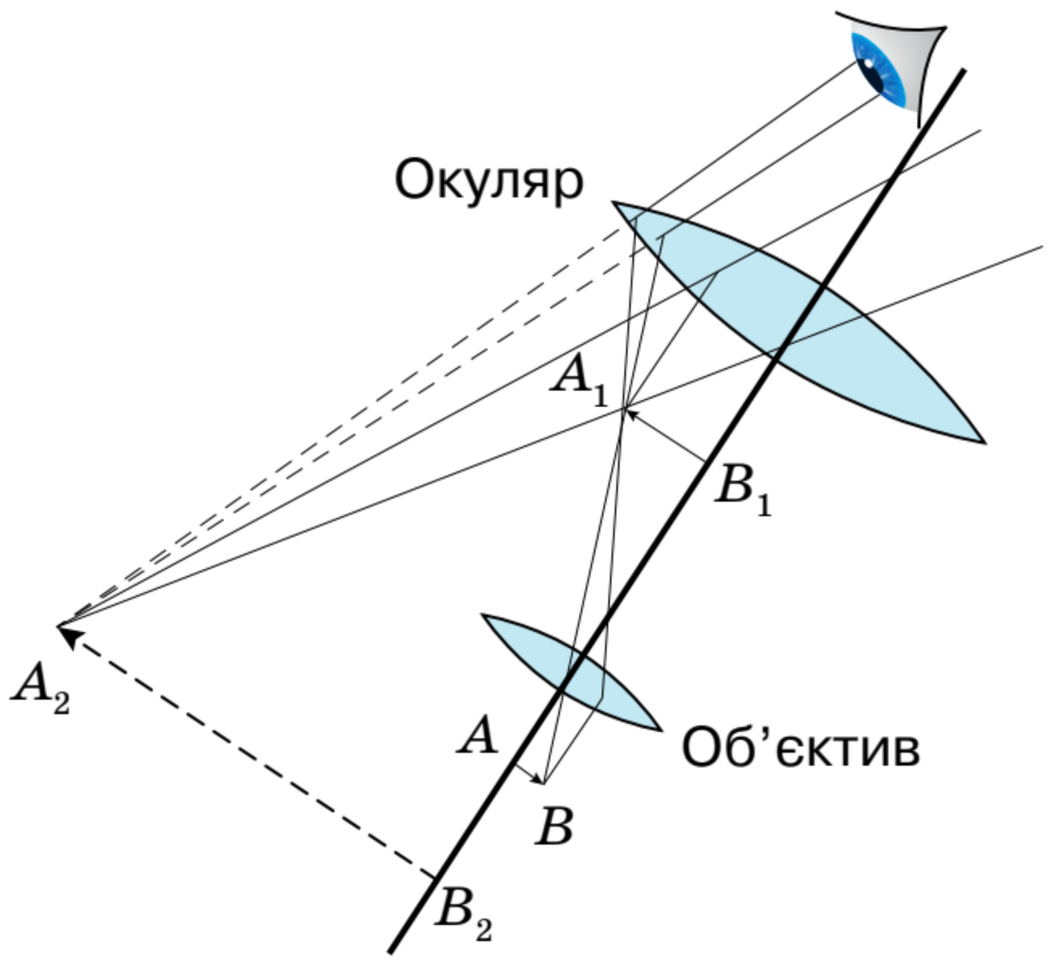



Мал. 27.6

***Лінзи і системи лінз в оптичних приладах.*** Найбільш відомий тобі оптичний прилад, який дає можливість оку розглядати дрібні предмети, — лупа (франц. *loupe* — збільшуване скло). Лупа — це короткофокусна збиральна лінза. Предмет розташовують між лінзою і її фокусом та отримують збільшене уявне зображення предмета. Збільшення, яке дає лупа, визначають за формулою: $\Gamma = \frac{L_0}{F} = \frac{0{,}25}{F}$ (для людей з нормальним зором відстань найкращого зору $L_0 = 0{,}25$ м).

Якщо потрібно розглядати предмети із значним збільшенням (від 20 до 2000 разів), використовують оптичний мікроскоп (*optical microscope*).

Мікроскоп складається з набору двох типів лінз — об'єктива та окуляра (мал. 27.7). Предмет $AB$ розміщують у фокусі об'єктива. Об'єктив дає дійсне збільшене зображення об'єкта ($A_1B_1$) у фокусі окуляра. Окуляр діє як лупа — дає уявне збільшене зображення ($A_2B_2$).






Мал. 27.7

Збільшення мікроскопа визначають як добуток збільшення об'єктива та окуляра. Цю величину зазначено на мікроскопі. Наприклад, на об'єктиві вказано 20x, а на окулярі — 10x. Це означає, що збільшення мікроскопа 200. Сучасні оптичні мікроскопи дають можливість отримати збільшення, що сягає 1 000 разів.

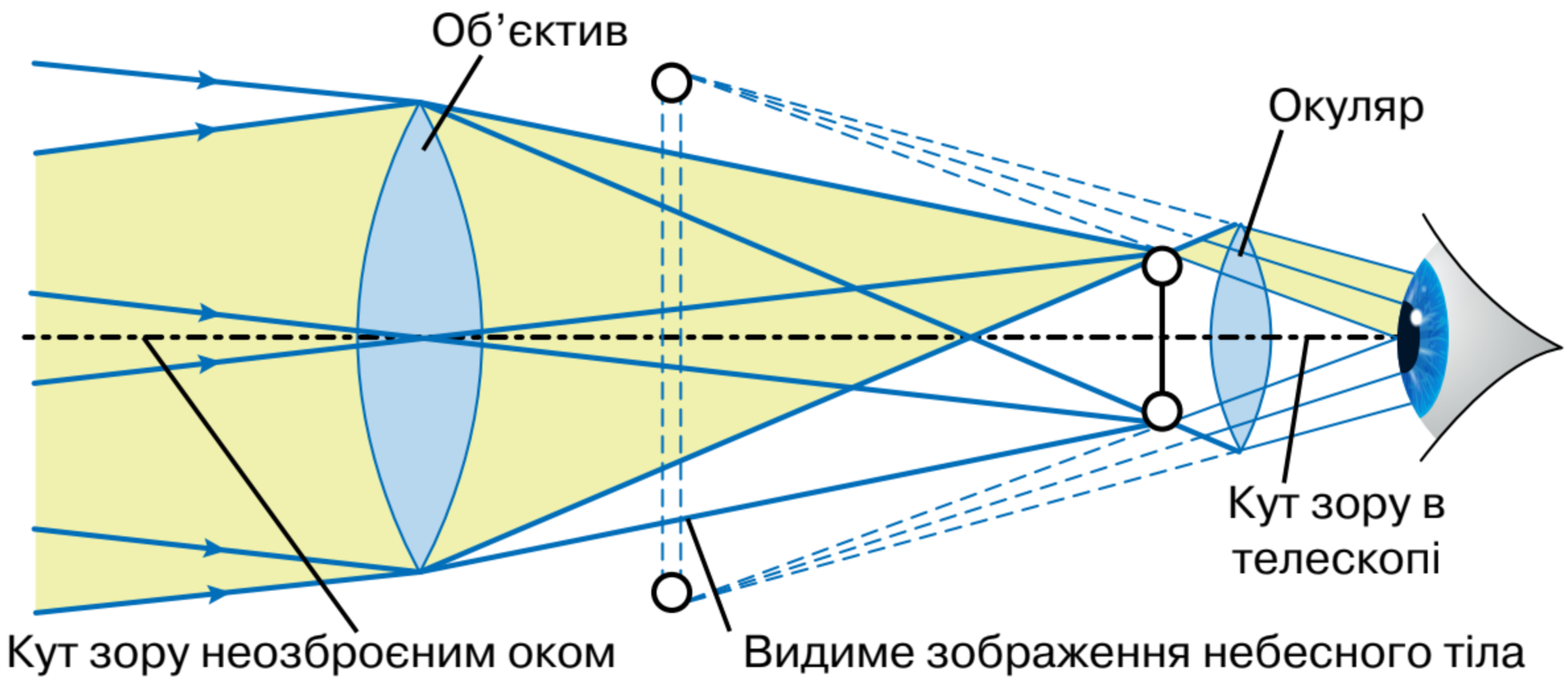
Відомості про космічні об'єкти дістають за допомогою телескопів (*telescope*). Є два основні типи телескопів: телескопи-рефрактори (на основі лінз) та телескопи-рефлектори (на основі дзеркал).

Телескоп не тільки допомагає розрізняти об'єкти, розміщені на близькій кутовій відстані[1] один від одного, а й дає змогу спостерігати дуже слабкі джерела світла завдяки тому, що об'єктив збирає широкий пучок променів (мал. 27.8, с. 166).

Головні й основні частини телескопа, як і мікроскопа, — об'єктив і окуляр. Але на відміну від мікроскопа об'єктив телескопа має велику фокусну відстань, а окуляр — малу. Відстань між об'єктивом та окуляром дорівнює сумі їх фокусних відстаней.

Довгофокусний об'єктив має великий діаметр, він збирає значну кількість світла від далекого світила і створює у фокусі майже чітке

[1] *Кутовою відстанню* між двома точками сфери є кут між радіусами, проведеними в ці точки.




Мал. 27.8

зменшене, обернене зображення об’єкта. І хоча зображення є сильно зменшеним, воно розташоване набагато ближче, ніж сам предмет. Таким чином, об’єктив телескопа, на відміну від об’єктива мікроскопа, має велику фокусну відстань. І чим більша ця відстань, тим сильніше він «наближає» об’єкт.

Через окуляр телескопа, так само як і через окуляр мікроскопа, це зображення розглядається як через лупу.

Фотоапарати донедавна були найбільш відомими у побуті оптичними пристроями. Сьогодні фотографії ти отримуєш за допомогою фотокамер, вбудованих у мобільний телефон. Основна частина фотокамер — об’єктив. Він може складатися з кількох лінз, які дають можливість отримати чітке зображення.

Проєційна техніка слугує для отримання збільшених зображень об’єктів. Головною частиною проєкційної апаратури також є об’єктив, який може складатися із системи лінз.

**ДУМАЙ**

**1.** Чим розсіювальна лінза відрізняється від збиральної? **2.** Чому фокус розсіювальної лінзи називають уявним? **3.** Що таке оптична сила лінзи? Як її визначають? **4.** Які промені зручно використовувати для побудови зображення, одержаного за допомогою лінзи? **5.** Від чого залежить характер зображень, одержаних за допомогою збиральної лінзи? **6.** Які фізичні величини пов’язує формула тонкої лінзи? **7.** Яких правил слід дотримуватися, застосовуючи формулу тонкої лінзи? **8.** Які принципи дії мікроскопа та телескопа? **9.** Назви відомі тобі предмети, які містять лінзи.

ДІЙ

## УЧИСЬ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ЗАДАЧІ

**Задача.** За допомогою лінзи з фокусною відстанню 20 см на екрані одержали зображення предмета. Відстань від лінзи до зображення — 1 м. На якій відстані від лінзи знаходиться предмет? Яким буде зображення?

**Дано:**

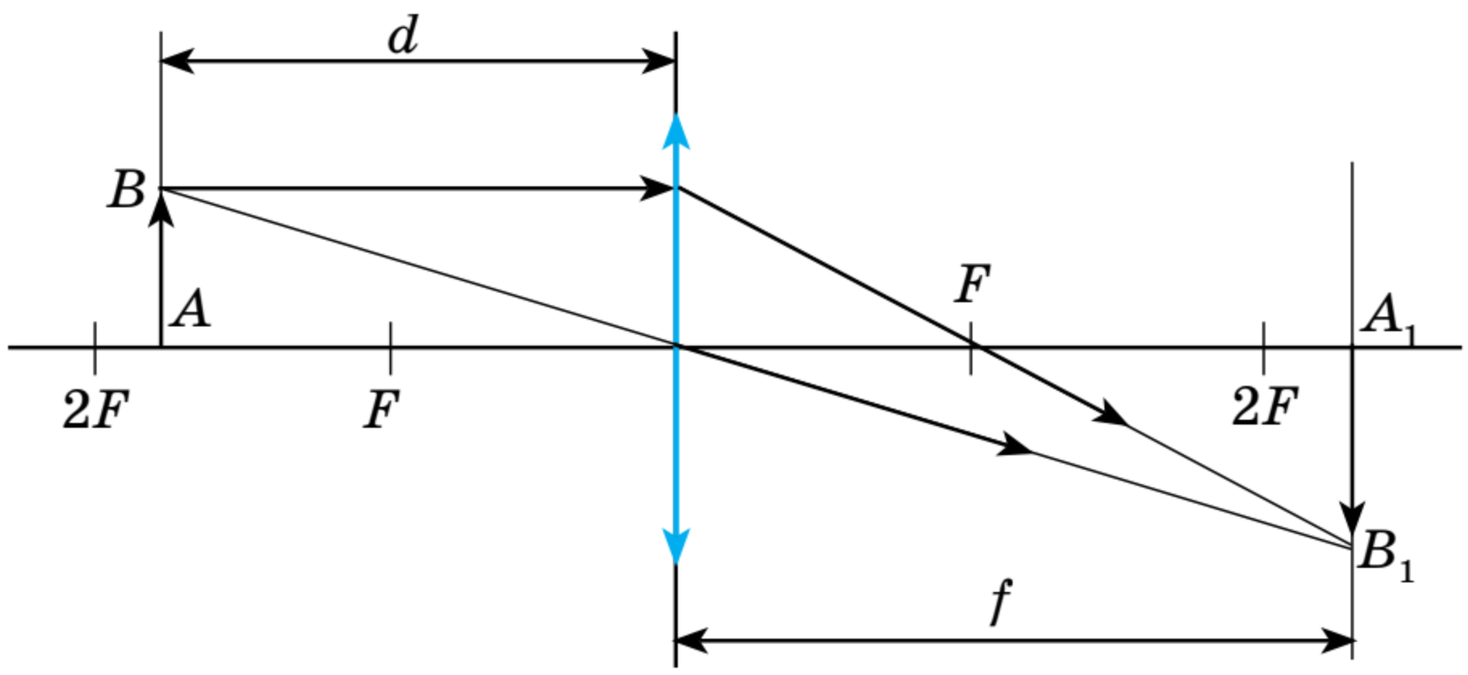
$F = 0{,}2$ м

$f = 1$ м

$d$ — ?

**Розв'язання:**

Оскільки зображення одержано на екрані, то лінза збиральна. Виходячи з умови задачі, $f > 2F$ і аналізуючи можливі види зображень від збиральної лінзи (мал. 27.9), з'ясовуємо: предмет знаходиться між фокусною і подвійною фокусною відстанню. Зробимо креслення (мал. 27.9).




Мал. 27.9

Значення $d$ визначимо з формули тонкої лінзи: $\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}$, враховуючи, що всі величини додатні.

$$\frac{1}{d} = \frac{1}{F} - \frac{1}{f};\ \frac{1}{d} = \frac{f - F}{Ff};\ d = \frac{Ff}{f - F};\ d = \frac{0{,}2\text{ м} \cdot 1\text{ м}}{1\text{м} - 0{,}2\text{ м}} = 0{,}25\text{ м}.$$

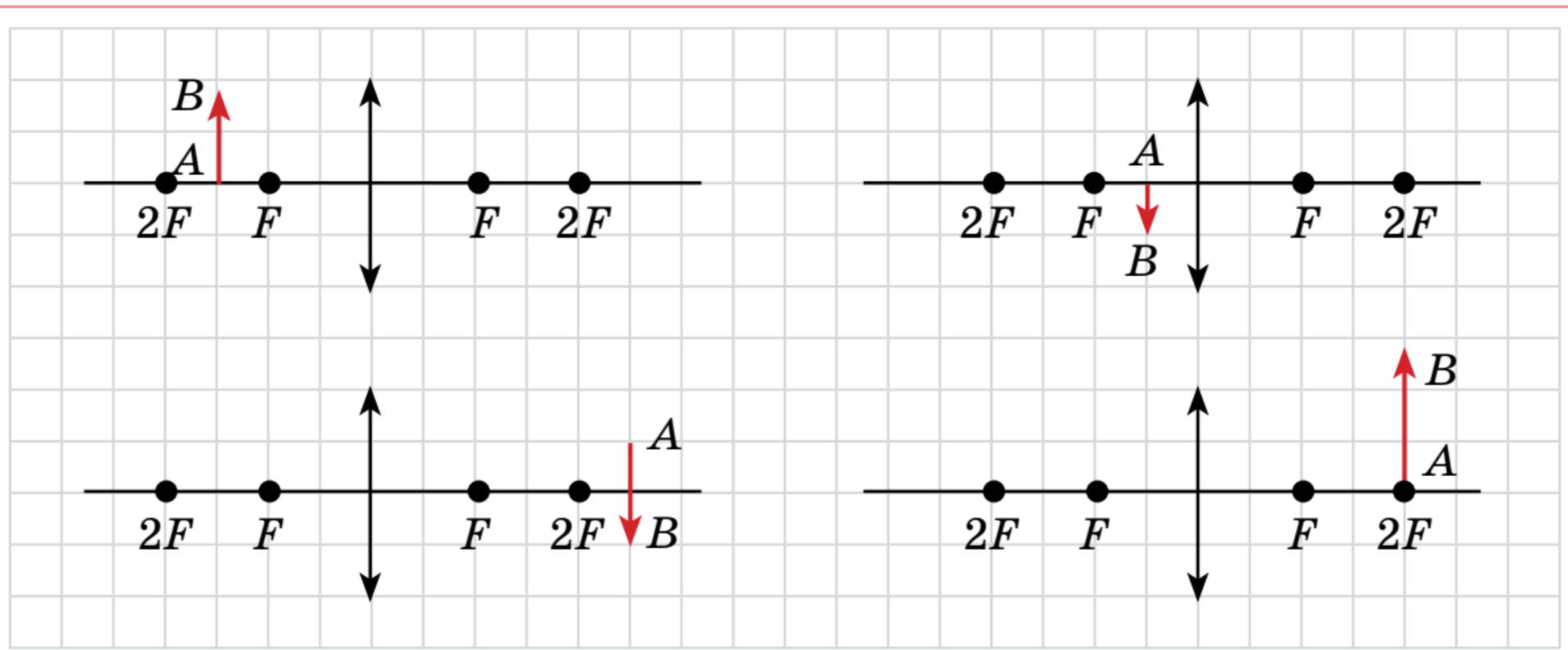
**Відповідь:** 0,25 м.

## РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

1. Відстань від предмета до збиральної лінзи — 15 см. Фокусна відстань лінзи 20 см. Визнач відстань від зображення до лінзи.
2. Предмет розташовано на відстані 1 м від лінзи. Уявне зображення предмета розташоване на відстані 25 см від лінзи. Визнач оптичну силу лінзи. Якою є ця лінза — збиральною чи розсіювальною?
3. Якщо відстань від предмета до лінзи 36 см, то висота зображення 10 см. Якщо предмет наблизити до лінзи так, щоб відстань між ними

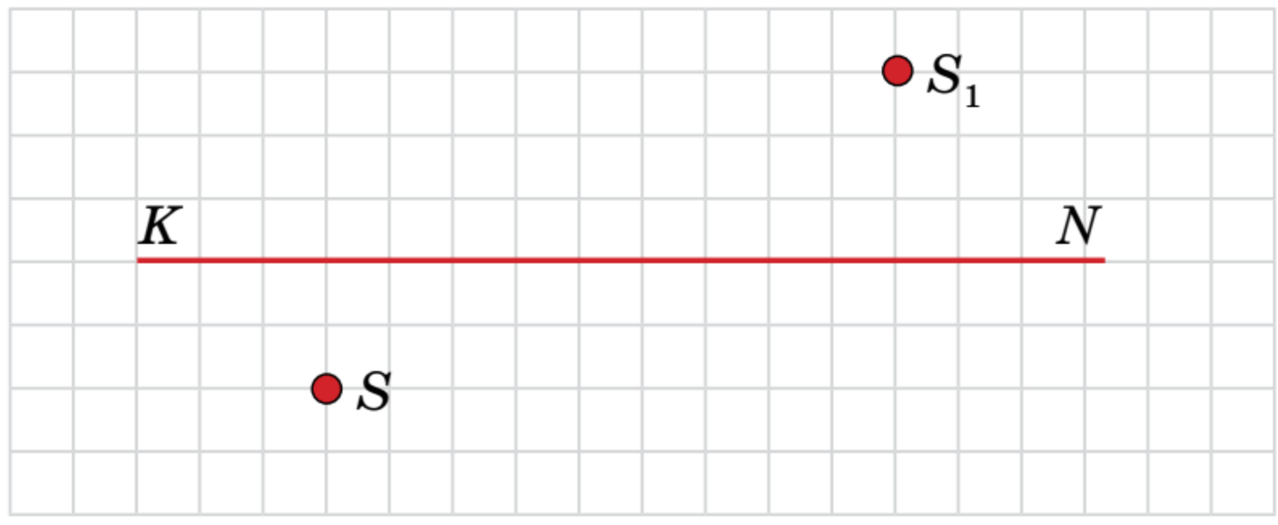
стала 24 см, то висота зображення стане 20 см. Визнач фокусну відстань лінзи.

**4** Накресли малюнок 27.10 у зошиті і для кожного випадку побудуй зображення предмета $AB$ у збиральній лінзі. Схарактеризуй одержані зображення.




Мал. 27.10

**5** На малюнку 27.11 показано головну оптичну вісь ($KN$) лінзи, світну точку $S$ та її зображення $S_1$. Накресли малюнок у зошиті, за допомогою відповідних побудов визнач розташування оптичного центра та фокусів лінзи. Визнач тип лінзи і тип зображення.




Мал. 27.11

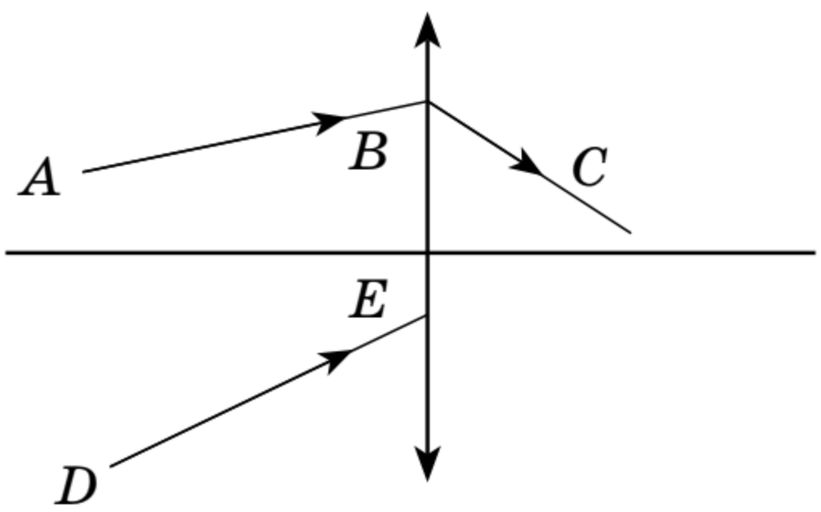
**6** Відстань від уявного зображення предмета до збиральної лінзи, оптична сила якої 2 дптр, дорівнює 0,4 м. Визнач відстань від лінзи до предмета.

**7** Свічка стоїть на відстані 12,5 см від збиральної лінзи, оптична сила якої становить 10 дптр. На якій відстані від лінзи розташоване зображення і яким воно буде?

**8** За допомогою лінзи на екрані отримали чітке зображення предмета. Визнач оптичну силу лінзи, якщо предмет розташовано на відстані 60 см від лінзи. Відстань між предметом та екраном дорівнює 90 см.

**9** На малюнку 27.12 зображено хід променя $AB$ до лінзи і після заломлення в лінзі $BC$. Побудуй подальший хід променя $DE$.

**10** Симетричну лінзу розрізали точно навпіл по площині симетрії. Яку частину початкової оптичної сили матимуть дві утворені лінзи?




Мал. 27.12

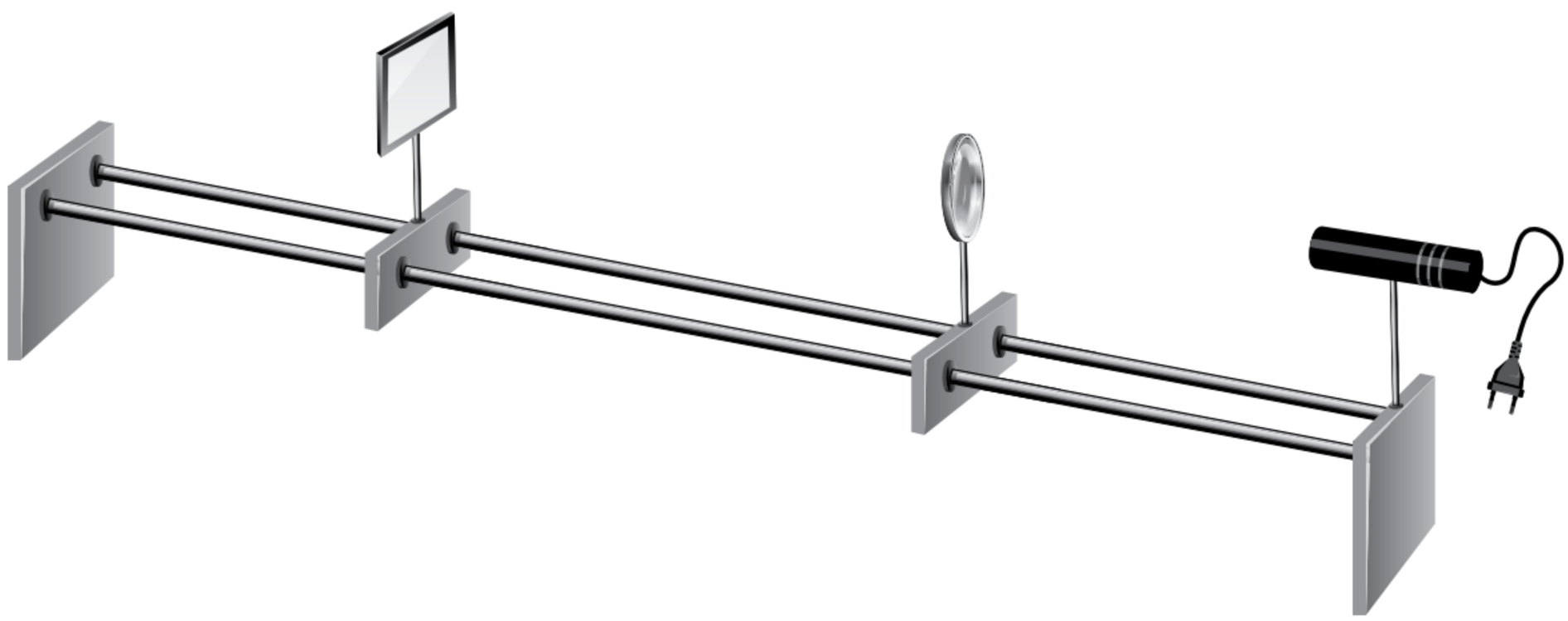
## ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

**Виконуй досліди з дотриманням правил безпеки життєдіяльності!**

**1** Експериментально визнач фокусну відстань збиральної лінзи та обчисли її оптичну силу.

*Обладнання*: оптична лава з лінзою та екраном, джерело світла (ліхтарик, лазерна указка, свічка), вимірювальна стрічка.

1. Розмісти на оптичній лаві (а у разі відсутності оптичної лави розміщуй усі предмети на горизонтальній поверхні і проводь вимірювання за допомогою лінійки або вимірювальної стрічки) на однаковій висоті джерело світла, збиральну лінзу в оправі й екран так, як це зображено на малюнку 27.13.



Мал. 27.13

2. Пересуваючи збиральну лінзу, отримай на екрані чітке зображення отвору освітлювача. Виміряй відстані $d$ і $f$. Повтори дослід ще двічі для різних відстаней $l$ між джерелом світла й екраном.

3. Обчисли оптичну силу збиральної лінзи за формулою: $D = \dfrac{d + f}{d \cdot f}$.

**2** Виконай віртуальну лабораторну роботу 27.2 .

## ОПРАЦЮЙ ІНФОРМАЦІЮ

### Візьми участь у груповій роботі

Об’єднайтесь у групи. Оберіть тему й виконайте інформаційний проєкт.

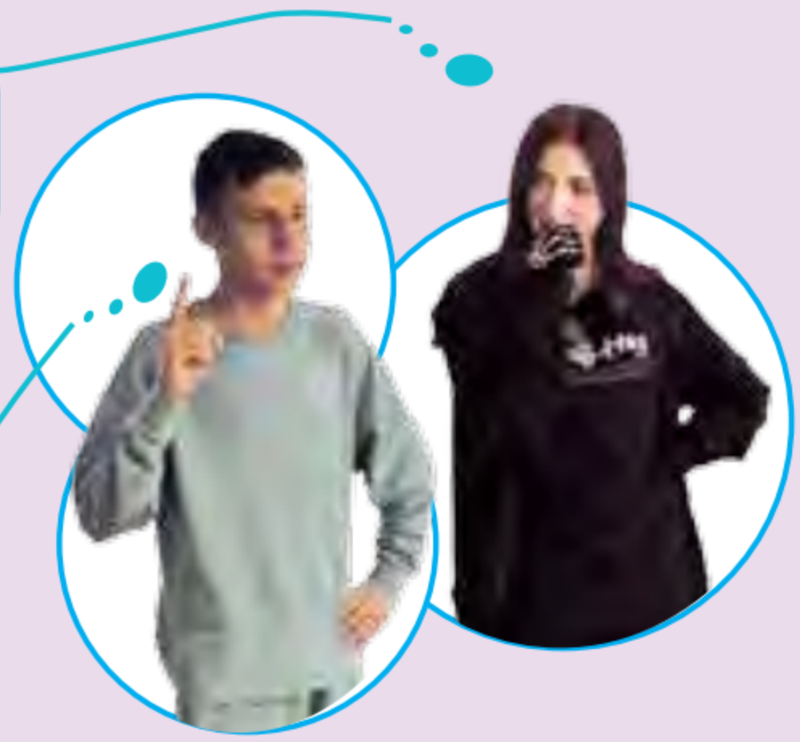
1. Історія розвитку телескопів (від Галілея до Хаббла).
2. Дослідження об’єктів мікро- і мегасвіту.

27.3

# § 28. ДОСЛІДЖУЄМО ФОТОМЕТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СВІТЛА

Хочу налаштувати яскравість екрана. Ось ще раз натисну, і буде все люкс.

Чому люкс? У люксах вимірюють освітленість, а не яскравість.



## ДОСЛІДЖУЙ

Розсуди, хто правильно вказав фізичну величину і її одиницю. Завантаж на телефон програму для вимірювання освітленості (Lux Meter, Light Meter, Light Meter — Lux/FC). Спрямовуй на екран телефона різні джерела світла. Які одиниці освітленості? Які ще особливості вимірювання освітленості ти спостерігав / спостерігала?

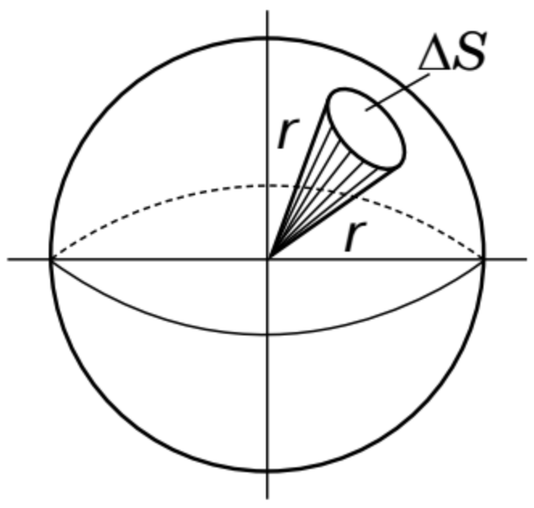
## ДІЗНАВАЙСЯ

***Про енергетичні та фотометричні характеристики світла.*** До цього часу ми практично не досліджували світло за його енергетичними характеристиками. Енергія світла, яка передається навколишнім тілам, може перетворюватися на теплову, хімічну, електричну енергію. Твоє око є приймачем енергії світла. Енергія світла, яка потрапляє в очі, створює зорові відчуття. Тому очевидною є важливість розгляду енергетичних характеристик світла, що ґрунтуються на безпосередньому сприйманні світла оком.

Розрізняють енергетичні величини, що характеризують будь-яке випромінювання, та відповідні їм фотометричні величини, які враховують зорові відчуття людини.

| Енергетична величина | Одиниця величини | Фотометрична величина | Позначення | Одиниця величини |
|---|---|---|---|---|
| Енергія випромінювання | Дж | Світлова енергія | $W$ | лм · с (люмен на секунду) |
| Потік випромінювання (потужність випромінювання) | Вт | Світловий потік | $\Phi$ | лм (люмен) |
| Поверхнева густина потоку випромінювання | Дж/м$^2$ | Освітленість | $E$ | лк (люкс) |
| Сила випромінювання | Вт/ср* | Сила світла | $I$ | кд (кандела) |
| Енергетична яскравість | Вт/(ср · м$^2$) | Яскравість | $L$ | кд/м$^2$ |

* ср — стерадіан, одиниця тілесного кута, який визначається відношенням площі $\Delta S$ до квадрата радіуса $r$ сфери




Розглянемо ці величини детальніше.

Кожне джерело світла випромінює видиме світло у навколишній простір. Щоб оцінити, яка кількість світлової енергії падає від джерела на будь-яку поверхню за певний інтервал часу, вводять поняття світлового потоку.

**Світловий потік**, $\Phi$ (*luminous flux*) — це фізична величина, яка визначається кількістю світлової енергії (за зоровим відчуттям), що потрапляє на поверхню за одиницю часу: $\Phi = \frac{W}{t}$.

28.1

Одиницею світлового потоку є 1 люмен (1 лм).

Світловий потік від нічного зоряного неба, що потрапляє на зіницю ока, становить $\Phi = 0{,}000000001$ лм, а від полуденного Сонця — $\Phi = 8$ лм.

Світловий потік, як і потік енергії, можна вимірювати у ватах, оскільки він фактично визначає потужність випромінювання, яке падає

на певну поверхню. Проте наше око має різну чутливість, залежно від кольору світла. Так, наприклад, потік оранжевих променів потужністю 1 Вт створює зорове відчуття такої самої інтенсивності, як потік зелених променів потужністю 0,5 Вт. Експериментально встановлено, що світловому потоку хвиль зеленого кольору в 1 лм відповідає потужність 0,0016 Вт. Установити універсальну залежність між ватом і люменом не вдається.

Одні джерела світла можуть його випромінювати рівномірно в усіх напрямах (наприклад, Сонце), а інші (прожектор або ліхтарик) випромінюють світло сконцентровано в одному напрямі. Для оцінки просторового розподілу світлового потоку від джерела світла застосовується така фізична величина, як сила світла. Позначається літерою $I$.

Одиницею сили світла є 1 кандела (1 кд). Вона входить до основних одиниць Міжнародної системи одиниць (СІ).

У таблиці наведено значення сили світла деяких джерел.

**Сила світла, $I$** (*power of light*) — фізична величина, яка визначає величну світлового потоку у певному напрямі. Якщо джерело випромінює видиме світло рівномірно в усіх напрямах, то сила світла обчислюється за формулою: $I = \frac{\Phi}{4\pi}$.

28.2

| Джерело світла | Сила світла, кд | Джерело світла | Сила світла, кд |
|---|---|---|---|
| Сонце | $\approx 3 \cdot 10^{27}$ кд | Прожектор | $\approx 8 \cdot 10^{8}$ кд |
| Маяк | $\approx 1 \cdot 10^{5}$ кд | Фара автомобіля (дальнє світло) | ≈12 000 кд |
| Фара велосипеда | ≈60 кд | Лампа ліхтарика | ≈0,5–3 кд |
| Свічка | ≈0,5–2 кд | Світлячок | ≈0,01–0,001 кд |

Чи читаєш книгу, чи пишеш, завжди твоє робоче місце має бути певним чином освітлене. Всім відомо, наприклад, що читання при слабкому світлі втомлює око. Також втомлюється око при дуже сильному світлі. Але слабке чи сильне світло — поняття неточні. Щоб визначити, як освітлено поверхню, вводиться поняття освітленості. Освітленість позначається символом $E$.

**Освітленість, $E$** (*light*) — це фізична величина, яка показує, який світловий потік падає на одиницю поверхні: $E = \frac{\Phi}{S}$.

28.3

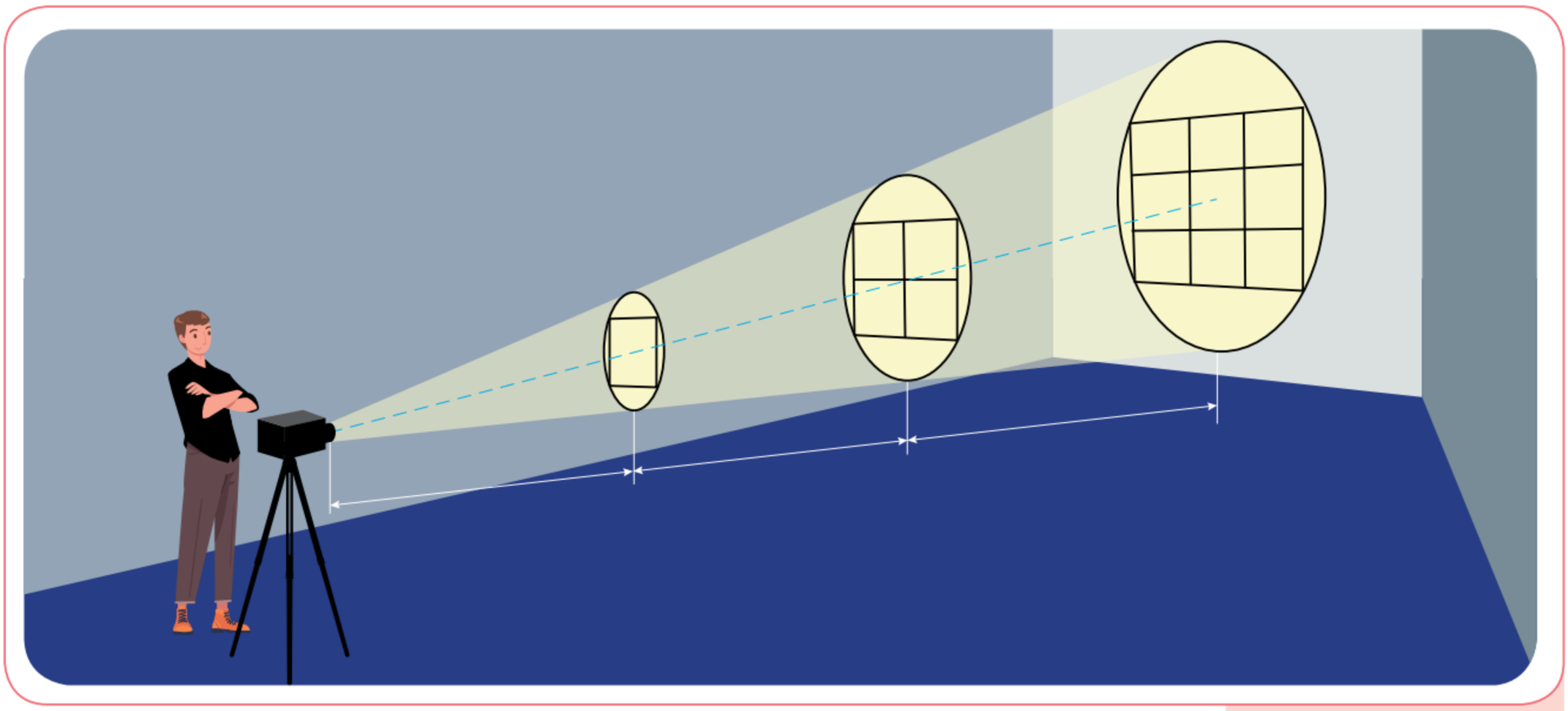
Одиницею освітленості є 1 люкс (1 лк).

Наші очі пристосовуються до різної освітленості. Освітленість на відкритій місцевості в сонячний день може сягати до 100 000 лк, а вно-

чі при повному Місяці — всього 0,2 лк. Для читання книги необхідна освітленість 60 лк.

Можливо, тобі доводилося певним чином змінювати освітленість твого робочого місця. Як ти це робив / робила? Можна нахилити лампу нижче до поверхні стола або замінити лампу потужнішою — освітленість щоразу змінюватиметься. З'ясуємо чому.

Нехай, наприклад, світловий потік від точкового джерела падає на екран (мал. 28.1).

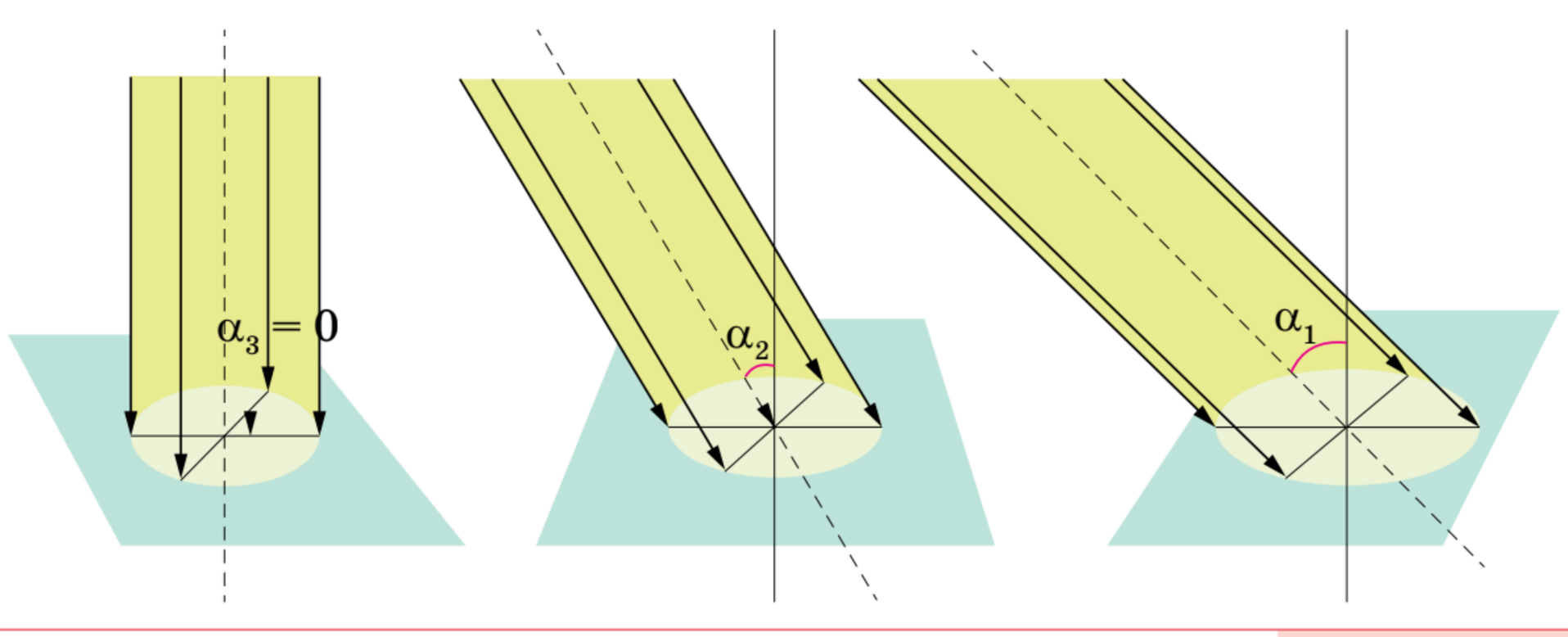


Мал. 28.1

Світло на одиничній відстані від джерела освітлює одиничну поверхню.

Якщо збільшити відстань у 2 рази, то світло освітить поверхню, у 2 рази більшу. Якщо збільшити відстань у 3 рази, освітлювана поверхня збільшиться у 3 рази.

Освітленість змінюється і у випадку, якщо світло падає на поверхню під різними кутами (мал. 28.2).

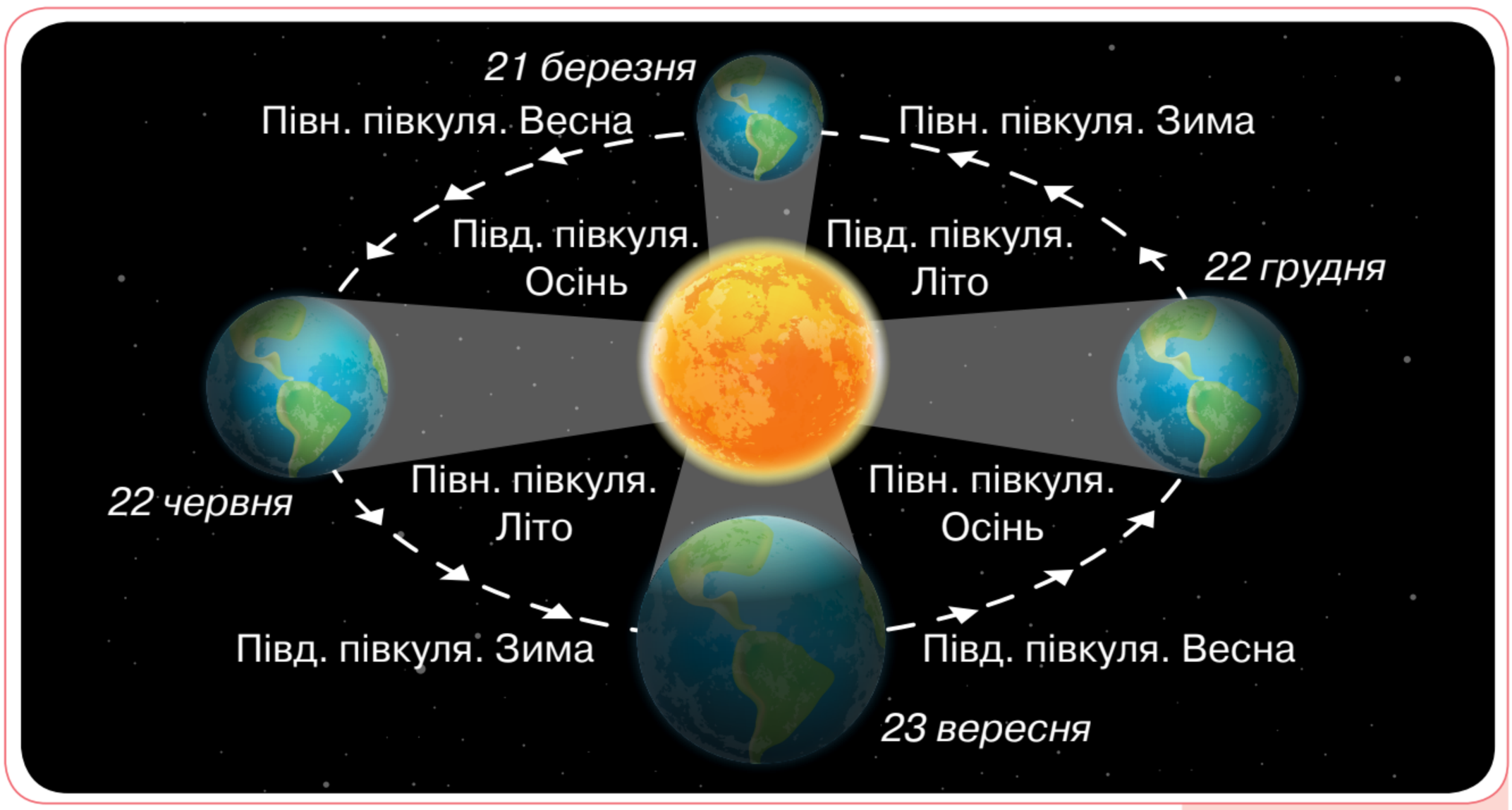



Мал. 28.2

У випадку перпендикулярного падіння променів освічується певна площа поверхні. Якщо відхиляти промені від вертикального напряму, то площа освіченої поверхні збільшується, отже, освітленість зменшується.

Освітленість поверхні точковим джерелом світла обернено пропорційна квадрату відстані від джерела до цієї поверхні і залежить від кута падіння світлового променя.

У цьому ти переконуєшся щодня. Адже вранці й увечері сонячні промені ковзають вздовж поверхні Землі і слабо її освітлюють та нагрівають. Вдень, коли Сонце стоїть майже вертикально до Землі, вона отримує значно більше світла і тепла. Унаслідок одержання різної кількості сонячної енергії змінюються пори року (мал. 28.3).




Мал. 28.3

*Закони освітленості*:

- з віддаленням джерела освітленість зменшується обернено пропорційно квадрату відстані;
- освітленість, яку створюють кілька джерел світла в деякій точці поверхні, дорівнює сумі освітленостей, створюваних кожним джерелом окремо.

**Яскравість** (*brightness*) джерела світла показує, наскільки сильно світиться одиниця площі його поверхні в певному напрямі. Це кількісна характеристика, яка враховує:

- світловий потік, який випромінює джерело;
- площу випромінюючої поверхні;
- напрям спостереження.

Якщо ти дивишся на ввімкнений екран телефону та на маленьку LED-лампу однакової сили світла, лампа здається набагато яскравішою, тому що та сама сила світла випромінюється з набагато меншої площі. Таким чином, для характеристики самого джерела світла найбільш інформативними є сила світла та яскравість. Для регулювання

28.4

яскравості екрана твого телефону в ньому вбудовано датчик освітленості (який зазвичай знаходиться біля фронтальної камери).

**ДУМАЙ**

**1.** Що називають світловим потоком? Силою світла? Освітленістю? **2.** Як можна збільшити освітленість певної поверхні? **3.** Чому на екваторі завжди тепліше, ніж у середніх широтах? **4.** За яких умов утворюються льодяні бурульки на дахах будинків?

**ДІЙ**

## ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

**Виконуй досліди з дотриманням правил безпеки життєдіяльності!**

### Візьми участь у груповій роботі

Об'єднайтеся у групи та виконайте одне із досліджень. Результатами поділіться з однокласниками й однокласницями.

**1** Виміряйте освітленість у різних точках і з'ясуйте, від чого вона залежить.

*Обладнання*: джерело світла (лампа / ліхтарик смартфона), лінійка або рулетка, люксметр або застосунок-люксметр у смартфоні, аркуш білого паперу (як поверхня, на яку падає світло).

Закріпіть ліхтарик так, щоб він світив горизонтально на аркуш паперу. Виміряйте відстань від джерела світла до аркуша (наприклад 10 см, 20 см, 30 см, 40 см). На кожній відстані виміряйте освітленість $E$. Побудуйте графік залежності $E(d)$.

Покладіть аркуш під кутом $0^\circ$ (перпендикулярно до променя), потім нахиліть його приблизно на $60^\circ$. Вимірюйте щоразу освітленість $E$. Порівняйте значення при $0^\circ$ і $60^\circ$.

**2** Оцініть світловий потік від джерела світла.

*Обладнання*: те саме, що в досліді 1.

Розмістіть лампу на фіксованій відстані (наприклад 20 см) від площини картону (квадрат 20 × 20 см). Виміряйте освітленість $E$ в центрі картону. Обчисліть світловий потік, що падає на цю поверхню: $\Phi_{\text{падаючий}} \approx E \cdot S$, де $S$ — площа картону в м$^2$, $E$ — у люксах. (Уточнення: це не «повний» світловий потік лампи, а лише та частина, яка реально потрапляє на квадрат.) Обчисліть $\Phi$ для різних відстаней і порівняйте отримані значення. Поясніть причини розбіжності значень.

**3** Порівняйте дві лампи / два ліхтарики за спрямованістю випромінювання.

*Обладнання*: два різні джерела світла (наприклад, звичайний ліхтарик і ліхтарик з фокусованим променем), люксметр, рулетка, темне приміщення або затемнена коробка.

Закріпіть люксметр на певній відстані (наприклад 1 м). Посвітіть першим ліхтариком строго вздовж осі прямо на люксметр, запишіть $E_1$. Не змінюючи положення, посвітіть другим ліхтариком, запишіть $E_2$. Порівняйте $E_1$ і $E_2$. Поясніть причини розбіжності значень.

**4** Порівняйте яскравість різних поверхонь / екранів.

*Обладнання*: екран смартфона або ноутбука з регульованою яскравістю; білий аркуш паперу, добре освітлений настільною лампою; люксметр.

Покладіть люксметр упритул до екрана смартфона (білий фон на екрані). Виміряйте покази — це умовне значення, пропорційне яскравості екрана. Увімкніть максимальну яскравість дисплея. Виміряйте покази.

Спрямуйте світло від лампи на білий аркуш паперу і зробіть той самий контактний замір люксметром від відбитого світла. Порівняйте значення. Зробіть висновок: який об'єкт має більшу яскравість поверхні.

## ОПРАЦЮЙ ІНФОРМАЦІЮ

Підготуй інформаційний проєкт «Фізика, біологія, біохімія та фізіологія зору. Інерційність зору».

Дізнайтесь із додаткових джерел про Гевдіг Кон (1887–1964) — німецько-американську фізикиню, піонерку в галузі радіометрії — науки про вимірювання інтенсивності випромінювання.

28.5

# § 29. ДОСЛІДЖУЄМО ХВИЛЬОВІ ВЛАСТИВОСТІ СВІТЛА



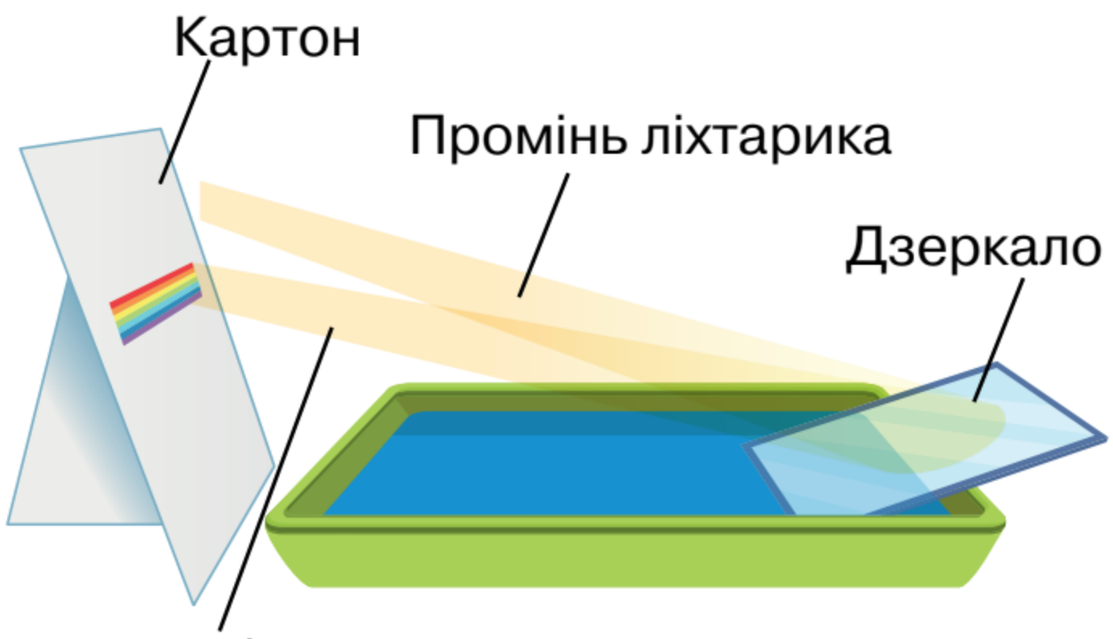
Я умію отримувати веселку із білого світла.

А я умію із кольорів веселки робити біле світло.

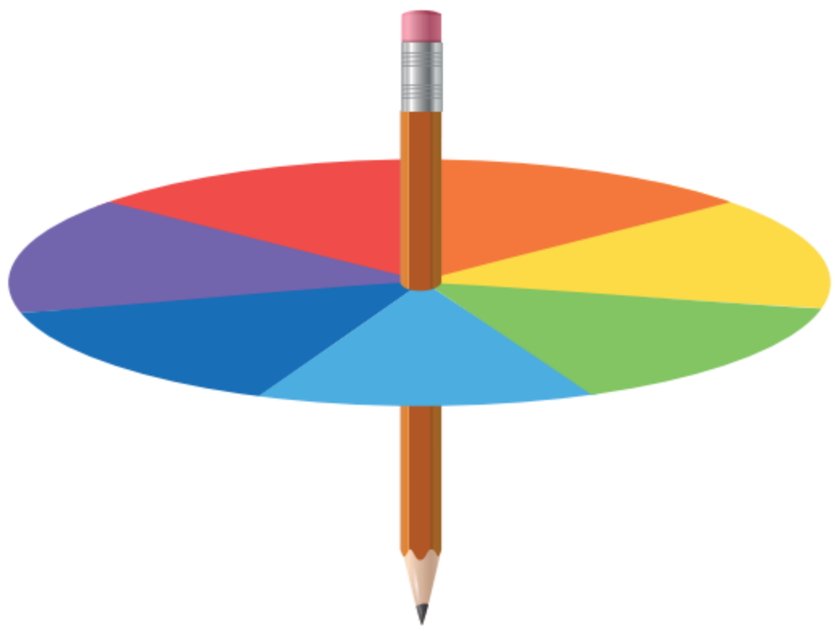


## ДОСЛІДЖУЙ

**1** Отримай веселку. Для цього тобі потрібні ванночка з водою, дзеркало, білий картон та ліхтарик. Спрямуй пучок світла ліхтарика на край дзеркала, що занурений у воду. Спостерігай веселку на білому картоні (мал. 29.1).




Мал. 29.1



Мал. 29.2

**2** Сховай веселку. Розфарбуй у кольори веселки картонне кружальце та настроми його на олівець (мал. 29.2). Обертай цю саморобну дзиґу. Спостерігай за зміною забарвлення.

## ДІЗНАВАЙСЯ

***Звідки беруться кольори?*** Перший крок до розгадки кольору зробив Ісак Ньютон. Удосконалюючи телескопи, він звернув увагу на те, що зображення, яке дає об'єктив, по краях забарвлене. Зацікавившись цим явищем, він перший «дослідив різноманітність світлових променів і зумовлені цим особливості кольорів, про які до того часу ніхто й гадки не мав» (ці слова написано на могилі І. Ньютона).

Зробивши маленький отвір у шторі, Ньютон підставив під вузький пучок світла трикутну скляну призму. На протилежній стіні з'явилася красива кольорова смуга. Цю смугу І. Ньютон назвав *спектром* (від латинського *spectrum* — марево) (мал. 29.3).



Мал. 29.3

Закриваючи отвір червоним склом, І. Ньютон бачив на стіні лише червону пляму, закриваючи синім склом — синю. Отже, біле світло — складне. Із нього можна виділити світлові пучки різних кольорів, і лише їх спільна дія створює враження білого кольору.

Поява кольорового спектра внаслідок проходження білого світла крізь призму обумовлена його хвильовою природою.

Пригадаймо явище заломлення світла (§ 26): при переході із одного середовища в інше швидкість поширення світла змінюється, що призводить до зміни напряму поширення світла (заломлення). Ми нехтували хвильовою природою світла і користувалися поняттям «промінь». Насправді ж світло — це набір електромагнітних хвиль, які у вакуумі поширюються зі сталою швидкістю. У середовищі швидкість поширення хвиль змінюється, оскільки під їх дією збуджуються електрони в атомах. Якщо частота хвилі близька до власних частот коливань електронів у речовині, то швидкість поширення змінюється для різних довжин хвиль. Тобто в одному і тому самому середовищі хвилі, що мають різну довжину хвилі, поширюватимуться із різними швидкостями, а отже, і заломлюватимуться по-різному. Оскільки абсолютний показник заломлення світла в певному середовищі $n$ визначається відношенням швидкості світла у вакуумі $c$ до швидкості світла у цьому середовищі $v$: $n = c/v$, то в одному і тому самому середовищі він буде неоднаковим для різних довжин хвиль. Хвилі різних довжин заломлюватимуться по-різному: найбільше заломлюються фіолетові, а найменше — червоні, бо червона хвиля поширюється з найбільшою швидкістю, а фіолетова — з найменшою. Це явище називають дисперсією.

**Дисперсія** (*dispersion*) — це явище залежності показника заломлення світла від його довжини хвилі (кольору).

Іншими словами, різні кольори (довжини хвиль) світла заломлюються по-різному, коли проходять через одну й ту саму оптичну речовину (наприклад, скло або воду).

29.1

Рекомбінувати (тобто знову об'єднати) спектр у біле світло можна, якщо створити умови, за яких усі складові кольори спектра знову зливаються в один потік.

Так, у досліді із заломлення білого світла при проходженні крізь скляну пластинку із паралельними гранями ми не спостерігали дисперсії. Пучок білого світла виходить із пластинки паралельно вхідному пучку. Різні кольори (дисперсійні складові) лише трохи зміщуються один відносно одного, але оскільки всі вони паралельні, наше око чи екран сприймає їх як один суцільний пучок білого світла.

Дисперсія спостерігається у лінзах, і це явище відоме як *хроматична аберація*. Лінза не розділяє промені у просторі, як призма. Натомість вона створює кольорові ореоли або розмитість по краях зображення.

Дисперсією світла пояснюється утворення веселки. Вона виникає, коли сонячні промені потрапляють на завісу дощу. Маленькі краплини води, діючи разом подібно до безлічі «призм», заломлюють біле світло і створюють різнокольорове коло (мал. 29.4). Оскільки важливим є також кут падіння сонячних променів, то ми можемо бачити веселку зранку або ввечері, якщо стояти спиною до Сонця. До того ж бачимо лише дугу веселки. Повністю веселку можна побачити із літака.

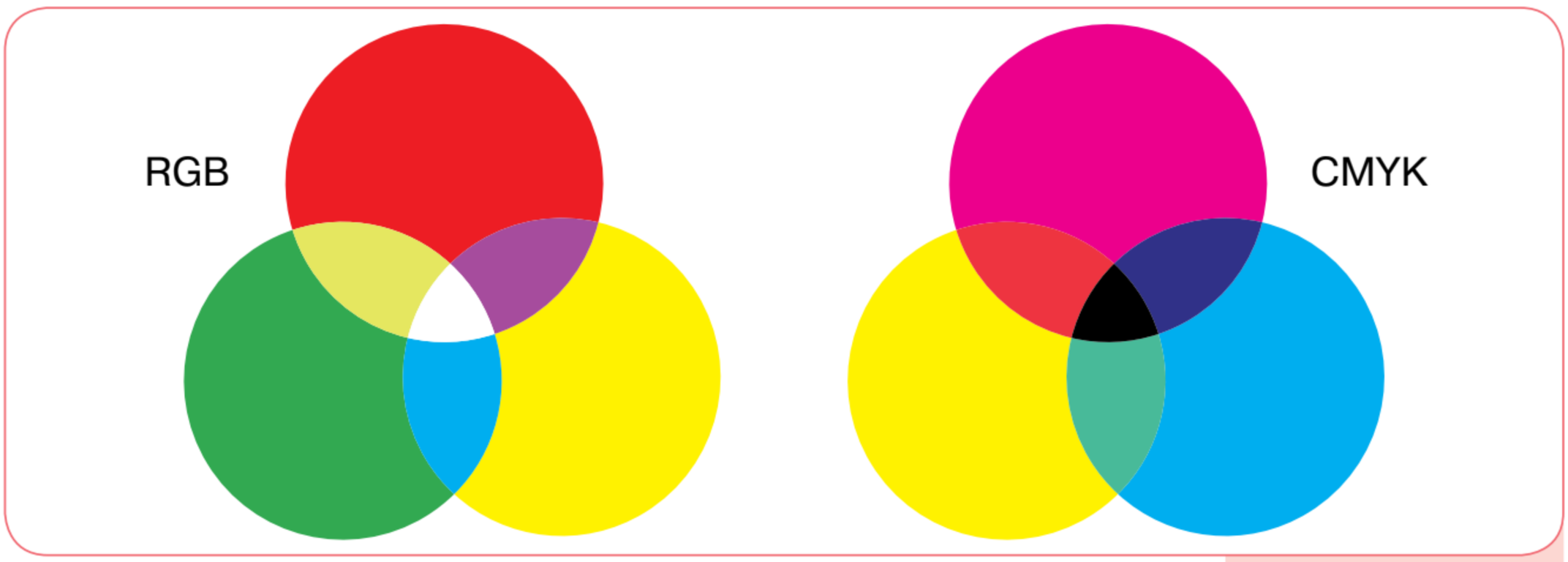



Мал. 29.4

***Досліджуємо особливості кольорів***. У спектрі виділяють сім кольорів світла: червоний, оранжевий, жовтий, зелений, блакитний, синій, фіолетовий. Як ти уже знаєш, світло частково відбивається від фізичних тіл, частково заломлюється і частково поглинається ними. Причому ці процеси залежать від оптичних властивостей матеріалу, із якого складаються тіла, і від кольору хвилі світла. Біла поверхня відбиває однаково хвилі всіх кольорів. Чорна поверхня поглинає всі кольори. Зелена трава відбиває хвилі зеленого кольору, а решту поглинає. Червоні пелюстки троянди відбивають хвилі червоного кольору. Якщо наприклад, освітлювати зелене листя синім кольором, то воно здаватиметься майже чорним, а якщо білий папір — то він буде синім. А от чорна шерсть кота поглинає промені всіх кольорів, тому, хоч яким кольором його освітлюють, кіт однаково здаватиметься чорним.

Хвилі двох різних спектральних кольорів у разі накладання один на одний утворюють інші кольори. Так, спрямувавши на екран оранжевий та зелений промені, дістанемо жовтий. Особливе ж значення для нашого зору мають три основні кольори: червоний, зелений та синій. Накладаючи ці кольори один на інший у різних пропорціях, можна отримувати різні кольори та відтінки. При цьому зелений, червоний і синій кольори не можна одержати комбінацією інших кольорів спектра.

Розглянь малюнок 29.5. Як думаєш, чому в одному випадку в центрі білий колір, в іншому — чорний?




Мал. 29.5

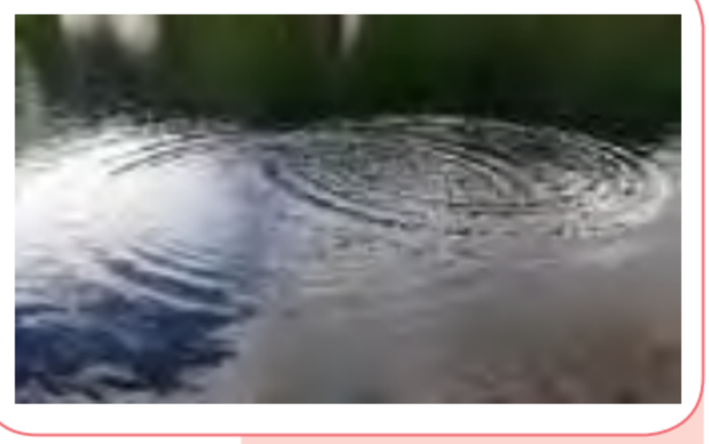
Додаткове (адитивне) змішування RGB (Red, Green, Blue) використовують для джерел світла — екранів, проєкторів, сонячного світла тощо. Віднімальне (субтрактивне) змішування — CMYK (Cyan, Magenta, Yellow, Black) використовують у фарбах, чорнилі, друці. Тут відбувається не додавання світла, а поглинання (віднімання) певних частин спектра.

29.2
29.3

***Дізнаємося про інтерференцію та дифракцію світла.*** Інтерференція та дифракція — це хвильові явища, притаманні всім хвилям: механічним та електромагнітним.

**Інтерференція** (*interference*) — це явище накладання двох і більше хвиль одна на одну, що призводить до посилення хвиль в одних місцях (максимум) і послаблення в інших (мінімум).

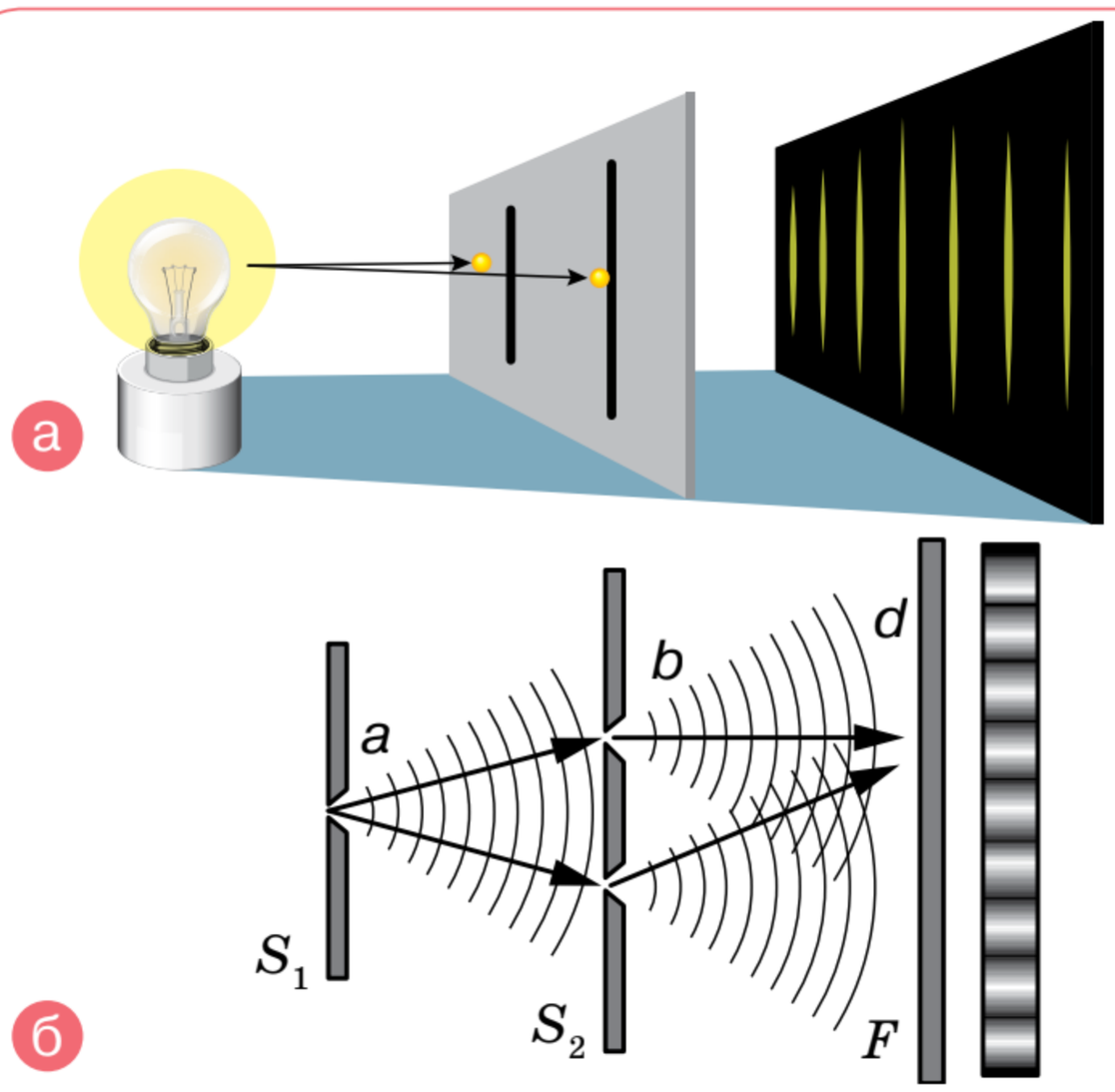
Інтерференцію хвиль можна спостерігати на поверхні води (мал. 29.6).



Мал. 29.6

Очевидно, що хвилі води не будуть інтерферувати з електромагнітними хвилями. Навіть серед подібних типів хвиль ефект зазвичай обмежується хвилями однакової довжини. Тому спостерігати інтерференцію світлових хвиль краще, коли накладаються хвилі від одного і того самого джерела. Наприклад, якщо пропустити світло крізь щілини (мал. 29.7, а, б) або якщо світло відбиватиметься від нижньої і верхньої грані тонкої плівки, як у мильних бульбашках (мал. 29.7, в), або від плівки бензину на калюжі (мал. 29.7, г).

29.4
29.5







Мал. 29.7

Інтерференція світла досить часто пов'язана з дифракцією.

**Дифракція** (*diffraction*) — це огинання світлом перешкод або проходження його через дуже вузькі отвори, коли світло відхиляється від прямолінійного поширення.

Коли ми розглядали утворення тіні, розміри тіл були значно більшими за довжину світлової хвилі. Якщо ж світло проходить через маленьку щілину або огинає дуже малу перешкоду, то краї перешкоди / щілини стають новим джерелом хвиль. Через накладання цих вторинних хвиль на екрані з'являються світлі й темні смуги — дифракційна картина. Наприклад, тінь від волосини під мікроскопом має світлі обідки; на компакт-диску видно кольорові відблиски, зумовлені проходженням світла крізь дрібні щілини.

Ще одне явище пояснюється хвильовими властивостями світла — *поляризація*. Звичайне світло неполяризоване, тобто містить хаотичний набір хвиль, у яких електричний складник коливається в усіх можливих напрямах. За певних умов, наприклад коли світло падає на межу розділу двох діелектриків (наприклад, повітря та скло) під певним кутом, відбите світло стає повністю поляризованим — набором хвиль, у яких електричний складник коливається лише в одному, визначеному напрямі (площині).

Явище поляризації пояснює, чому сонячні відблиски від води або мокрого асфальту можуть бути такими яскравими. Для зменшення відблисків використовують поляризаційні окуляри (поляроїди). У 3D-кінотеатрах для створення об'ємного зображення використовують окуляри, які пропускають світло, поляризоване по-різному для лівого та правого ока. Роботу рідкокристалічних дисплеїв екранів повністю засновано на властивості рідких кристалів повертати площину поляризації світла.

**ДУМАЙ**

1. Який висновок зробив І. Ньютон з дослідів із призмою? 2. Що таке спектр світла і як його отримати? 3. Які промені сильніше заломлюються у склі — червоні чи фіолетові? 4. Що називають дисперсією? 5. Яка фізична причина утворення веселки? Чому її видно лише при певному положенні Сонця? 6. Чому на краях зображень у фотооб'єктивах іноді з'являються кольорові ореоли? 7. Чому предмети мають різне забарвлення? Якщо освітити червоний предмет синім світлом, яким він здаватиметься? Поясни. 8. У чому полягає різниця між інтерференцією та дифракцією? 9. Як можна довести хвильову природу світла за допомогою побутових предметів?

## ДІЙ

## ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

**Виконуй досліди з дотриманням правил безпеки життєдіяльності!**

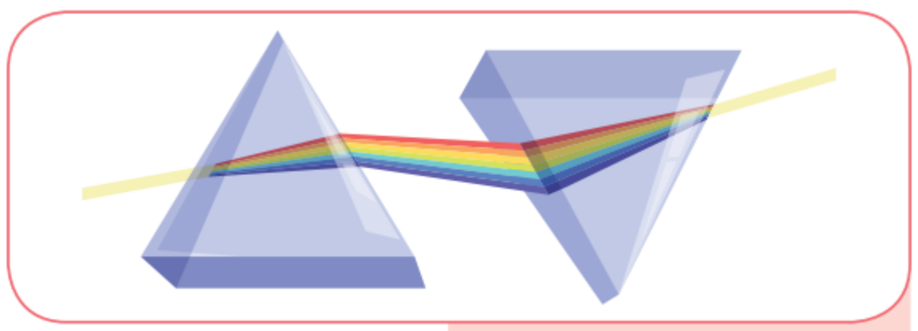
1 Створи порівняльну таблицю «Явище (дисперсія, інтерференція, дифракція) — причина — результат — приклад».

2 Утвори кольори.

*Обладнання*: три ліхтарики, червоне, зелене й синє скельця, білий аркуш, фарби.

Пропускай світло від ліхтариків крізь кольорові скельця. Опиши, які кольори утворюються на перетинах. Здійсни дослід із фарбами такого самого кольору. Які кольори утворилися цього разу?

3 Теоретично рекомбінувати спектр у біле світло можна, якщо після призми, що розкладає біле світло у спектр, поставити таку саму призму, але перегорнуту (мал. 29.8). Перевір це на досліді. Поясни отримані результати.



Мал. 29.8

4 Спостерігай інтерференцію та дифракцію світла.

*Обладнання*: ліхтарик, дві скляні пластинки, трубочка для коктейлю, стакан з розчином мила, кільце дротове з ручкою діаметром 30 мм, компакт-диск.

Склади план спостереження. Проведи досліди. Презентуй результати.

5 Виконай завдання за симуляцією 29.6 .

## ОПРАЦЮЙ ІНФОРМАЦІЮ

Прочитай текст. Чи достовірна ця інформація? Обгрунтуй свою відповідь. Що тобі відомо ще про індиго?

Чи замислювались ви, чому у веселки сім кольорів? Звукова гама із семи нот існує досить давно. Ще Піфагору (582–500 рр. до н. е.) легенда приписує відкриття числових відношень довжин струни, що відповідає різним музикальним звукам. І. Ньютон, досліджуючи оптичний спектр, вирішив виділити також сім основних кольорів. Оскільки в англійській мові синій і блакитний кольори перекладаються одним словом blue, то щоб кольорів було також сім, І. Ньютон змушений був називати синю частину спектра індиго.

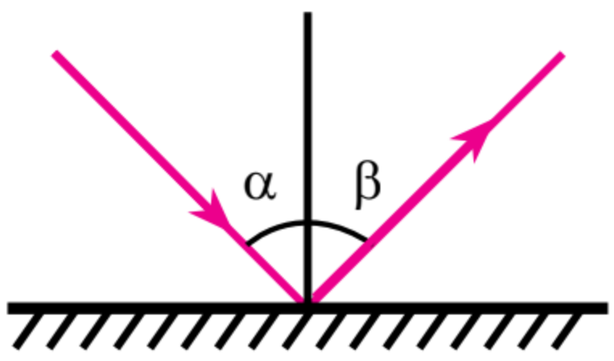
29.7
29.8

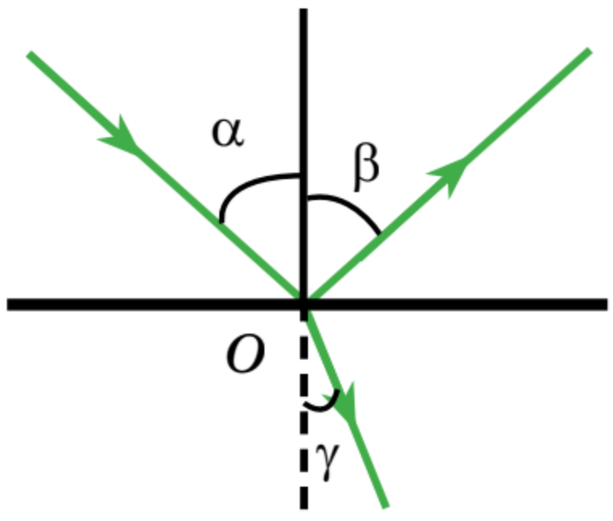
## ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

**1** Ти умієш розрізняти основні властивості світла.

| Явище | Суть | Приклади |
|---|---|---|
| Прямолінійне поширення | В однорідному середовищі світло поширюється прямолінійно | Тіні, затемнення |
| Відбиття | Кут падіння = куту відбиття | Дзеркала, вода |
| Заломлення | Зміна напряму променя при переході між середовищами | Ложка у склянці, міраж |
| Дисперсія | Залежність показника заломлення від довжини хвилі | Спектр, веселка |
| Інтерференція | Накладання хвиль → світлі й темні смуги | Тонкі плівки, мильні бульбашки |
| Дифракція | Огинання хвилями перешкод | Тіні з обідками, кольори на CD |
| Поляризація | Коливання світла в одній площині | Поляризаційні фільтри, окуляри |

**2** Ти умієш застосовувати основні закони геометричної оптики — закон прямолінійного поширення світла, закони відбиття і заломлення світла.




**3** Ти умієш будувати і характеризувати зображення, отримані за допомогою дзеркал і лінз.

**4** Ти умієш розкладати біле світло у спектр. Із основних кольорів світла — червоного зеленого і синього — отримувати білий. А із основних кольорів фарб — блакитної, пурпурової і жовтої — чорний.

**5** Ти розрізняєш основні фотометричні величини.

| Світловий потік, *Ф* | Сила світла, *I* | Освітленість, *E* |
|---|---|---|
| Фізична величина, яка визначається кількістю світлової енергії (за зоровим відчуттям), що потрапляє на поверхню за одиницю часу. | Фізична величина, яка визначає величину світлового потоку у певному напрямі. | Фізична величина, яка показує, який світловий потік падає на одиницю поверхні. |

## ПЕРЕВІР СЕБЕ

### 1 Як ти умієш досліджувати природу

Склади план експериментального визначення оптичної сили лінзи окулярів. Скористайся запитаннями і вказівками.

- ✓ Спрямуй лінзу на віддалений об'єкт (вікно, лампу, Сонце (не дивитись очима!). Переміщуй екран, поки не отримаєш чітке зображення. Обчисли оптичну силу лінзи окулярів.
- ✓ Чи можна за зовнішнім виглядом лінзи визначити, збиральна лінза чи розсіювальна?
- ✓ Чому для розсіювальної лінзи неможливо отримати дійсне зображення на екрані?
- ✓ Яка лінза в окулярах: для короткозорості? для далекозорості?
- ✓ Як визначають оптичну силу лінз для короткозорості?
- ✓ Які наслідки може мати неправильно підібрана оптична сила окулярів?

### 2 Як ти умієш опрацьовувати інформацію

З'ясуй, яку роль відіграють знання про світлові явища у професії, яку ти розглядаєш як можливу для свого майбутнього.

Скориставшись відкритими джерелами (сайти університетів, професійні портали, відеоінтерв'ю з фахівцями), знайди інформацію про те:

- ✓ у яких професійних діях представників обраної спеціальності застосовуються знання про світлові явища;
- ✓ які фізичні формули, закони, правила вони фактично застосовують у роботі;
- ✓ які наслідки може мати помилка у розумінні світлових явищ (ризики, аварії, неточності).

### 3 Як ти усвідомлюєш закономірності природи

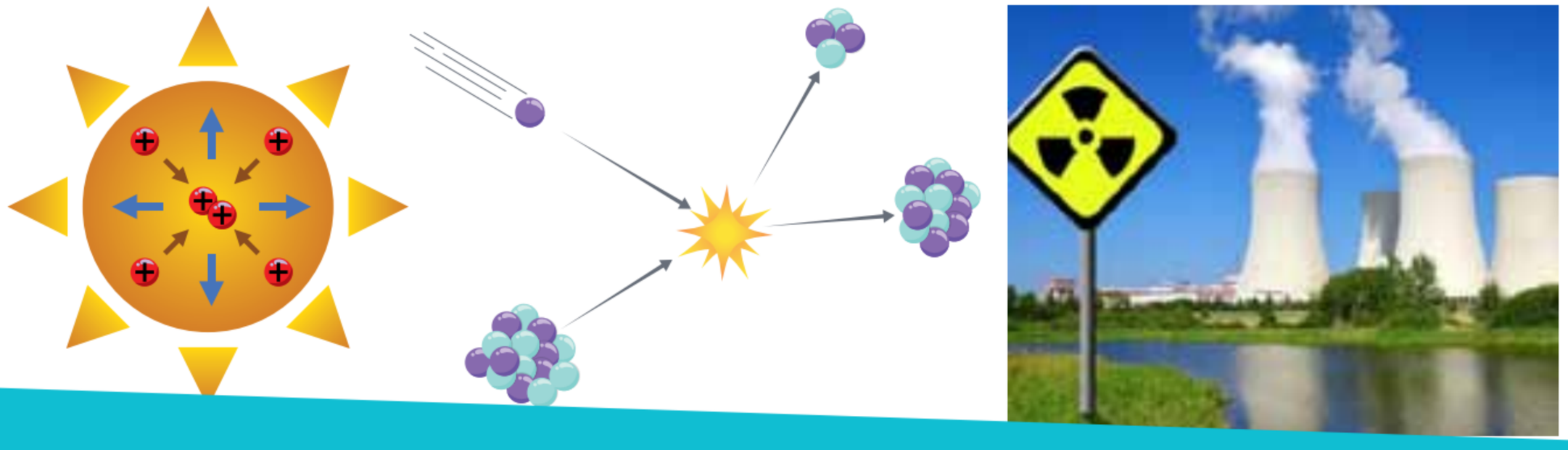
Уяви, що ти працюєш в центрі керування космічними польотами. Тобі потрібно спроєктувати просту камеру-обскуру або телескоп-рефрактор для супутника, який має сфотографувати поверхню Місяця. Основним елементом твоєї оптичної системи є збиральна лінза з оптичною силою $D = 0{,}5$ дптр. Супутник знаходиться на орбіті на висоті $H = 100$ км від поверхні Місяця.

**Завдання для розрахунку**

Обчисли фокусну відстань лінзи твого супутника. У скільки разів ця лінза «сильніша» (або слабша) за кришталик людського ока у стані спокою (приблизно 58 дптр)?

Оскільки Місяць знаходиться дуже далеко від лінзи, де саме утвориться зображення поверхні (на якій відстані $f$ від лінзи)? Зроби висновок: чи можна вважати, що $f \approx F$?

На поверхні Місяця лежить місяцехід, довжина якого становить $L = 3$ м. Обчисли розмір зображення цього місяцехода на матриці камери супутника.



# ТЕМА 4. АТОМНІ І ЯДЕРНІ ЯВИЩА

## ТИ НАВЧИШСЯ:

- порівнювати види радіоактивного випромінювання;
- розв’язувати задачі на активність радіонукліда;
- моделювати будову атома, ланцюгової ядерної реакції, внутрішню будову зір.

## ТИ ЗРОЗУМІЄШ:

- як було виявлено будову атома і його ядра;
- йонізаційну дію радіоактивного випромінювання та його вплив на організми;
- механізм ланцюгових ядерних реакцій;
- принцип дії дозиметра, ядерного реактора;
- механізми ядерних процесів у Сонця й зір.

## ТИ ЗМОЖЕШ:

- вимірювати радіоактивний фон дозиметром;
- оцінити переваги, недоліки і перспективи розвитку атомної енергетики;
- формулювати проблему й обирати стратегії її розв’язання;
- оцінювати та систематизувати інформацію, презентувати її в різних формах.

# § 30. ДОСЛІДЖУЄМО БУДОВУ АТОМА



Та я про атом ще з початкової школи все знаю. І на уроках хімії вчили, і на уроках фізики.

Це так. А от як вчені дізналися про будову атома? І чи все їм відомо?

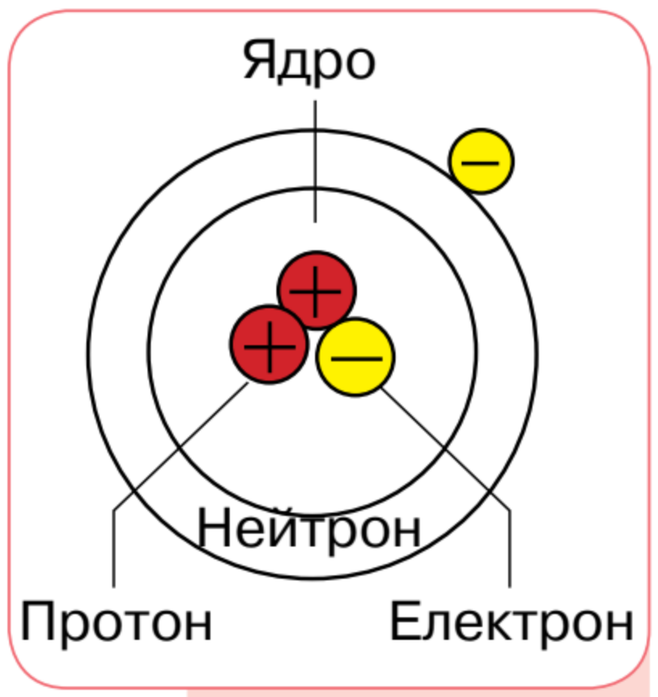


## ДОСЛІДЖУЙ

**1** Прочитай наведені твердження. Поясни, які з них правильні. Яке твердження допомагає зрозуміти різницю між фізичними і хімічними властивостями атома?

1. Атом складається з ядра та електронної оболонки.
2. Усі електрони атома знаходяться в ядрі.
3. Протони мають позитивний електричний заряд.
4. Нейтрони мають негативний заряд.
5. Ядро атома містить протони і нейтрони.
6. Електрони рухаються навколо ядра на певних енергетичних рівнях.
7. Кількість протонів у ядрі дорівнює порядковому номеру елемента в Періодичній таблиці.
8. Кількість електронів у нейтральному атомі завжди дорівнює кількості протонів.
9. Атом — це неподільна частинка, яку неможливо розщепити.
10. Маса атома зосереджена переважно в ядрі.

**2** Які помилки допущено на малюнку 30.1?




Мал. 30.1

## ДІЗНАВАЙСЯ

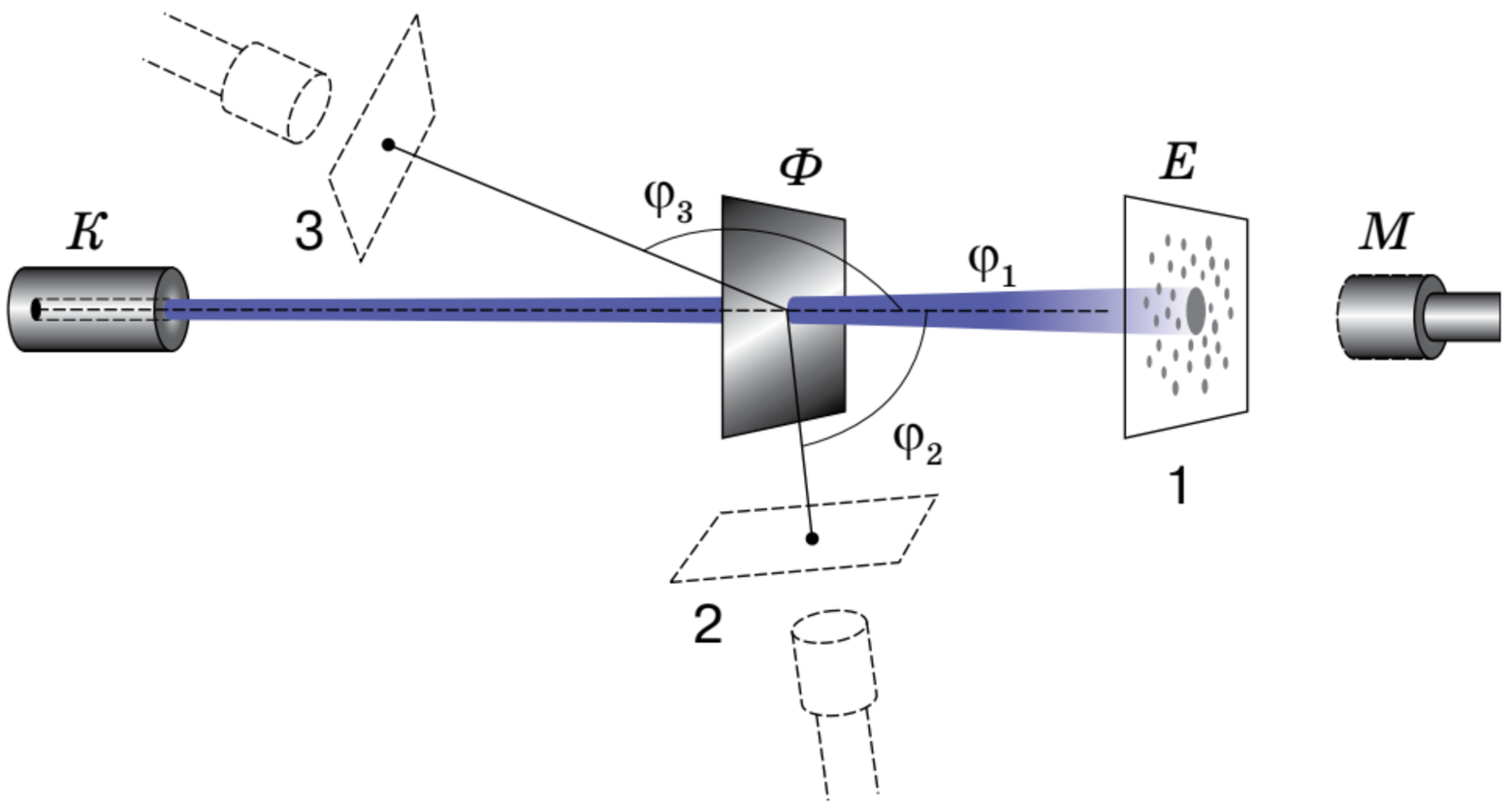
***Як було досліджено будову атома?*** Реальна структура атомів, у тому числі й існування ще менших частинок, із яких складаються атоми, тривалий час залишалася неясною. Поштовхом у дослідженні структури атома стали відкриття, які дали змогу зазирнути в таємниці мікросвіту. Це — експериментальне відкриття електрона у 1897 р. англійським фізиком Джозеф-Джон Томсоном.

У 1896 р. французький фізик Анрі Бекерель виявив речовини, здатні самостійно випромінювати мікрочастинки. Такі речовини назвали *радіоактивними*. Мікрочастинки, що випромінювали радіоактивні речовини, були досліджені Ернестом Резерфордом в 1899 році. Серед них були такі, маса яких приблизно в 7300 разів більша за масу електрона, а позитивний заряд дорівнює подвоєному елементарному заряду. Е. Резерфорд назвав ці частинки α-частинками (альфа-частинками).

Головним підсумком цих відкриттів стало те, що атом має складну будову. До того часу атом вважався неподільним, і відмінності хімічних властивостей різних речовин не мали свого пояснення. Щоб вирішити зазначену проблему, Дж. Томсоном було запропоновано першу модель атома. Томсон висловив гіпотезу, що «позитивна електрика» розподілена в атомі по сфері, в яку вкраплені електрони, що мають негативний електричний заряд.

Перевірити на досліді справжню будову атома вдалося англійському фізику Ернесту Резерфорду. Він спільно зі своїми співробітниками Е. Мардсеном і Х. Гейгером у 1909–1911 рр. здійснив досліди, у яких α-частинками «бомбардували» атоми важких елементів (Ауруму, Аргентуму, Купруму тощо). Для своїх дослідів Резерфорд обрав саме α-частинки, бо вони «вилітали» з радіоактивної речовини з дуже великою швидкістю — близько $10^7$ м/с.

Схему досліду Резерфорда зображено на малюнку 30.2.




Мал. 30.2. Схема досліду Резерфорда
(К — свинцевий контейнер з радіоактивною речовиною; Е — екран, покритий сірчистим цинком; Ф — золота фольга; М — мікроскоп)

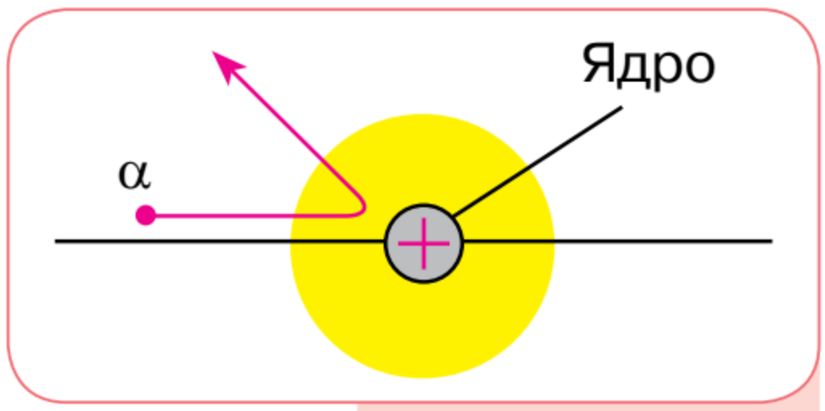
Від радіоактивної речовини, поміщеної в свинцевий контейнер, α-частинки спрямували на тонесеньку золоту фольгу (практично декілька шарів атомів Ауруму). Розсіяні частинки потрапляли на екран, по-

критий шаром сірчистого цинку, здатного світитися під ударами швидких заряджених частинок. Спалахи на екрані можна було спостерігати за допомогою мікроскопа. Спостереження розсіяних α-частинок у дослідах Резерфорда можна було проводити під різними кутами φ до початкового напряму пучка α-частинок.

Під час дослідів було виявлено:

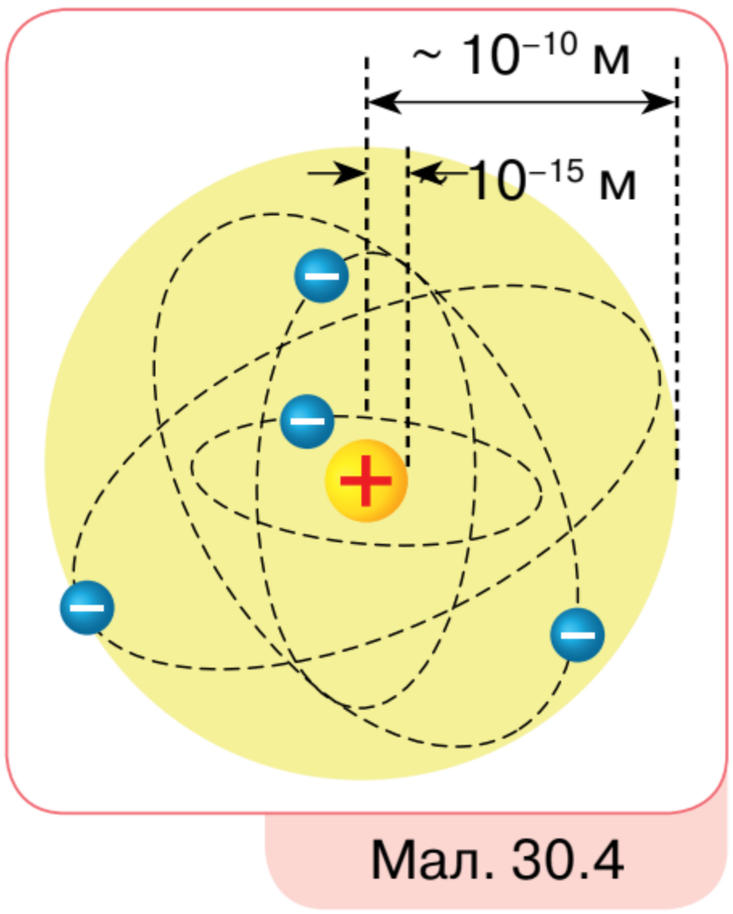
- більшість α-частинок проходить через тонкий шар металевої фольги, практично не відхиляючись;
- деякі частинки відхилялися на значні кути, більші за 30°;
- дуже невелика кількість α-частинок (приблизно одна на десять тисяч) відхилялася на кути, близькі до 180°.

На особливу увагу заслуговує останнє спостереження. Фактично α-частинки відлітали назад! Цей факт став неочікуваним, і Е. Резерфорд відчув, що за цим криється щось важливе. Оскільки побачити безпосередньо атом неможливо, то пояснення будувалося на логічних припущеннях. Пояснити результати експериментів можна, якщо вважати, що атом Ауруму складався з майже повністю порожнього простору, а практично вся атомна маса була сконцентрована в центрі, в маленькому «ядрі» атома (мал. 30.3).



Мал. 30.3

Учений ретельно порахував кількість частинок, що летіли в кожному напрямі. Потім шляхом складного, але переконливого математичного аналізу обґрунтував *ядерну модель атома*: в центрі атома міститься щільне позитивно заряджене ядро (мал. 30.4), а в просторі на деякій відстані від ядра, у так званих електронних хмарах (орбіталях) рухаються електрони. Заряд ядра за величиною дорівнює сумарному заряду всіх електронів, що входять до складу атома.



Мал. 30.4

В основному атом порожнистий. Діаметр ядра не перевищує $10^{-14}$–$10^{-15}$ м. У той час, як діаметр самого атома близько $10^{-10}$ м. Отже, ядро займає дуже малу частину повного об'єму атома, але містить майже 99,95 % маси ядра. Якщо обчислити відношення маси ядра до його об'єму, то це число буде $10^{15}$ г/см$^3$!

Згодом вдалося встановити наступне. Якщо прийняти заряд електрона за одиницю, то сумарний заряд електронів (а отже, і

30.1

заряд ядра) будь-якого хімічного елемента в точності дорівнює його номеру в Періодичній таблиці хімічних елементів.

Модель атома, запропонована Е. Резерфордом, поза сумнівом стала великим кроком вперед в розвитку знань про будову атома. Проте й вона виявилася нездатною пояснити сам факт тривалого існування атома, тобто його стійкість. Адже електрон, що рухається з прискоренням, має випромінювати електромагнітні хвилі, що зменшують його енергію. За короткий час (близько $10^{-8}$ с) усі електрони в атомі Резерфорда повинні розтратити всю свою енергію і впасти на ядро. Те, що цього не відбувається в стійких станах атома, показує, що внутрішні процеси в атомі не підкоряються класичним законам фізики.

**Перший постулат Бора** (постулат стаціонарних станів): в атомі існують стаціонарні (що не змінюються з часом) стани, у яких він не випромінює енергії. Стаціонарним станам атома відповідають стаціонарні орбіталі, у яких рухаються електрони. Рух електронів в стаціонарних орбіталях не супроводжується випромінюванням електромагнітних хвиль.

**Другий постулат Бора:** під час переходу електрона з однієї стаціонарної орбіталі на іншу випромінюється (поглинається) один квант (порція) електромагнітного випромінювання з енергією, рівною різниці енергій відповідних стаціонарних станів. Перехід електрона з більш віддаленої від ядра орбіталі на менш віддалену супроводжується випромінюванням кванта енергії. Щоб електрон перейшов на віддаленішу від ядра орбіталь, він має поглинути відповідну порцію енергії.

Перша спроба побудувати якісно нову — *квантову* (відмінну від класичної) теорію атома була зроблена Н. Бором у 1913 р. Учений поставив перед собою мету зв'язати в єдине ціле ядерну модель атома Резерфорда і квантовий характер випромінювання і поглинання світла (термін «квант» введено у фізику після того, як у 1900 році німецький фізик Макс Планк висловив гіпотезу про те, що процес поглинання і випромінювання світла здійснюється певними «порціями енергії» — квантами. Квантування є основоположною ідеєю сучасної квантової фізики).

Розв'язуючи вказану проблему, учений застосував такий підхід: він виклав ці два факти у вигляді постулатів (постулат — твердження, яке при побудові наукової теорії приймають без доказів як вихідне).

***Як було встановлено будову атомного ядра?*** Теорія Бора дала можливість пояснити внутрішньоатомні процеси з принципово нових позицій. До 20-х років XX сторіччя фізики вже не мали сумніву в тому, що й атомні ядра також мають складну структуру. У цьому їх переконували численні експериментальні факти, накопичені до цього часу. Так, ще у 1919 році Е. Резерфорд, здійснюючи експерименти з розщеплення ядер атомів багатьох елементів, виявив частинку, яку згодом назвав *протоном* (позначається $p$). Він висловив припущення, що протони входять до складу всіх атомних ядер.

Після відкриття протона було висловлено припущення, що ядра атомів складаються з одних протонів. Однак це припущення виявилося недійсним, оскільки відношення заряду ядра до його маси не залишається постійним для різних ядер, як це було б, якби до складу ядер входили лише протони.

У 1930 р. В. Боте і Г. Беккер з Гісенського університету проводили опромінення Літію і Берилію $\alpha$-частинками і вивчали утворений при цьому потік нових частинок. Оскільки ці частинки не взаємодіяли з електричним і магнітним полями, було зроблено висновок, що випромінюються електрично нейтральні частинки. Подібні досліди у 1932 р. повторили Ф. Жоліо, М. Кюрі, Дж. Чедвік. Тим самим було підтверджено існування нової частинки, яку тепер називають нейтроном (позначається $n$).

У 1932 році після відкриття протона і нейтрона ученими Д. Д. Іваненком (Україна) і В. Гейзенбергом (Німеччина) було запропоновано протонно-нейтронну модель ядра атома.

Згідно з цією моделлю:

- ядра усіх хімічних елементів складаються з протонів і нейтронів (нейтрони і протони як складові частинки ядер мають спільну назву — *нуклони*);
- сумарну кількість протонів і нейтронів в атомі називають нуклонним (або масовим) числом і позначають символом $A$;
- число протонів називають протонним (або зарядним) числом і позначають симоволом $Z$; протонне число відповідає порядковому номеру елемента в Періодичній таблиці хімічних елементів;
- число нейтронів дорівнює різниці між масовим числом і числом протонів ($N = A - Z$);
- заряд ядра обумовлений тільки протонами; кількість протонів у ядрі дорівнює кількості електронів, що обертаються навколо нього.

Для умовного позначення ядер атома хімічного елемента використовують символ ${}^{A}_{Z}X$, де $A$ — нуклонне (масове) число; $Z$ — протонне число.

Певне атомне ядро з відомими $A$, $Z$ і $N$ ще називають нуклідом.

Опишемо будову довільного атома. Наприклад, розглянемо хімічний елемент Алюміній 

. Його порядковий номер 13, отже, в ядрі міститься 13 протонів, протонне число $Z = 13$. Оскільки атом електрично нейтральний, то навколо ядра міститься 13 електронів. Нуклонне (або масове число) $A = 27$. Визначимо кількість нейтронів у ядрі: $N = A - Z = 27 - 13 = 14$.

Ти звернув / звернула увагу, що масове число нам довелось округлити до цілих. У чому тут причина? Справа в тім, що ядра атомів того самого

хімічного елемента можуть відрізнятися кількістю нейтронів. Такі різновиди хімічних елементів називають *ізотопами*. Атомна маса природного хімічного елемента в Періодичній таблиці хімічних елементів є середньою атомною масою всіх його ізотопів. Назву «ізотопи» було запропоновано в 1912 році англійським радіохіміком Фредеріком Содді. Її утворено з двох грецьких слів: *isos* — однаковий і *topos* — місце.

**Ізотопи** (*isotope*) — різновиди одного і того самого хімічного елемента, які близькі за своїми фізико-хімічними властивостями і атоми яких мають у своїх ядрах однакову кількість протонів, але різну кількість нейтронів.

30.2
30.3

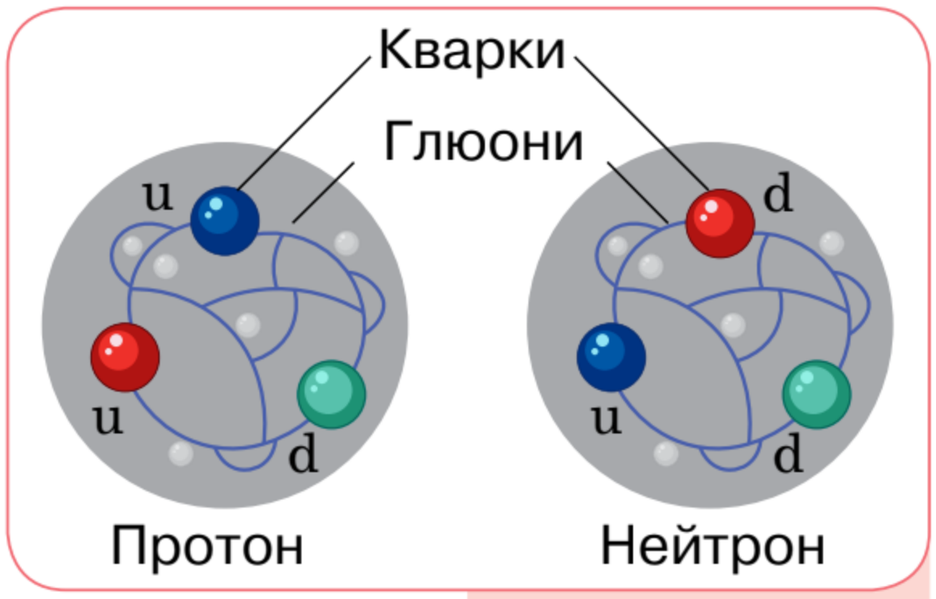
Ізотопи даного хімічного елемента займають одне і те саме місце в комірці Періодичної таблиці хімічних елементів.

Ядра атомів — дуже стійкі утворення, стійкіші, ніж самі атоми. Так, наприклад, щоб розділити ядро Гелію на окремі нуклони, необхідно витратити в сотні тисяч разів більше енергії, чим для відриву обох його електронів від ядра. Це пояснюється тим, що між нуклонами ядра проявляється особлива, внутрішньоядерна взаємодія, тобто діють особливі ядерні сили.

1. Це короткодіючі сили. Вони діють між нуклонами на відстанях близько $10^{-15}$ м і різко зменшуються при збільшенні відстані; на відстанях $1{,}4 \cdot 10^{-15}$ м вони вже практично не діють.
2. Це найпотужніші сили зі всіх, які є в природі. Тому взаємодію частинок в ядрі часто називають сильною взаємодією.
3. Ядерним силам властиве насичення. Це означає, що нуклон взаємодіє не зі всіма нуклонами, а лише з деякими найближчими «сусідами».
4. Ядерним силам властива зарядова незалежність. Це означає, що з однаковою за модулем силою притягуються одна до одної і заряджені, і незаряджені частинки, тобто сила взаємодії між двома протонами дорівнює силі взаємодії між двома нейтронами і дорівнює силі взаємодії між протоном і нейтроном.
5. Ядерні сили не є центральними, тобто вони не напрямлені вздовж прямої, що сполучає центри цих зарядів.
6. Ядерні сили є так званими обмінними силами. Взаємодія між нуклонами виникає внаслідок обміну між ними деякою третьою частинкою.

Сучасне пояснення обмінної взаємодії пояснюється тим, що протони і нейтрони не є неподільними елементарними частинками, а складаються з елементарних частинок — кварків (мал. 30.5, с. 192). Кварки, у свою чергу, взаємодіють один з одним, безперервно обмінюючись глюонами — переносниками сильної взаємодії. В результаті протони і нейтрони ви-

являються дуже сильно зв'язаними системами, які неможливо розбити на складові частини.



Мал. 30.5

## ДУМАЙ

**1.** Опиши перші моделі атома. **2.** Яка мета стояла перед Е. Резерфордом і його співробітниками? Опиши будову установки, за допомогою якої було проведено дослідження вивчення будови атома. Які результати досліджень взаємодії α-частинок з атомами Ауруму? **3.** У чому полягали протиріччя між запропонованою планетарною моделлю атома Е. Резерфорда та умовами стійкого існування атома? Як Н. Бор розв'язав вказане протиріччя? **4.** Які експериментальні факти свідчать про складну будову ядра атома? **5.** У чому сутність протонно-нейтронної моделі ядра атома? Які сили діють між нуклонами у ядрі? Опиши їх особливості. До якого типу взаємодії належать ядерні сили? **6.** Як у ядерній фізиці позначають хімічний елемент? Охарактеризуй за цими параметрами Літій.

## ДІЙ

### РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

**1** Порядковий номер Калію в Періодичній таблиці хімічних елементів 19. Масове число 39. Визнач для атома Калію число електронів, число протонів, число нейтронів.

**2** Визнач число електронів в атомах Магнію й Алюмінію.

**3** У ядрі атома деякого хімічного елемента міститься 56 протонів. Назви цей елемент.

**4** Визнач число протонів в атомах Фосфору і Хлору.

**5** Назви хімічні елементи, в атомному ядрі яких міститься така кількість нуклонів: а) $7p$, $7n$; б) $18p$, $22n$; в) $3p$, $42n$; г) $84p$, $126n$.

**6** Яка частинка має більшу масу: протон чи електрон? У скільки разів?

**7** Ядро атома певного елемента має електричний заряд $4{,}8 \cdot 10^{-18}$ Кл. Назви цей елемент.

### ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

**1** Виконай віртуальну роботу в е-додатку 30.4 .

### ОПРАЦЮЙ ІНФОРМАЦІЮ

Скористайся матеріалом параграфа і додатковими джерелами та склади хронологічну таблицю відкриттів в атомній і ядерній фізиці.

30.5

# § 31. ДОСЛІДЖУЄМО ЯВИЩЕ РАДІОАКТИВНОСТІ

Радіоактивність. Слово якесь знайоме. Це знову щось про радіо? І радіохвилі?

Не зовсім. Термін «радіоактивність» (фр. *radio-activit*) походить від латинських слів: *radiare* (випромінювати, сяяти) — вказує на випромінювання енергії; *activus* (активний) — вказує на здатність речовини робити це випромінювання самостійно.



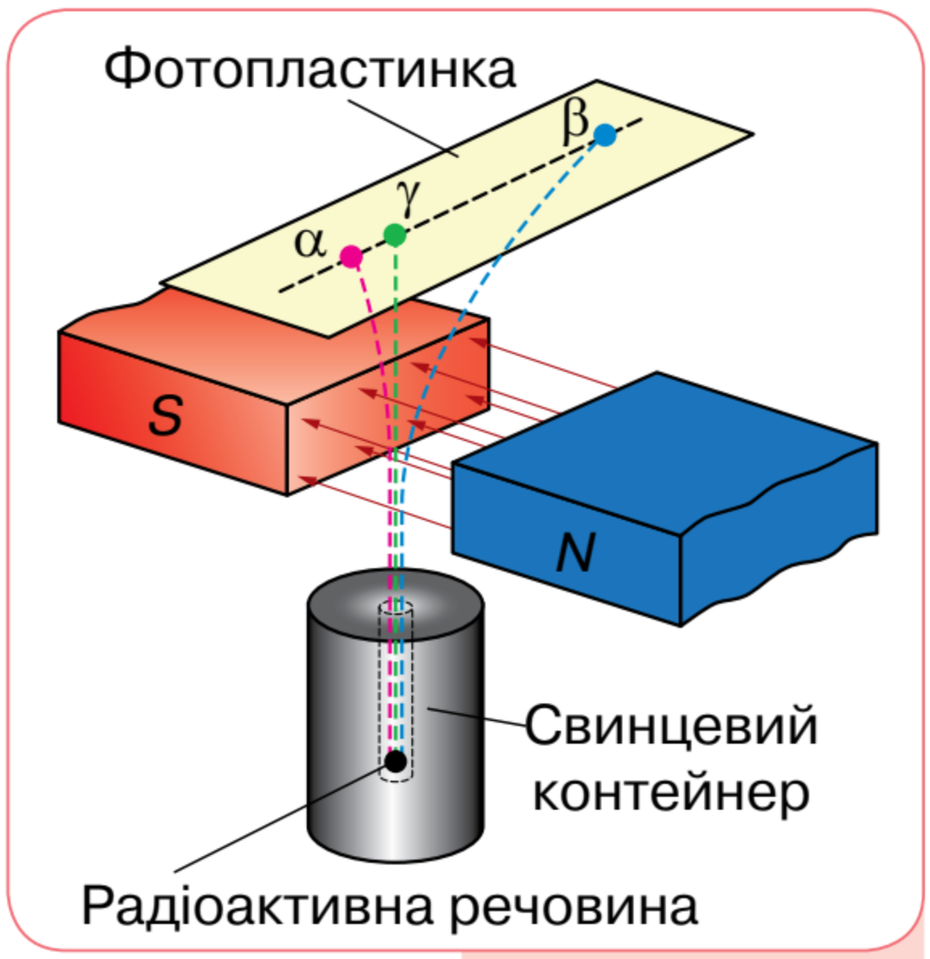
## ДОСЛІДЖУЙ

**Розглянь малюнок 31.1, який ілюструє дослід із вивчення випромінювань, що виходять від радіоактивної речовини, розміщеної у свинцевому контейнері.**

**Визнач, як змінюється напрям кожного виду випромінювання у магнітному полі.**

**Поясни, чому α-частинки відхиляються в один бік, β-частинки — у протилежний, а γ-промені не відхиляються.**

**Яке випромінювання відхиляється найдужче?**




Мал. 31.1

## ДІЗНАВАЙСЯ

***Дізнаємося про явище радіоактивності.*** У 1889 р. було відкрито *X*-промені (рентгенівські промені), що проходили крізь дерево, картон та інші речовини, не прозорі для видимого світла. Дослідження цих променів призвело до нового відкриття. Так було висловлено припущення, що *рентгенівські промені можуть виникнути під час короткочасного світіння деяких речовин, якщо їх перед цим опромінити сонячним світлом*. Щоб перевірити це припущення, французьким ученим-експериментатором А. Беккерелем для досліджень були обрані солі

Урану. Щоб виявити, чи випромінюють вони рентгенівські промені, учений викладав крупинки уранової солі на фотопластинку, яку було щільно загорнуто у чорний папір (тим самим сама пластинка була захищена від дії сонячних променів). Після того, як на кілька годин підготовлене обладнання перебувало під дією яскравого сонячного світла, фотопластинку проявляли. Виявилося, що у тих місцях, де лежала сіль, дійсно з'являлися темні плями. Отже, оскільки фотопластинка була захищена від сонячних променів, то ці плями з'явилися внаслідок проміння, яке випускали саме солі урану.

Подальше дослідження і відкриття нового явища пов'язане із випадковістю. Тривалий час була похмурна погода, і А. Беккерель не зміг проводити досліди. Він залишив підготовлену фотопластинку й солі Урану в шухляді стола. Через кілька днів від дістав фотопластинку й про всяк випадок проявив її. Знову у місцях, де лежала сіль, були темні плями. Отже, солі Урану можуть випромінювати без зовнішнього сонячного опромінення!

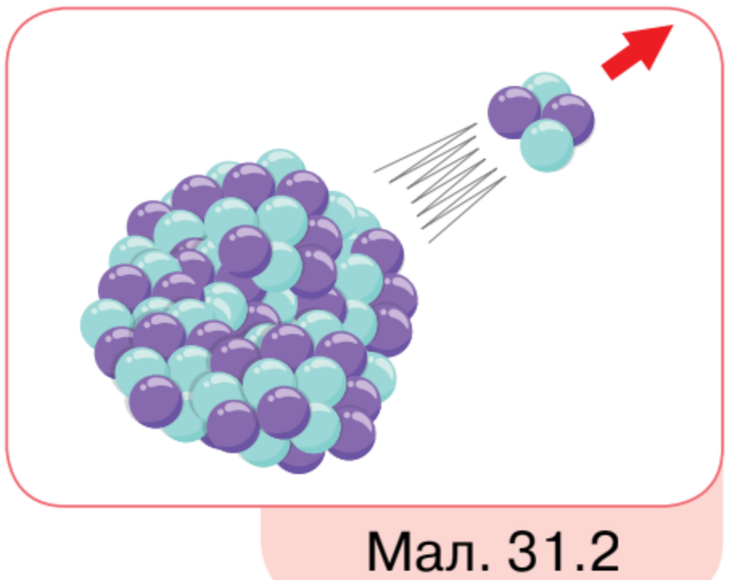
У 1896 р. Анрі Беккерель на засіданні Французької академії наук повідомив, що промені, які випромінюються речовинами, до складу яких входить Уран, проникають подібно до *X*-променів через не прозорі для світла предмети. Нововідкриті промені Беккерель назвав *урановими* променями, пізніше вони отримали назву *радіоактивні*, а саме явище — *радіоактивністю*. Ядра радіоактивних елементів стали називати *радіонуклідами*.

Подальша історія нововідкритих променів тісно пов'язана з іменами подружжя: польської дослідниці Марії Склодовської та її чоловіка — француза П'єра Кюрі. Марія Склодовська перевірила на радіоактивність всі відомі на той час елементи і виявила, що радіоактивні властивості, окрім Урану, має також Торій. Разом із чоловіком вони відкрили й нові елементи, зокрема Полоній і Радій, які також виявилися радіоактивними. (Зазначені елементи було виділено із природних мінералів.) Згодом навчилися отримувати й штучні радіоактивні ізотопи. Практично кожен елемент має свій радіоактивний ізотоп.

Властивості радіоактивного випромінювання стали активно досліджувати. Особлива заслуга в їх дослідженнях належать М. Склодовській-Кюрі та Е. Резерфорду.

Усвідомлюючи, що радіоактивні речовини випромінюють заряджені мікрочастинки, які мають взаємодіяти з магнітним полем, учені спрямовували випромінювання від радіоактивної речовини між полюсами магніту. На мал. 31.1 зображено схему експерименту, що дозволяє виявити склад радіоактивного випромінювання. У 1899 р. Резерфорд виявив, що радіоактивне випромінювання є неоднорідним і складається з

трьох видів: потоку позитивно заряджених мікрочастинок, які він назвав α(альфа)-частинками, потоку негативно заряджених частинок — β(бета)-частинок і електрично нейтрального випромінювання, яке отримало назву γ(гамма)-променів.



Мал. 31.2

У результаті досліджень було встановлено наступне.

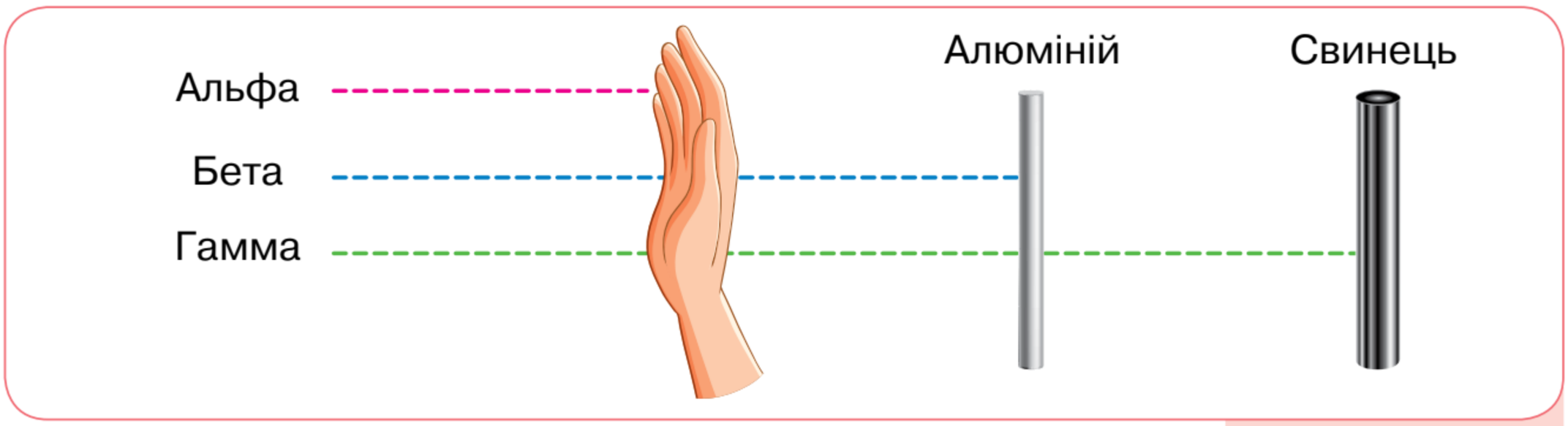
Кожна α-частинка складається з 2 нейтронів і 2 протонів, тобто є ядром атома Гелію (мал. 31.2).

Джерелом α-частинок є атоми важких елементів. Позитивний заряд α-частинки вдвічі перевищує елементарний електричний заряд, тобто $q_\alpha = 3{,}2 \cdot 10^{-19}$ Кл. Маса α-частинки дуже значна і приблизно в 7300 разів більша за масу електрона, тобто $m_\alpha = 6{,}67 \cdot 10^{-27}$ кг. Швидкість руху α-частинок досить велика (порядку $10^7$ м/с), що зумовлює наявність досить значної кінетичної енергії. У повітрі вони можуть пройти шлях 2–9 см, у твердій речовині — долі міліметра, тобто пройти крізь звичайний аркуш паперу α-частинки вже не можуть. Якщо людина працює з речовиною, що випромінює α-частинки, то вона може захистити свої руки за допомогою гумових рукавичок.

Потік α-частинок іноді називають α-променями.

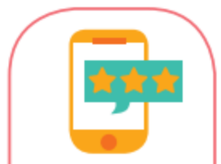
Бета-частинки (або β-промені) — це потік електронів. Швидкості β-електронів можуть наближатися до швидкості світла та сягати 0,999 с. Пробіг β-частинок в повітрі може досягати декількох метрів, а в твердій речовині — декількох сантиметрів. Однак вони легко затримуються тонким листом металу.

Гамма-промені (γ) — це електромагнітна хвиля, що несе енергію. Довжина хвилі γ-променів значно менша від довжини хвилі рентгенівських променів, що пояснює їхню високу проникну здатність (більшу, ніж у рентгенівських променів). Якщо рентгенівські промені проникають крізь тканини живого організму, то γ-промені проникають крізь шари металу. Для поглинання γ-променів потрібен шар свинцю товщиною понад 20 см (мал. 31.3).




Мал. 31.3

Після встановлення складу радіоактивного випромінювання стала зрозумілою природа явища радіоактивності.




***Що відбувається з ядрами у результаті радіоактивності?*** Після дослідження природи радіоактивного випромінювання і встановлення нейтронно-протонної будови ядра атома виникли нові запитання: що ж відбувається з ядром радіонукліда після того, як він втратить 2 протони і 2 нейтрони (α-частинку).

**Радіоактивність** (*radioactive*) — це здатність ядер деяких хімічних елементів розпадатися (перетворюватися на ядра інших елементів) і випускати мікрочастинки й випромінювання.

Для проведення досліджень було застосовано як експериментальні, так і теоретичні методи досліджень, сконструйовано спеціальні прилади і пристрої, які давали змогу фіксувати й ідентифікувати мікрочастинки. У результаті з'ясовано, що процес радіоактивного розпаду атомних ядер відбувається у строгій відповідності із законами збереження електричного заряду, числом нуклонів (масового числа), законом збереження енергії. Із цих законів випливають *правила радіоактивного зміщення*, що дозволяє визначати, яке місце в Періодичній таблиці хімічних елементів займає хімічний елемент, який виникає в процесі радіоактивного розпаду, порівняно з місцем розташування хімічного елемента до розпаду.

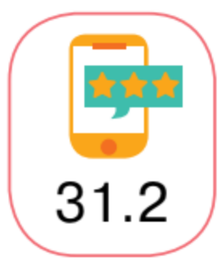
*Правило зміщення для α-розпаду*. Під час α-розпаду радіоактивний атом випромінює α-частинку, його масове число зменшується на 4, а атомний номер — на 2 одиниці. При цьому елемент зміщується на 2 клітинки вліво до початку Періодичної таблиці хімічних елементів.

Наприклад, під час α-розпаду ізотоп Урану перетворюється на Торій: ${}^{238}_{92}\mathrm{U} \rightarrow {}^{234}_{90}\mathrm{Th} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$. Зверни увагу на суму масових чисел в правій і лівій частині реакції: $238 = 234 + 4$ і суму атомних номерів: $92 = 90 + 2$.

Узагальнено α-розпад можна описати такою формулою:

$$ {}^{A}_{Z}\mathrm{X} \rightarrow {}^{A-4}_{Z-2}\mathrm{Y} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}. $$

*Правило зміщення для β-розпаду*. Під час бета-розпаду ядро радіоактивного атома випромінює β-частинку, при цьому його масове число не зменшується, а атомний номер збільшується на 1. Елемент зміщується на 1 клітинку вправо до кінця Періодичної таблиці.




$$ {}^{A}_{Z}\mathrm{X} \rightarrow {}^{A}_{Z+1}\mathrm{Y} + {}^{0}_{-1}e. $$

Наприклад, під час β-розпаду радіоактивний ізотоп Гідрогену перетворюється на ізотоп Гелію.

$$ {}^{3}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{3}_{2}\mathrm{He} + {}^{0}_{-1}e. $$

Зверни увагу на суму масових чисел в правій та лівій частинах реакції: $3 = 3 + 0$ і суму атомних номерів: $1 = 2 + (-1)$.

Якщо механізм $\alpha$-розпаду дістав просте і природне пояснення, то механізм $\beta$-розпаду довгий час залишався не розгаданим. Дійсно, звідки при $\beta$-розпаді беруться електрони, адже їх немає у складі ядра? Зрозуміло, що $\beta$-частинка не є електроном оболонки атома, тому що видалення електрона з оболонки є йонізацією атома, у результаті якої не відбувається зміна хімічної природи атома. Таким чином, оскільки $\beta$-частинка не є складовою ядра і не є електроном, вирваним з оболонки атома, можна припустити, що $\beta$-електрон «народжується» в результаті процесів, які відбуваються всередині ядра. У радіоактивному ядрі можливе перетворення нейтрона на протон. У результаті чого утворюється електрон і ще одна частинка (антинейтрино), які вилітають із ядра, а протони і нейтрони, що залишились, утворюють нове ядро. Згодом було відкрито й інші процеси перетворення частинок та виявлено нові частинки (та їх античастинки), що зумовило появу у фізиці нового напряму — *фізики елементарних частинок*.

*При $\gamma$-розпаді* частинки не випромінюються, і радіоактивні перетворення атомів відбуваються за рахунок зміни енергії.

Радіоактивний розпад, як правило, супроводжується декількома послідовними перетвореннями. Оскільки в результаті радіоактивних перетворень утворюються нові елементи, то, за аналогією з хімічними реакціями, радіоактивний розпад ще називають *ядерною реакцією*.

**ДУМАЙ**

**1.** Яка особливість відкритого Анрі Беккерелем випромінювання вказувала на його незвичайність? **2.** У чому суть явища радіоактивності? Чому явище радіоактивності дозволило вченим підійти до дослідження атомів? **3.** Чому для дослідження властивостей радіоактивного випромінення використовували метод відхилення в магнітному полі? **4.** Які спільні і відмінні ознаки мають радіоактивні частинки? Опиши властивості $\alpha$-, $\beta$-, $\gamma$-променів. **5.** Які закони збереження виконуються під час радіоактивного розпаду? **6.** В чому суть правила зміщення? Поясни, як виконуються правила зміщення, якщо ядро атома Ксенону втратить один нейтрон. **7.** Чи зміниться хімічна природа елемента у разі випромінювання ним $\gamma$-променів? $\alpha$-частинок?

**ДІЙ**

## РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

**1** Ядро атома $^{225}_{88}\mathrm{Ra}$ зазнало $\beta$-розпаду. Застосовуючи правила зміщення, запиши рівняння розпаду.

**2** Ядро якого елемента утворилося після α-розпаду ізотопу $^{220}_{86}\mathrm{Rn}$?

**3** У верхніх шарах атмосфери під дією космічних променів утворюється радіоактивний ізотоп Карбону-14. На який елемент він перетвориться під час β-розпаду? Застосовуючи правила зміщення, запиши рівняння розпаду.

**4** Альфа-частинку поглинула речовина. Де поділась α-частинка?

**5** На який елемент перетворюється $^{238}_{92}\mathrm{U}$ після трьох α-розпадів та двох β-розпадів?

**6** Внаслідок радіоактивного розпаду ядро $U^{238}$ перетворюється на ядро $Pb^{206}$. Скільки α- і β-розпадів при цьому відбувається?

31.3

# § 32. ДОСЛІДЖУЄМО АКТИВНІСТЬ РАДІОНУКЛІДІВ



У мене виникло питання: якщо, наприклад, уран — це радіоактивна речовина і він постійно розпадається, то чому він досі весь не розпався?

А мене цікавить, які саме речовини є радіоактивними.

## ДОСЛІДЖУЙ

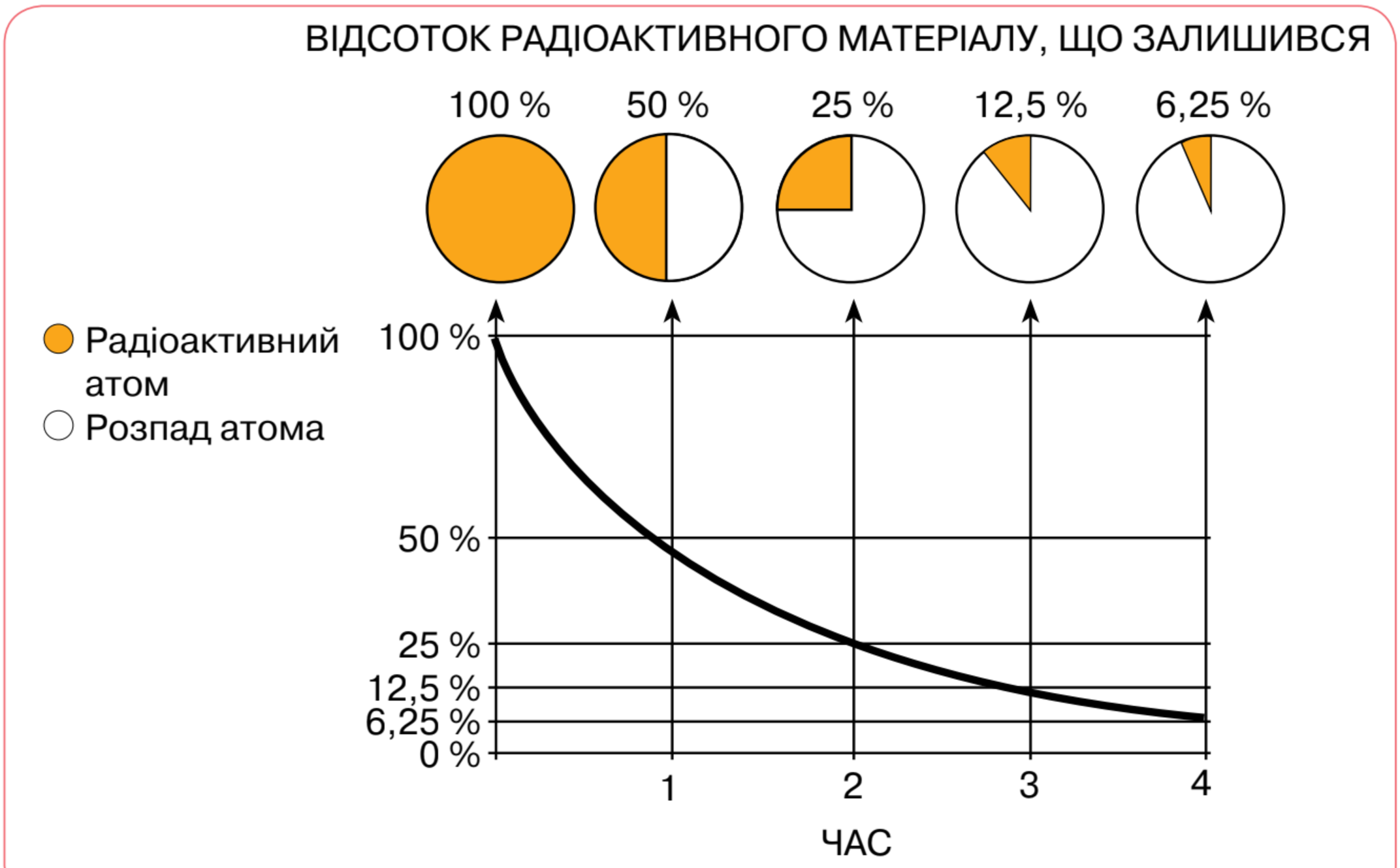
**1** Розглянь малюнок 32.1, на якому зображено графік залежності кількості радіонуклідів, що розпалися протягом часу.

Користуючись графіком, обери визначення періоду піврозпаду.

А. Час, за який залишається половина ядер, що не розпались.
Б. Час, за який розпадається половина ядер.

**2** Припустимо, що період піврозпаду певного ізотопу дорівнює 45 хв.

1. Скільки часу (у годинах і хвилинах) знадобиться, щоб радіоактивність зразка зменшилася до 12,5 % від початкової?
2. Якщо пройшло 2 години 15 хвилин, який відсоток початкового радіоактивного матеріалу залишився?




Мал. 32.1

## ДІЗНАВАЙСЯ

***Дізнаємося про закон радіоактивного розпаду.*** Процес радіоактивного розпаду того чи іншого ядра є випадковою подією: неможливо з'ясувати, ядро якого з атомів розпадеться першим, а якого — наступним або останнім. Проте встановлено, що кількість ядер атомів, які розпадаються, весь час змінюється. І ця зміна підпорядковується певній закономірності, яку можна зобразити графічно (мал. 32.1).

Якщо в початковий момент часу ($t = 0$) було $N_0$ радіоактивних ядер, то за деякий час їх кількість стане вдвічі меншою: $N_0/2$. Ще через такий самий час їх уже буде $N_0/4$ тощо. Час, за який кількість ядер атомів радіоактивного ізотопу зменшується вдвічі, називають періодом піврозпаду і позначають літерою $T$.

Одиниця періоду піврозпаду в СІ — секунда (1 с).

А саму закономірність називають *законом радіоактивного розпаду*.

**Період піврозпаду** (*half-life*), $T$ — це фізична величина, що дорівнює часу, протягом якого розпадається половина наявної кількості ядер радіоактивної речовини (радіонуклідів).

**Закон радіоактивного розпаду** (*law of radioactive decay*) — фізичний закон, що описує математичну залежність числа атомів $N$, які не розпалися протягом деякого часу $t$ після початку відліку, від початкового числа атомів: $N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$, де $N_0$ — початкова кількість радіонуклідів; $N$ — кількість радіонуклідів, що залишилася через час $t$; $T$ — період піврозпаду речовини.

Чим менший період піврозпаду, тим менший час життя атомів, тим швидше відбувається розпад.

Радіоактивні речовини різняться періодом піврозпаду: одні з них швидше розпадаються, демонструючи інтенсивність радіоактивних перетворень, інші — повільніше.

| Радіоактивний елемент | Період піврозпаду | Радіоактивний елемент | Період піврозпаду |
|---|---|---|---|
| Торій | $1{,}41 \cdot 10^{10}$ років | Стронцій | 27 років |
| Уран-238 | 4,5 млрд років | Кобальт | 5,26 року |
| Радій-226 | 1620 років | Каліфорній | 55 діб |
| Лантан-140 | 40,2 години | Радон | 52 с |
| Карбон-11 | 20 хвилин | Полоній-212 | $3 \cdot 10^{-7}$ секунди |

З практичної точки зору, важливою характеристикою процесу радіоактивного розпаду є швидкість, із якою розпадається та чи інша радіоактивна речовина, іншими словами — активність радіоактивного елемента.

**Активність радіоактивного елемента**, $A$ — це фізична величина, яка чисельно дорівнює кількості розпадів, що відбуваються в певній радіоактивній речовині за одиницю часу.

З таблиці видно, що активність Полонію зменшується вдвічі майже миттєво, Стронцію — протягом 27 років, а активність Радію, Урану і Торію не змінюється протягом людського життя.

У результаті фізичних досліджень і математичних обчислень встановлено, що активність радіоактивного елемента прямо пропорційна кількості радіоактивних ядер у зразку на даний момент і обернено пропорційна періоду піврозпаду: $A = \dfrac{0,69 \cdot N}{T}$.

Величину $\dfrac{0,69}{T}$ називають *сталою радіоактивного розпаду* і позначають літерою $\lambda$: $\lambda = \dfrac{0,69}{T}$. Ця формула показує, що чим більше значення $\lambda$, тим швидше відбувається розпад, і тим менший час існування ізотопу. І навпаки: чим менше значення $\lambda$, тим повільніше розпадається ізотоп, і тим довший його час життя.

Формулу для активності радіоактивного елемента записують ще так:

$$A = \lambda \cdot N.$$

За одиницю активності в Міжнародній системі одиниць (СІ) прийнятий один розпад в секунду. Цю одиницю названо на честь Анрі Беккереля беккерелем (Бк), 1 Бк — така кількість радіонукліда, у якому за одну секунду відбувається один розпад.

Оскільки швидкість розпаду радіоактивних ізотопів різна, то однакові за масою радіонукліди — ядра радіоактивних елементів — мають різну активність. Чим більше ядер розпадається за одиницю часу, тим більша активність.

З плином часу кількість ядер, що не розпалися внаслідок радіоактивних перетворень, зменшується, а отже, зменшується і активність радіоактивного елемента.

***Чи кожна речовина може бути радіоактивною?*** Ні, не кожна речовина може бути радіоактивною. Радіоактивність — це властивість, притаманна лише певним ізотопам хімічних елементів, які мають нестабільні атомні ядра. Ядро є нестабільним, коли співвідношення між кількістю протонів і нейтронів у ньому не є оптимальним, що створює надлишок енергії. Кожен хімічний елемент існує у формі різних ізотопів (атоми з однаковою кількістю протонів, але різною кількістю нейтронів). Більшість елементів мають стабільні ізотопи. Наприклад, Карбон-12 ($C^{12}$) і Оксиген-16 ($O^{16}$) є стабільними і нерадіоактивними. Радіоактивними є радіоізотопи (або радіонукліди), як-от Уран-238, Цезій-137 або нестабільний Карбон-14 ($C^{14}$). Деякі речовини, які в природі є стабільними, можуть стати радіоактивними, якщо їхнє ядро штучно зробити нестабільним (наприклад, шляхом опромінення нейтронами в ядерному реакторі). Це явище називають *наведеною* (*штучною*) *радіоактивністю*, але воно все одно стосується лише ядер, які набули нестабільної конфігурації. Таким чином, радіоактивними є ті речовини, які мають хоча б один нестабільний ізотоп. Нині відомі близько 270 стабільних ізотопів і більше 2000 радіоактивних ізотопів 107 хімічних елементів.

Ізотопи неможливо виявити хімічним способом (вони мають однакові хімічні властивості), тому вони займають одне і те саме місце в комірці Періодичної таблиці хімічних елементів. Атомні маси хімічних елементів, указані в таблиці, є середньою атомною масою їх ізотопів. Так, атомна маса Хлору — 35,5 — середня маса двох його ізотопів з атомними масами 35 і 37.

Радіоактивні ізотопи широко застосовують в різних сферах наукової і практичної діяльності: в хімії — для вивчення механізмів хімічних реакцій, процесів горіння, каталізу, синтезу хімічних сполук; в біології, фізіології, біохімії й агрохімії — для вивчення процесів обміну речовин в живих організмах, перетворення білків, жирів і амінокислот, процесу фотосинтезу в рослинах, руху води від коренів до листя й плодів. Ізотопи застосовуються в ядерній фізиці — для роботи фізичних приладів, ядерних реакторів. Сфера їх використання як ефективних засобів у вирішенні наукових і прикладних проблем з кожним роком розширюється.

**ДУМАЙ**

**1.** Що таке період піврозпаду ядер? Що він характеризує? **2.** Що таке активність радіонукліда? У яких одиницях вона вимірюється? **3.** Як зв'язані між собою період піврозпаду, стала радіоактивного розпаду, активність радіоактивного розпаду? **4.** Як з часом змінюється активність радіоактивного препарату? **5.** Чому радіоактивні елементи з порівняно невеликим періодом піврозпаду $T$ (наприклад, Радій) не зникли за час існування Землі, адже ядра їх атомів весь час перетворюються на інші ядра?

**ДІЙ**

## УЧИСЬ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ЗАДАЧІ

**Задача 1.** Кількість радіоактивного радону зменшилася у 8 разів за 11,4 доби. Визнач період піврозпаду Радону.

**Дано:**

$T = 11{,}4$ доби

$\frac{N}{N_0} = \frac{1}{8}$

$T$ — ?

**Розв'язання:**

$$N = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}.$$

$$\frac{N}{N_0} = 2^{-\frac{t}{T}}; \frac{N}{N_0} = \frac{1}{8} = \frac{1}{2^3} = 2^{-3}.$$

$$\frac{t}{T} = 3;\ T = \frac{t}{3};\ T = \frac{11,4 \text{ доби}}{3} = 3,8 \text{ доби}.$$

**Відповідь:** $T = 3{,}8$ доби.

**Задача 2.** Період піврозпаду $^{222}_{86}\mathrm{Rn}$ (Радону) дорівнює 3,8 діб. Через який час маса Радону зменшиться в 4 рази?

**Дано:**

$T = 3{,}8$ доби

$\frac{m}{m_0} = \frac{1}{4}$

$T$ — ?

**Розв'язання:**

Зменшення маси змінюється так само, як і кількість атомів, тому можемо записати: $m = m_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$.

$$\frac{m}{m_0} = \frac{1}{4} = 2^{-\frac{t}{T}} = 2^{-2};\ \frac{t}{T} = 2.$$

$$T = 2T = t = 2 \cdot 3{,}8 = 7{,}6 \text{ доби}.$$

**Відповідь:** 7,6 доби.

**Задача 3.** Період піврозпаду $^{226}_{88}\mathrm{Ra}$ (Радію) становить 1620 років. Визнач постійну радіоактивного розпаду.

**Дано:**
$T = 1620$ р.

$\lambda$ — ?

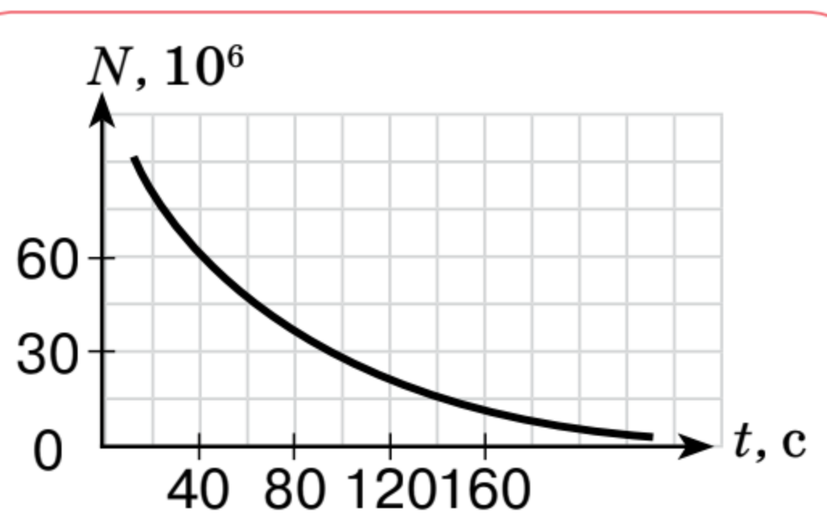
**Розв'язання:**

$$\lambda = \frac{0,693}{T} \approx \frac{0,7}{T}; \lambda = \frac{0,7}{1620 \cdot 365 \cdot 24 \cdot 3600} = 1,35 \cdot 10^{-11} \frac{1}{\text{с}}.$$

**Відповідь:** $\lambda = 1,35 \cdot 10^{-11} \text{с}^{-1}$.

## РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

1. Яка частка радіоактивних ядер деякого елемента розпадається за час, що дорівнює половині періоду піврозпаду?
2. Активність радіоактивного елемента за 8 днів зменшилася в 4 рази. Визнач період піврозпаду.
3. Активність препарату дорівнює 25 МБк. Скільки ядер розпадеться при цьому за одиницю часу?
4. За який час в препараті з постійною активністю 8,2 МБк розпадеться $25 \cdot 10^8$ ядер?
5. Період піврозпаду ${}^{60}_{27}\text{Co}$ рівний приблизно 5,3 року. Визнач сталу розпаду.
6. Ізотоп ${}^{238}_{92}\text{U}$ масою 1 г випромінює $1,24 \cdot 10^4$ $\alpha$-частинок в секунду. Визнач період піврозпаду цього ізотопу й активність препарату.
7. Визнач період піврозпаду $T$ радіоактивної речовини, графік залежності числа $N$ ядер, що не розпалися, від часу $t$ якої зображено на малюнку 32.2.



Мал. 32.2

8. Виконай симуляцію 32.1.
9. Виконай віртуальну лабораторну роботу 32.2.

## ОПРАЦЮЙ ІНФОРМАЦІЮ

1. Виконай інформаційний проєкт «Добування радіоактивних ізотопів та їх застосування в промисловості, сільському господарстві, науці й медицині».
2. Визначення віку Землі було одним із найбільших детективних завдань в історії науки. Протягом століть вчені давали різні оцінки: від кількох тисяч років (за релігійними текстами) до сотень мільйонів (за розрахунками Кельвіна щодо остигання планети). Сьогодні загальноприйнятий вік нашої планети становить **4,5 мільярда років**. Дізнайся, як людство про це дізналося.

32.3

# § 33. ДОСЛІДЖУЄМО ЯДЕРНІ РЕАКЦІЇ

Під час радіоактивного розпаду виділяється значна енергія. Як її використати?



## ДОСЛІДЖУЙ

Ознайомся з інформацією про ядерні і хімічні реакції. Наведи приклади ядерних реакцій. Прочитай параграф і перевір свої приклади.

| Ознака | Ядерна реакція | Хімічна реакція |
|---|---|---|
| Об’єкт змін | Відбуваються зміни в ядрі атома — змінюється склад ядра, кількість протонів і нейтронів | Відбуваються зміни в електронній оболонці атомів, ядра не змінюються |
| Нові частинки | Утворюються нові елементи (іноді — ізотопи, частинки: нейтрони, протони, $\alpha$-, $\beta$-, $\gamma$-випромінювання) | Утворюються нові сполуки, але елементи залишаються тими самими |
| Енергія | Виділяється або поглинається величезна енергія (у мільйони разів більша, ніж у хімічних реакціях) | Енергія хімічних зв’язків порівняно невелика |
| Швидкість і умови | Залежить від типу реакції; може бути миттєвою (вибух) або контрольованою (у реакторі) | Залежить від температури, тиску, каталізаторів |
| Збереження елементів | Хімічний елемент може перетворюватися на інший (змінюється атомний номер) | Хімічні елементи зберігаються, лише змінюються їх сполуки |
| Побічні продукти | Можливе радіоактивне випромінювання й утворення радіоактивних відходів | Побічні продукти — звичайні речовини, нерадіоактивні |
| Приклади | | Горіння, фотосинтез, окиснення металів, реакція кислоти й основи |

## ДІЗНАВАЙСЯ

***Дізнаємося про ядерні реакції.*** На відміну від хімічних реакцій, де змін зазнають лише молекули, а ядра атомів залишаються незмінними, під час ядерних реакцій змін зазнають самі атомні ядра. При цьому замість одних хімічних елементів утворюються інші, і виділяється або поглинається енергія.

У 1919 р. Е. Резерфорд здійснив першу ядерну реакцію, бомбардуючи азотну мішень $\alpha$-частинками, і відкрив протон ($p$): ${}^{14}_{7}\mathrm{N} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} \rightarrow {}^{17}_{8}\mathrm{O} + {}^{1}_{1}p$.

У 1932 р. вперше було застосовано штучно отримані прискорені протони для розщеплення ядра Літію: ${}^{7}_{3}\mathrm{Li} + {}^{1}_{1}p \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$.

Того ж року Д. Чедвік відкрив нейтрон ($n$): ${}^{9}_{4}\mathrm{Be} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} \rightarrow {}^{12}_{6}\mathrm{C} + {}^{1}_{0}n$, а Жоліо-Кюрі, здійснивши реакцію ${}^{27}_{13}\mathrm{Al} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} \rightarrow {}^{30}_{15}\mathrm{P} + {}^{1}_{0}n$, вперше отримав штучний радіоактивний ізотоп фосфору ${}^{30}_{15}\mathrm{P}$, який є джерелом позитронів. Так був відкритий позитрон ${}^{+}_{0}e$.

Як видно із наведених прикладів, під час ядерних реакцій виконується закон збереження числа нуклонів. При цьому також виконуються закони збереження електричного заряду, енергії тощо.

Проте виняткова стабільність ядер нерадіоактивних елементів свідчить про те, що їх зміна може статися лише під час надзвичайно великого енергетичного зовнішнього впливу. Відкриття нейтрона стало поворотним етапом у дослідженні ядерних реакцій. Оскільки нейтрони не мають заряду, то вони без перешкод проникають в атомні ядра і спричинюють їх перетворення.

Розглянемо детальніше механізм поділу ядер Урану. Поглинувши нейтрон, ядро розривається на дві частини, і осколки розлітаються зі швидкістю 1/30 швидкості світла. При діленні ядра утворюються ще 2 або 3 нейтрони.

При поділі ядер, що містяться в 1 г Урану, виділяється приблизно така сама енергія, як і під час спалювання 3 т кам'яного вугілля.

Нейтрони, що утворилися під час поділу одного ядра Урану, можуть викликати поділ інших ядер Урану, при цьому число нейтронів наростає лавиноподібно, виникає так звана ланцюгова ядерна реакція, яка підтримується без зовнішнього опромінювання Урану нейтронами.

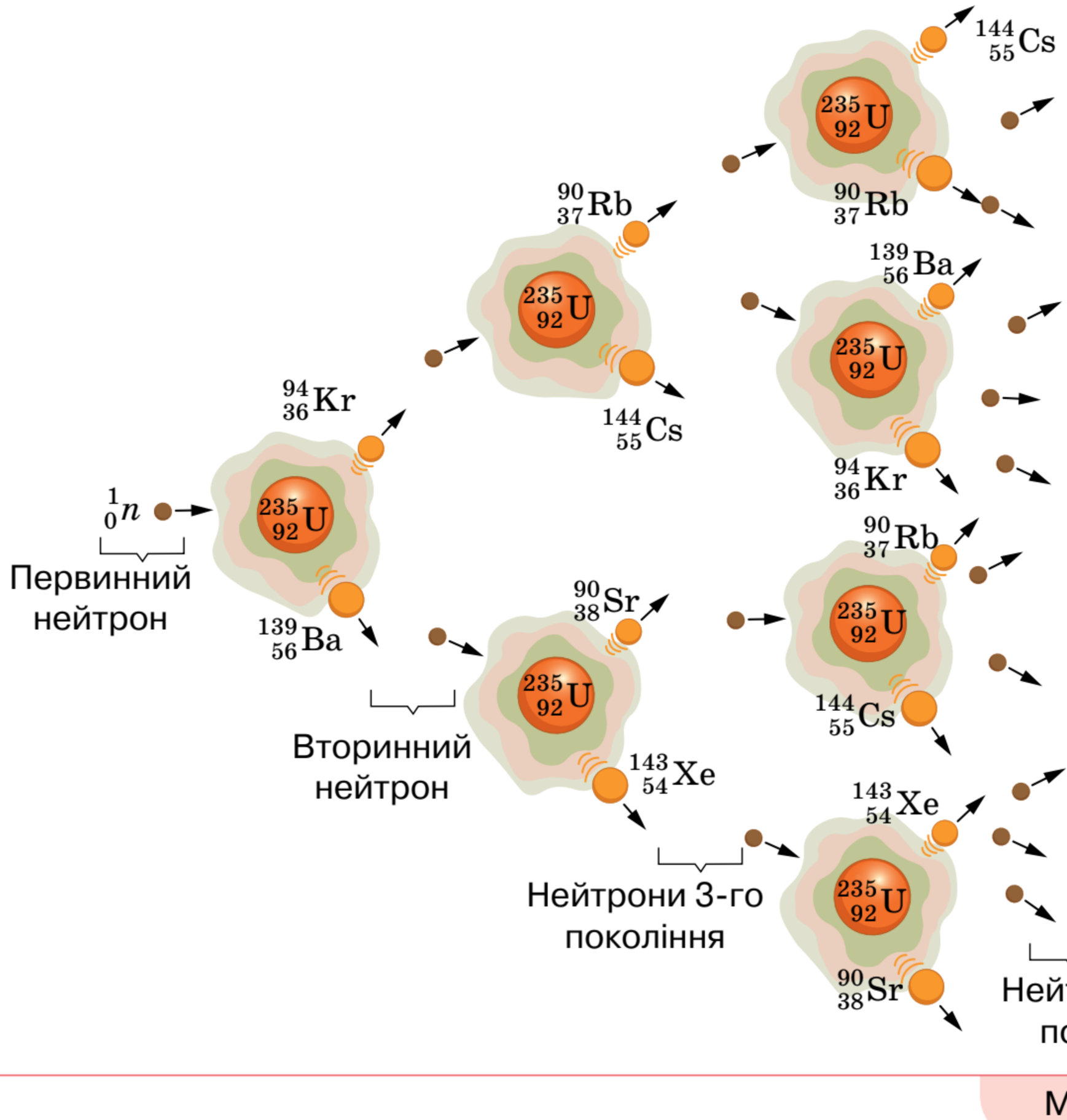
На мал. 33.1 (с. 206) зображено картину перших трьох поколінь ланцюгової реакції поділу ізотопу Урану (U-235).

**Ланцюгова ядерна реакція** (*nuclear chain reaction*) — це процес, у якому одна проведена реакція викликає подальші реакції такого самого типу.

У реальних умовах не всі нейтрони, які утворюються під час поділу, беруть участь у поділі інших ядер. Частина з них захоплюється ядрами сторонніх атомів, які не діляться, інші вилітають зі шматка Урану назовні.

При $k = 1$ кількість поділів підтримується на сталому рівні — такий режим самопідтримуваної ланцюгової реакції називають стаціонарним і використовують в ядерних реакторах.

Відношення кількості актів поділу, спричинених вторинними нейтронами, до кількості поділів, у яких вони самі утворилися, називають **ефективним коефіцієнтом розмножування нейтронів** ($k$).




Мал. 33.1

При $k < 1$ кожне нове покоління нейтронів спричинює дедалі меншу кількість поділів, і реакція без зовнішнього джерела нейтронів швидко завершується.

При $k > 1$ кожне нове покоління нейтронів спричинює дедалі більшу кількість поділів, ланцюгова реакція лавиноподібно зростає і має характер вибуху.

33.1

Практичне здійснення ядерної ланцюгової реакції вимагає подолання значних труднощів. Справа в тім, що природний уран є сумішшю двох ізотопів — Урану-235 в кількості 0,7 % і Урану-238 (99,3%). Ці ізотопи під дією нейтронів поводяться по-різному. Нейтрони, що звільнилися при поділі ядер U-235, здатні викликати поділ лише ядер цього ж Урану, доля якого в природному урані дуже мала і виявляється недостатньою для початку ланцюгової реакції. Ці труднощі долають шляхом збагачення природного урану ізотопами Урану-235 до 5 % та сповільненням нейтронів, щоб істотно зменшити їх поглинання ядрами Урану-238.

Найкращим уповільнювачем нейтронів є «важка вода» (молекули якої складаються з ізотопу водню) дейтерію та кисню: $D_2O$. Звичайна вода при взаємодії з нейтронами сама перетворюється на важку воду. Гарним уповільнювачем нейтронів є також графіт, ядра якого не поглинають нейтрони. При пружній взаємодії з ядрами дейтерію або вуглецю нейтрони сповільнюються до необхідних швидкостей.

**ДУМАЙ**

**1.** Чи можна за допомогою хімічних реакцій перетворювати атоми одного хімічного елемента на атоми іншого хімічного елемента? Поясни свою відповідь. **2.** Чому під час поділу ядер Урану виділяється енергія? **3.** Як відбувається поділ ядра Урану-235? Що називають коефіцієнтом розмноження нейтронів? **4.** У чому різниця поділу Урану-235 і Урану-238? **5.** Ядро урану $\left({}^{235}_{92}\mathrm{U}\right)$ поглинає один нейтрон і ділиться на два уламки й чотири нейтрони. Один з уламків — ядро $\left({}^{137}_{55}\mathrm{Cs}\right)$. Ядром якого ізотопу є другий уламок? **6.** Напиши ланцюжок ядерних перетворень ядра Урану $\left({}^{238}_{92}\mathrm{U}\right)$, що захопив нейтрон, на Плутоній $\left({}^{239}_{94}\mathrm{Pu}\right)$, з огляду на те, що всі ядра, які знову утворюються, є β-радіоактивними, тобто зазнають радіоактивного розпаду з випущенням електрона. **7.** Чому нейтрони виявилися найбільш зручними частинками для бомбардування атомних ядер?

**ДІЙ**

## РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

**1** Замість знака ? запиши позначення, яких бракує в рівняннях ядерної реакції.

$${}^{27}_{13}\mathrm{Al} + {}^{1}_{0}n \rightarrow ? + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$$

$${}^{12}_{6}\mathrm{C} + {}^{1}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{13}_{6}\mathrm{C} + ?$$

$$? + {}^{1}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{22}_{11}\mathrm{Na} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$$

$${}^{55}_{25}\mathrm{Mn} + ? \rightarrow {}^{55}_{26}\mathrm{Fe} + {}^{1}_{0}n$$

$${}^{27}_{13}\mathrm{Al} + \gamma \rightarrow {}^{26}_{12}\mathrm{Mg} + ?$$

**2** Запиши рівняння ядерної реакції, яка відбувається під час бомбардування алюмінію $\left({}^{27}_{13}\mathrm{Al}\right)$ α-частинками і супроводжується вибиванням протона.

**3** Запиши рівняння ядерної реакції, яка відбувається під час бомбардування бору $\left({}^{11}_{5}\mathrm{B}\right)$ α-частинками і супроводжується вибиванням нейтронів.

**4** Внаслідок поділу одного ядра ${}^{235}_{92}\mathrm{U}$ на два осколки виділяється близько 200 МеВ енергії (1 МеВ = $1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Дж). Яка кількість енергії вивільняється під час повного поділу всіх атомів, що містяться в 1 г цього ізотопу (приблизно $2{,}6 \cdot 10^{21}$ атомів)? Яку кількість кам'яного вугілля треба спалити, щоб дістати таку саму кількість енергії?

**5** На скільки градусів можна нагріти 1 000 тонн води за рахунок енергії, що виділяється під час радіоактивного розпаду 1 г Урану? (Скористайся даними з умови попередньої задачі.)

**6** Виконай симуляції 33.2 і 33.3 .

33.4

# § 34. ДОСЛІДЖУЄМО ВИКОРИСТАННЯ ЯДЕРНОЇ ЕНЕРГІЇ

Чому у світі існують енергетичні проблеми? Невже не достатньо ядерної енергії, щоб подолати кризи?



## ДОСЛІДЖУЙ

Проаналізуй приблизний розподіл світового виробництва електроенергії за типами електричних станцій:

- стаціонарні теплові електростанції (ТЕС) — ~61 %;
- гідроелектростанції (ГЕС) — ~14 %;
- атомні електростанції (АЕС) — ~ 9 %;
- відновлювані (сонце, вітер, біоенергія тощо) — ~13–14 %.

Висунь гіпотези, чому кількість атомних станцій набагато менша, ніж теплових чи гідроелектростанцій.

Знайди інформацію про переваги та недоліки атомної енергетики.

Які технології або рішення могли б зробити атомну енергетику безпечнішою й доступнішою?

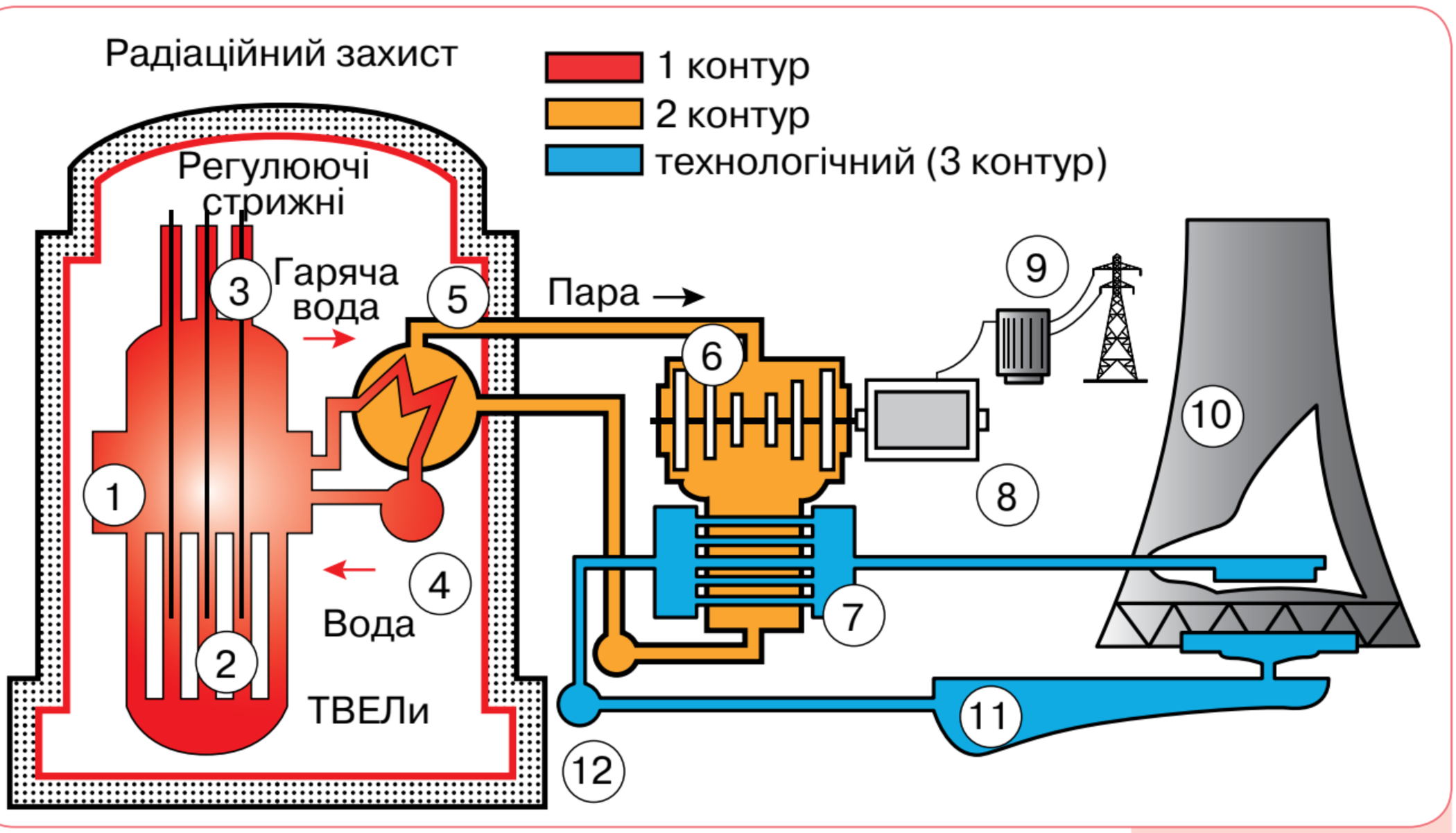
## ДІЗНАВАЙСЯ

***Як використовують ядерну енергію?*** Щоб використовувати ядерну енергію, потрібно керувати ядерною реакцією. Це здійснюється в пристрої, який називають ядерним (або атомним) реактором. Перший ядерний реактор було побудовано у 1942 році в США під керівництвом Е. Фермі.

Основними частинами ядерного реактора є *активна зона* (де міститься ядерне паливо, відбувається ланцюгова реакція ядерного поділу і виділяється енергія), *відбивач нейтронів* (який оточує активну зону), *система регулювання ланцюгової реакції*, *радіаційний захист* і *теплоносій*.

На атомних електростанціях України застосовують водо-водяні енергетичні реактори (ВВЕР) корпусного типу з водою під тиском. Термін «водо-водяний» означає, що сповільнювачем нейтронів і теплоносієм, який відводить тепло, що виділяється в реакторі, служить знесолена вода з розчином бору. Вода у реакторі перебуває під достатнім тиском для запобігання її закипання і водночас забезпечує високу температуру теплоносія (понад 300 °С).

Теплова схема електростанції — двоконтурна (мал. 34.1). Перший контур — радіоактивний. Він містить ядерний реактор (1), циркуляційні трубопроводи, головний циркуляційний насос (4). Другий контур — нерадіоактивний. Він містить парогенератор (5), паропроводи, парову турбіну (6) та інші пристрої.




Мал. 34.1

Ядерна реакція протікає в *активній зоні* реактора (2). *Ядерне паливо* (низькозбагачений двоокис Урану) завантажують у реактор у тепловидільних елементах (ТВЕЛах). В активну зону вводяться також *регулюючі стрижні* (3), що дозволяють керувати швидкістю ланцюгової реакції й підтримувати значення коефіцієнта розмноження нейтронів $k = 1$. Для повернення нейтронів в активну зону використовують відбивач нейтронів, що її оточує. Завдяки цьому збільшується кількість нейтронів у зоні поділу ядер Урану-235.

Оскільки ядерний реактор є потужним джерелом нейтронів і $\gamma$-променів, то в ньому передбачено радіаційний захист. В активній зоні міститься перший контур теплоносія, у якому циркулює вода під високим тиском. Вода в першому контурі нагрівається за рахунок енергії, що виділяється під час реакції поділу ядер Урану в тепловидільних елементах (її температура сягає понад 300 °С), і проходить по трубах через *паровий генератор*. Парогенератор є загальним устаткуванням для першого і другого контурів. Вода другого контуру теплоносія у паровому генераторі перетворюється на водяну пару високого тиску. Далі, як і в теплових електростанціях, водяна пара спрямовується на *лопаті турбіни* (6), з'єднаної з *електрогенератором* (8).

У сучасних атомних електростанціях коефіцієнт корисної дії становить близько 30 %. Отже, для виробництва 1000 МВт електричної потужності теплова потужність реактора має сягати 3000 МВт. При цьому 2000 МВт забирає вода третього контуру, що охолоджує конденсатор.

Головна проблема експлуатації ядерних реакторів — це забезпечення повної радіаційної безпеки людей, які працюють на атомних електростанціях, і запобігання випадкових викидів радіоактивних речовин, що у великій кількості накопичуються в активній зоні реактора.

Ядерні реактори використовують не лише на атомних електростанціях. На морському й космічному транспорті також використовують ядерно-енергетичні установки. Енергія, що виробляється ядерно-енергетичною установкою, йде на живлення системи управління рухом, автоматики, двигунів, систем радіозв'язку, телеметричної системи, системи, що підтримує постійну температуру в житлових і приладових відсіках, систем життєдіяльності тощо.

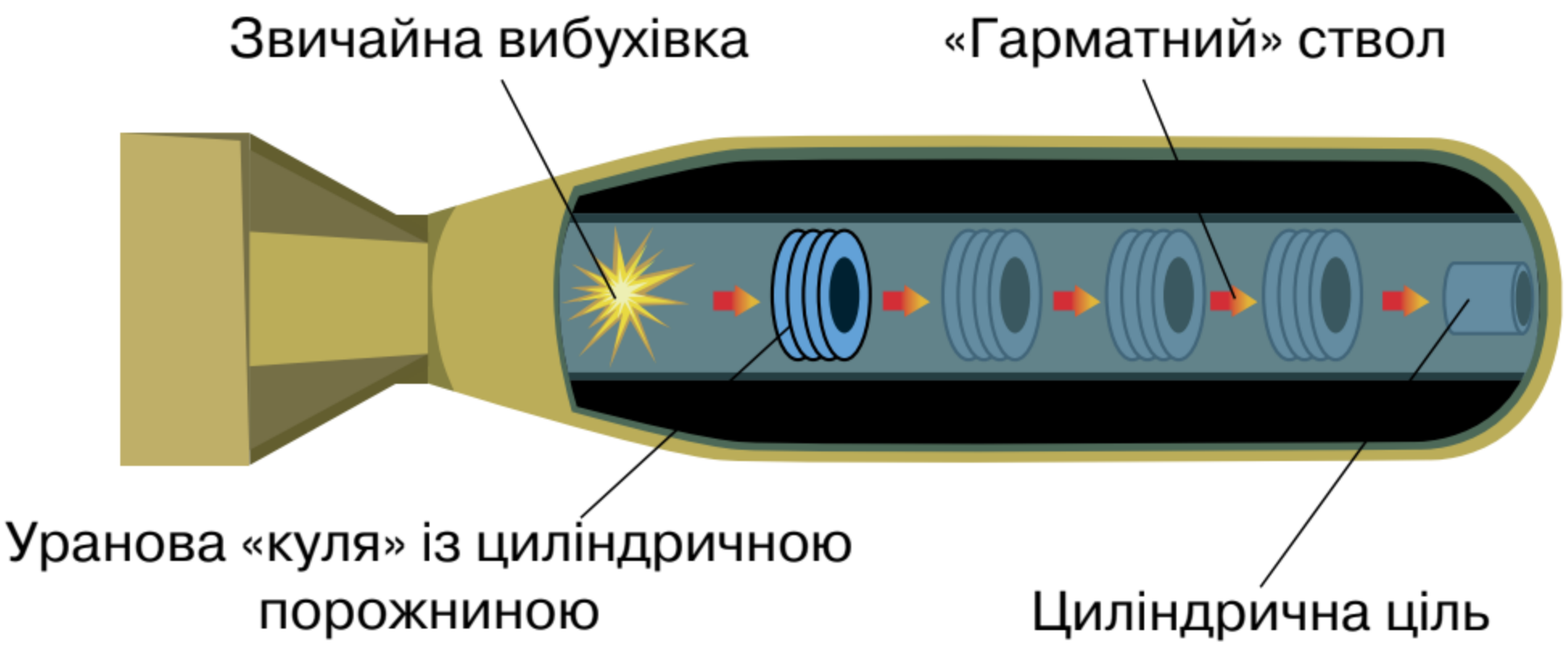
Спочатку найбільшого поширення набули ядерно-енергетичні установки з водо-водяними реакторами під тиском. Згодом стали розробляти реактори з рідкометалевим теплоносієм для охолодження активної зони. Такі реактори мають найменші габарити, а висока температура рідкометалевого теплоносія (близько 600 °С) забезпечує коефіцієнт корисної дії ядерно-енергетичної установки до 40 %.

В Україні діяли й діють потужні наукові школи, що займаються дослідженнями в галузі ядерної енергетики. Так, за участі українських

учених і конструкторів було розроблено ядерні реактори для атомних підводних човнів, космічні ядерно-енергетичні установки для розміщення на супутниках тощо.

Окрім мирного використання ядерної енергії для потреб людства, існує й військове використання енергії атомного ядра — некерована ланцюгова ядерна реакція в атомній бомбі. Ліза Мейтнер (1878–1968) — австрійсько-шведська фізикиня, одна з провідних дослідниць ядерної фізики XX століття, яка вперше дала теоретичне пояснення ядерного поділу, рішуче відмовилася брати участь у створенні атомної бомби, підкреслюючи етичну відповідальність ученого. Проте військові потреби все ж призвели до конструювання атомної бомби. Основними елементами атомної бомби є: заряд, оболонка й так званий вибуховий пристрій (мал. 34.2). Заряд складається з речовини, атомне ядро якої здатне до розщеплення (Уран-235, Уран-233 і Плутоній-239).

Самопідтримувана ланцюгова реакція поділу атомних ядер стає можливою, коли маса речовини перевищує деяку критичну межу. Для Урану-235 критична маса становить близько 40 кг, для Плутонію-239 — 10–13 кг. Критична маса залежить від ізотопного складу, густини активної речовини й навіть її форми. Щоб запобігти передчасному вибуху, у перших атомних бомбах загальна маса заряду вкладалася в корпус окремими частинами. Кожна із частин мала масу, меншу від критичної. У потрібний момент за допомогою детонатора і звичайної вибухівки частини заряду поєднувалися, і відбувався вибух.




Мал. 34.2

Уперше атомну бомбу було розроблено в 40-х роках XX ст. в США. Перше випробування здійснено 16 липня 1945 р. на полігоні неподалік Аламогордо (штат Нью-Мексико). Наприкінці Другої світової війни на японські міста Хіросіма та Наґасакі вперше було скинуто дві атомні бомби, які призвели до значних людських жертв і руйнувань.

Основним із факторів ураження атомної бомби є надзвичайно потужна вибухова хвиля, що призводить до суцільних руйнувань в радіусі

1 км від епіцентру вибуху. Окрім вибухової хвилі, уражаючими факторами є також світлове й радіоактивне випромінювання (у тому числі радіоактивні продукти розпаду, що залишаються небезпечними протягом тривалого часу).

***Які переваги і недоліки ядерної енергії?*** Прихильники атомної енергетики аргументують її переваги таким чином.

1. В атомній енергетиці фактично не відбувається викидів парникових газів. Повний ядерно-енергетичний цикл (від видобутку урану до поховання відходів, включаючи спорудження реакторів) характеризується викидом лише 2–6 г вуглецю на 1 кВт електроенергії. Приблизно така сама кількість вуглецю виділяється при використанні енергії вітру й сонця, що приблизно в 100 разів менше, ніж при використанні вугілля, нафти або природного газу. Якщо закрити АЕС в усьому світі й замінити їх тепловими електростанціями, то викиди вуглецю збільшаться на 600 млн т за рік, а загальний обсяг викидів в атмосферу Землі приблизно вдвічі перевищить допустимі значення.
2. Атомна енергетика на сьогодні краще забезпечена паливними ресурсами порівняно з традиційною енергетикою. При використанні існуючих сьогодні технологій ядерного циклу світових запасів Урану вистачить до кінця сторіччя, а в разі переходу на нові види палива ресурсна база АЕС стане практично необмеженою.
3. Вартість електроенергії, що виробляється на АЕС, має низький рівень залежності від ціни на паливну сировину.

До проблемних питань сьогоднішньої атомної енергетики належать питання безпеки, а передусім — утилізація радіоактивних відходів. Донедавна екологічні проблеми атомної енергетики відсувалися на другий план порівняно з її перевагами. Усе змінила аварія на Чорнобильській АЕС в Україні в 1986 р. (мал. 34.3, а), що кваліфікується за міжнародною шкалою ядерних інцидентів як аварія найвищого — сьомого рівня. Після того, як увесь світ побачив руйнівну потужність ядерної енергії, головні екологічні проблеми атомної енергетики стали пов'язувати з можливим повторенням подібних катастроф. Ці побоювання виправдалися у 2011 р., коли в результаті землетрусу сталася аварія на японській АЕС «Фукусіма-1» (мал. 34.3, б), яку також було оцінено по сьомому (максимальному) рівню небезпеки. Повна ліквідація наслідків подібних аварій займатиме приблизно 30–40 років.

Природно, що після названих подій екологічні проблеми ядерної енергетики знову виявилися на чолі кута в питаннях розвитку світового енергетичного комплексу. Розв'язання екологічних проблем ядерної енергетики життєво потрібне, і недооцінювати усієї їх серйозності було б страшною помилкою. Хоча при цьому і не варто взагалі зводити нані-

вець роботу атомних електростанцій: адже для багатьох країн це єдина можливість отримувати недорогу енергію і при цьому не залежати від умов і політичних переваг інших держав.




Мал. 34.3

**ДУМАЙ**

**1.** Чим відрізняються керовані й некеровані ядерні реакції? **2.** Як виробляють електроенергію на атомній електростанції? **3.** У чому принципова відмінність між атомними й тепловими електростанціями? Які переваги й недоліки атомних електростанцій? **4.** Під час вибухів атомних бомб у серпні 1945 року — 6 серпня над Хіросімою (“Little Boy”, уранова бомба) і 9 серпня над Наґасакі (“Fat Man”, плутонієва бомба) — у навколишнє середовище було викинуто велику кількість радіоактивних елементів, які утворилися в результаті ланцюгової реакції поділу ядер Урану-235 та Плутонію-239 (Цезій-137, Стронцій-90, Йод-131, Барій-140, Рутеній-106, Цирконій-95, Криптон-85, Ксенон-133, Уран-235, Плутоній-239, Нептуній-239, Америцій-241, Телур-132, Йод-133, Лантан-140). Які з них становили небезпеку тільки в перші години після вибуху, а які можуть загрожувати життю людей і зараз? **5.** Що розуміють під екологічними проблемами атомної енергетики?

**ДІЙ**

## ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

**Виконуй досліди з дотриманням правил безпеки життєдіяльності!**

Уяви, що твоя команда бере участь у міжнародному проєкті «Енергія майбутнього». Одне із завдань — змоделювати можливість будівництва атомної електростанції у твоїй області (районі, регіоні). Тобі потрібно дослідити, чи доцільно та безпечно розміщувати АЕС у твоїй місцевості.

1. Досліди карти сейсмічної активності, водних ресурсів, щільності населення, клімату, екосистем.
2. Опиши, яку типову конструкцію реактора (наприклад, водо-водяний енергетичний реактор ВВЕР) обереш, і чому.
3. Визнач, як АЕС впливатиме на повітря, воду, довкілля. Знайди способи мінімізувати ризики.
4. Проведи мініопитування серед однокласників / однокласниць: «Чи підтримали б ви будівництво АЕС у нашому регіоні?»
5. Які критерії потрібно врахувати під час вибору місця для АЕС?

34.1

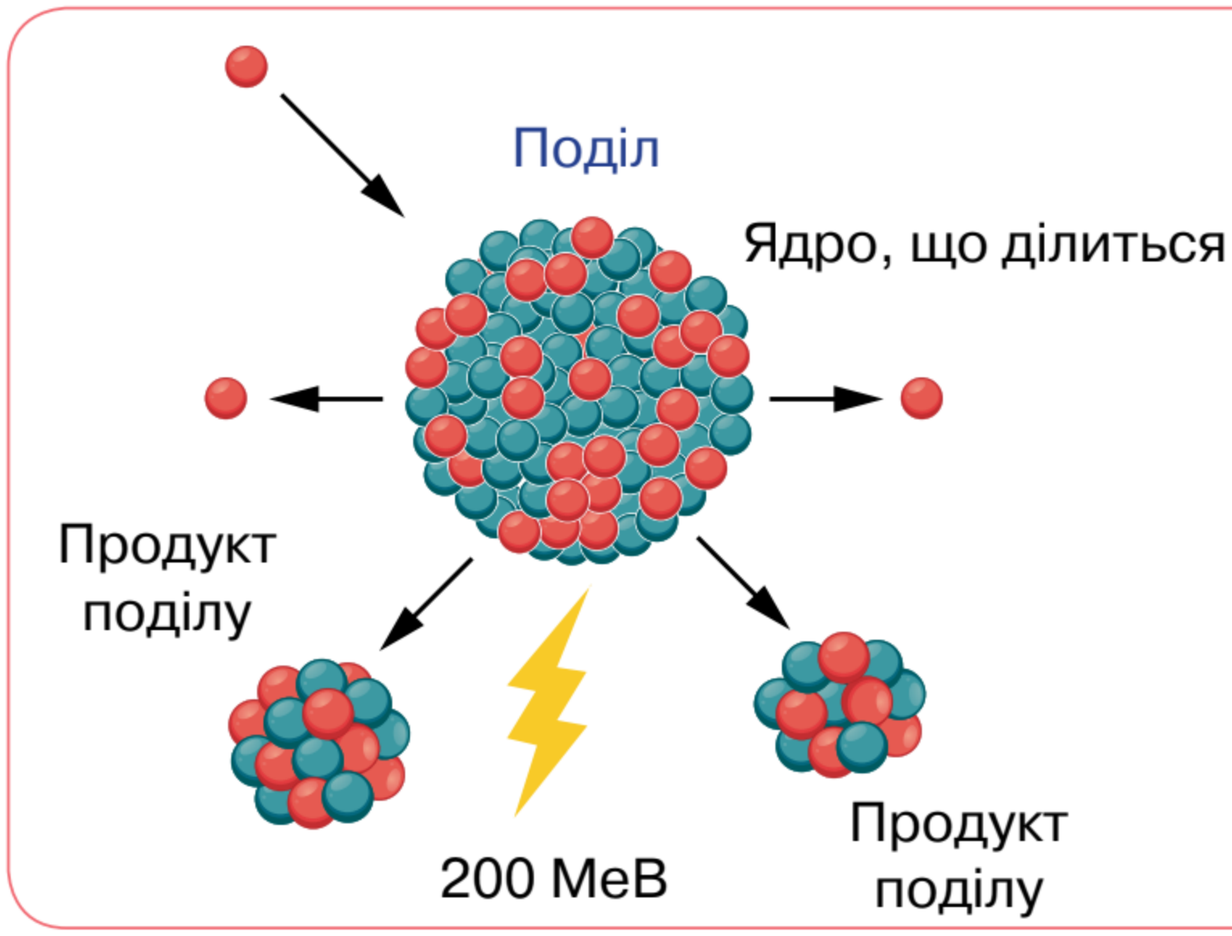
# § 35. ДОСЛІДЖУЄМО ТЕРМОЯДЕРНУ ЕНЕРГІЮ



Ядерна енергія виділяється при розпаді ядра. А чи може утворення ядер теж супроводжуватися виділенням енергії?

## ДОСЛІДЖУЙ

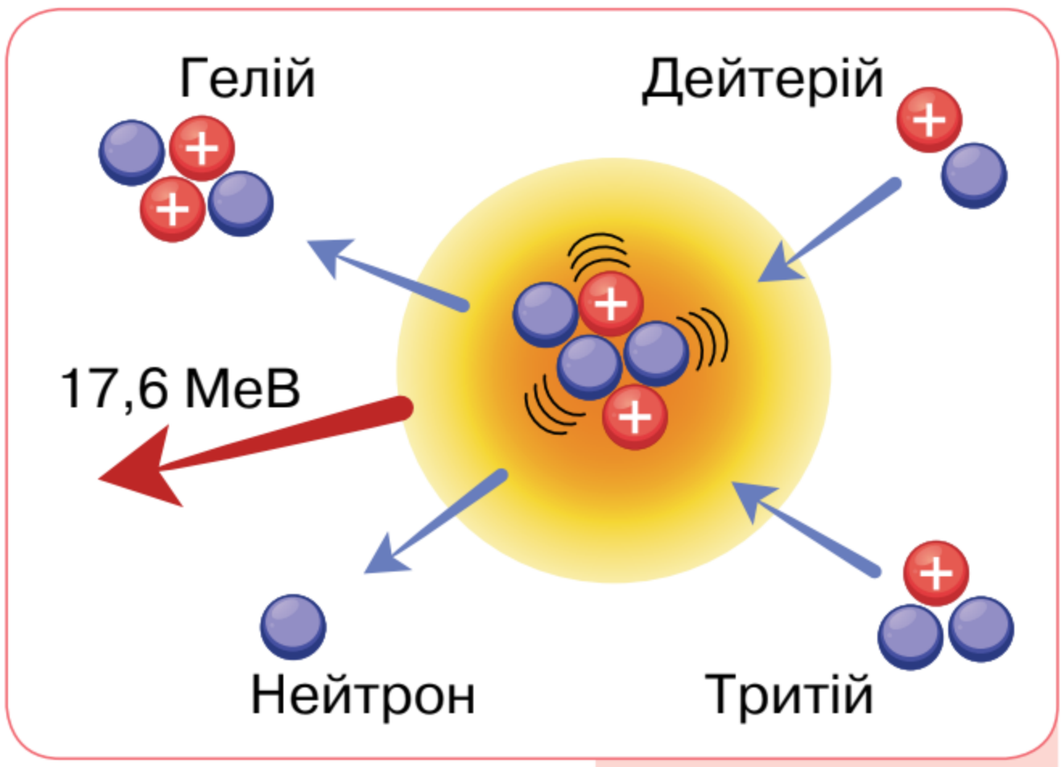
За малюнком 35.1, що ілюструє ядерний поділ (*fission*) і ядерний синтез (*fusion*), поясни, що спільного і що відмінного між ними. Укажи, який процес відбувається в атомних електростанціях, а який — у зорях і на Сонці. У якій реакції виділяється більша кількість енергії? Порівняй кількість енергії, яка припадає на один нуклон у кожній реакції.




Мал. 35.1

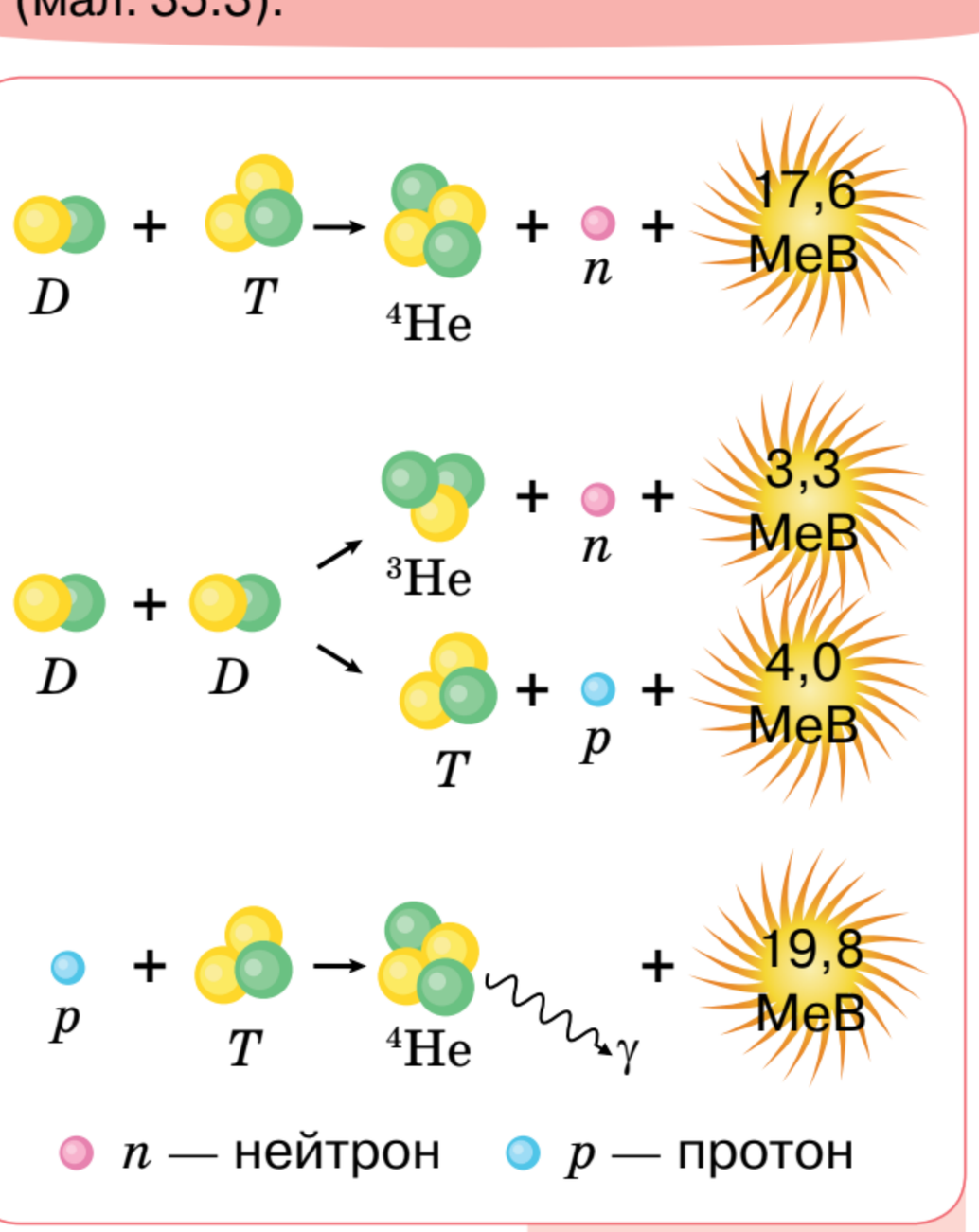
## ДІЗНАВАЙСЯ

***Дізнаємося про термоядерні реакції.*** Під час поділу важких ядер Урану виділяється велика кількість енергії. Так, під час поділу одного ядра Урану-235 виділяється 200 МеВ енергії. Проте вдалося встановити, що при злитті легких ядер (як кажуть, їх синтезі) виділяється ще більша кількість енергії. Наприклад, якщо здійснити злиття ізотопів Водню (Дейтерію і Тритію), в результаті чого утворюється гелій і випромінюється нейтрон ${}^{2}_{1}\mathrm{H} + {}^{3}_{1}\mathrm{H} \rightarrow {}^{4}_{2}\mathrm{He} + {}^{1}_{0}n$, то при цьому виділяється 17,6 МеВ енергії (мал. 35.2). Порівняй цю реакцію із реакцією ядерного синтезу на малюнку 35.1.




Мал. 35.2

**Термоядерними реакціями** (*thermonuclear reaction*) називають ядерні реакції синтезу легких ядер у важчі і які супроводжуються виділенням енергії (мал. 35.3).




Мал. 35.3

Це дуже багато, якщо врахувати, що в реакції беруть участь всього 5 нуклонів! Справді, в розрахунку на один нуклон в реакції виділяється енергія приблизно 3,5 МеВ, в той час як при розподілі ядра Урану виділяється «всього» 1 МеВ на нуклон.

Такі ядерні реакції називають *термоядерними*. Сама назва цих реакцій вказує на певну їх особливість — вони відбуваються за дуже великих температур. Щоб почалося злиття ядер, їх потрібно зблизити впритул, щоб вступили в дію ядерні сили. Для такого зближення потрібно подолати кулонівське відштовхування ядер, яке різко зростає зі зменшенням відстані між ними. Це можливо лише у випадку, якщо самі ядра мають дуже велику енергію, в першу чергу, кінетичну енергію руху, тобто тоді, коли їх швидкість досить велика. Це, у свою чергу, можливо лише за дуже високої температури (у десятки і сотні мільйо-

нів градусів). Тому реакцію ядерного синтезу і називають термоядерною реакцією.

При злитті ядер виділяється енергія, яку називають термоядерною, вона більша за енергію, що виділяється при поділі важких ядер (з розрахунку на 1 нуклон). З фізичної точки зору це зрозуміло: енергією реакції ядерного ділення є в основному кінетична енергія осколків, розігнаних електричними силами відштовхування, а при ядерному синтезі енергія вивільняється в результаті розгону нуклонів назустріч один одному під дією потужніших ядерних сил. Простіше кажучи, при поділі ядер вивільняється енергія електричної взаємодії, а при синтезі ядер — енергія сильної (ядерної) взаємодії.

Термоядерні реакції ефективно відбуваються при надвисоких температурах близько $10^7$–$10^9$ °С. Це надзвичайно висока температура. За такої температури речовина перебуває в повністю йонізованому стані, який називають *плазмою*.

Здійснення термоядерних реакцій в земних умовах дає людству можливість отримати екологічно чисту і практично невичерпну енергію (на відміну від реакцій поділу важких ядер, в результаті термоядерного синтезу не утворюються радіоактивні відходи). Дейтерій, необхідний для найбільш ефективної реакції, міститься у воді морів і океанів (у вигляді молекул $H_2O$ і $D_2O$), його кількості вистачить на сотні мільйонів років. Тритій можна отримувати в ядерному реакторі у результаті опромінення нейтронами рідкого літію (запаси якого величезні). Проте отримання надвисоких температур і утримання плазми, нагрітої до мільярда градусів, є важким науково-технічним завданням на шляху здійснення керованого термоядерного синтезу.

***Енергія Сонця й зір.*** Термоядерні реакції відіграють надзвичайно важливу роль в еволюції Всесвіту. Енергія випромінювання Сонця і зір має термоядерне походження.

Сонце і зорі випромінюють величезну енергію в світовий простір, і ця енергія поповнюється за рахунок ядерних реакцій з'єднання легких елементів (мал. 35.4).

У центрі Сонця температура близько 13 мільйонів градусів. За цією температури атоми повністю йонізовані, тобто навколо їх ядер вже не існує електронних оболонок. Фактично Сонце заповнене електронно-йонним газом. Високі температури викликають колосальні тиски цих газів, і ядра можуть підійти значно ближче один до одного, ніж в земних умовах за звичайних температур. Дослідження показали, що на Сонці і у ряді інших зір йде цілий ряд ядерних реакцій, в результаті яких чотири атоми водню перетворюються на одне ядро гелію. В результаті цих реакцій виділяється величезна кількість енергії. При перетворенні одного кілограма водню на гелій виділяється тепло, достатнє для того, щоб закип'ятити півтора мільйони кубометрів води.




Мал. 35.4

Цікаво, що термоядерна реакція на Сонці протікає дуже повільно. Треба декілька мільйонів років, щоб чотири атоми водню перетворилися на ядро гелію. При такому повільному процесі тільки дякуючи участі велетенських мас речовини можливе виділення Сонцем величезної кількості тепла. Виявляється, що Сонце випромінює таку величезну енергію, що разом з цією енергією кожну секунду Сонце втрачає чотири з половиною мільйони тонн своєї маси. Правда, для Сонця ця втрата абсолютно мізерна. Маса його настільки велика, що за два мільярди років свого безперервного випромінювання Сонце втрачає не більше однієї десятої відсотка своєї маси.

Природно, що в результаті ядерних реакцій вміст водню на Сонці зменшується, і після того, як увесь водень витратиться, виділення енергії припиниться — Сонце згасне. Але і тут побоюватися немає чого. Нині на Сонці стільки водню, що його вистачить, як показують підрахунки, на 100 мільярдів років.

У різних зорях мають місце різні ядерні реакції, а в одній і тій самій зорі в процесі її розвитку одні ядерні реакції змінюють інші. Спочатку відбувається реакція «згоряння» дейтерію. При цьому температура зорі збільшується, тиск усередині неї підвищується, і стискування зорі сповільнюється або призупиняється аж до вигорання дейтерію. Наступним етапом еволюції зорі є розвиток в ній ядерних реакцій синтезу гелію з воднем. Саме ці ядерні реакції мають основне енергетичне значення для Сонця і багатьох інших зір.

**ДУМАЙ**

**1.** В чому різниця між реакціями ядерного поділу і синтезу? **2.** Чому для утворення термоядерної реакції необхідна велика температура? **3.** Ядра яких елементів вступають в реакцію синтезу у першу чергу? **4.** Чому Сонце втрачає масу? **5.** На який період має вистачити запасу водню на Сонці за підрахунками вчених?

35.1

# § 36. ДОСЛІДЖУЄМО ДІЮ РАДІОАКТИВНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ



Михайле, а ти чув, що в Чорнобильській зоні бігають трьохголові вовки?

Лізо, мені здається, що це фейк. Давай краще з'ясуємо, як радіація впливає на організми.

## ДОСЛІДЖУЙ

Проаналізуй властивості й характеристики радіоактивних променів. Уяви, що ти інженер / інженерка з радіаційної безпеки. Потрібно створити контейнер для зберігання джерел випромінювання трьох типів.

- Які матеріали ти використаєш для кожного?
- Яке розташування шарів вибереш і чому?

| Ознака | Альфа-випромінювання ($\alpha$) | Бета-випромінювання ($\beta$) | Гамма-випромінювання ($\gamma$) |
|---|---|---|---|
| Склад частинок / природа випромінювання | Потік ядер гелію ($2p + 2n$), заряд $+2e$ | Потік електронів ($\beta^-$) або позитронів ($\beta^+$), заряд $-1e$ або $+1e$ | Електромагнітне випромінювання (фотони дуже великої енергії), не має маси й заряду |
| Швидкість поширення | ≈20 000 км/с (≈0,07 с) від швидкості світла | Близько 270 000 км/с (до 0,9 с) від швидкості світла | Дорівнює швидкості світла (≈300 000 км/с) |
| Проникна здатність | Невелика: зупиняється аркушем паперу або шкірою | Середня: проходить через папір, але зупиняється тонким шаром алюмінію (≈1–2 мм) | Дуже велика: проходить через тіло, бетон; послаблюється свинцем або товстим бетоном |
| Йонізуюча здатність | Дуже висока (≈$10^4$ пар йонів/см) | Середня | Низька |
| Відхилення в електричному і магнітному полі | Відхиляється до негативного полюсу (позитивний заряд) | Відхиляється до позитивного полюсу (негативний заряд $\beta^-$) | Не відхиляється (немає заряду) |

| **Ознака** | **Альфа-випромінювання** ($\alpha$) | **Бета-випромінювання** ($\beta$) | **Гамма-випромінювання** ($\gamma$) |
|---|---|---|---|
| Джерело виникнення | Переважно важкі ядра (уранію, радію, торію) | Ядра із надлишком або нестачею нейтронів | Супроводжує $\alpha$- або $\beta$-розпад; виникає при переході ядра в нижчий енергетичний стан |
| Вплив на людину | Зовнішньо майже безпечне, але небезпечне при потраплянні всередину організму | Може викликати опіки шкіри, порушення ДНК | Проходить крізь тіло, може уражати внутрішні органи |
| Засоби захисту | Аркуш паперу, одяг, рукавички | Алюмінієва пластина, скло | Свинець, бетон, спеціальні екрани |
| Приклад нуклідів-джерел | $^{226}Ra$, $^{238}U$, $^{241}Am$ | $^{14}C$, $^{60}Co$, $^{90}Sr$ | $^{60}Co$, $^{137}Cs$ |

## ДІЗНАВАЙСЯ

***Як радіоактивне випромінювання впливає на речовини?*** Тобі відомо про небезпечний вплив радіації (*радіація* — скор. *радіоактивне випромінювання*). Небезпеку радіоактивних променів для людини дослідники виявили із самого початку відкриття радіоактивності. Так, А. Беккерель і М. Кюрі-Склодовська, які вивчали властивості радіоактивних елементів, отримали сильні опіки шкіри від випромінювання радію. У чому ж небезпека радіації, і які засоби слід вживати для захисту від її негативного впливу?

Як ми вже з'ясували, радіоактивне випромінювання має досить велику енергію, і його дія на речовину, зокрема й на живі організми, полягає в тому, що цієї енергії достатньо, щоб йонізувати атоми і молекули цих речовин. Тому радіоактивне випромінювання ще називають *йонізаційним випромінюванням*.

Розрізняють безпосередньо йонізуюче і побічно йонізуюче випромінювання. Безпосередньо йонізуюче випромінювання є потоком заряджених частинок, кінетична енергія яких достатня для йонізації внаслідок зіткнення з атомами речовини. Побічно йонізуюче випромінювання є потоком незаряджених частинок (наприклад, нейтронів), які можуть створювати безпосередньо йонізуюче випромінювання або викликати ядерні перетворення при взаємодії з середовищем.

Характерною особливістю йонізаційної дії $\alpha$-*частинок* є те, що вони мають досить значну енергію і, пролітаючи крізь речовину, поступово її втрачають, йонізуючи молекули речовини, і врешті зупиняються.

Проте, зіткнення з електронами практично не змінюють траєкторію руху важкої α-частинки, тому можна вважати, що вона рухається практично прямолінійно. У повітрі вони можуть пройти шлях 2–9 см, в біологічній тканині — 0,02–0,06 мм. У повітрі за нормальних умов α-частинки утворюють в середньому приблизно 50 000 пар йонів на 1 см шляху.

Найбільшу небезпеку для людей α-частинки несуть під час потрапляння всередину організму з продуктами харчування, водою і повітрям. Ці частинки практично з організму не виводяться!

Особливістю йонізаційної дії потоку β-*частинок* є те, що швидкість руху β-частинок, отриманих внаслідок радіоактивного розпаду, можна порівняти зі швидкістю світла. Маючи малу масу і велику швидкість руху, β-частинки мають більшу проникну здатність, ніж α-частинки. Вони можуть пройти шлях у повітрі до 15 м, у воді і біологічній тканині — до 12 мм.

Бета-електрони можуть пружно або непружно взаємодіяти з частинками речовини (атомними ядрами або орбітальними електронами), і їх траєкторії мають покручений вигляд.

Бета-частинки, на відмінну від α-частинок, виводяться з організму, проте їх вплив на біологічну тканину небезпечніший: вони викликають йонізацію атомів, що приводить до порушення синтезу білку, функції організму в цілому. Потік β-частинок діє, як правило, на верхні шари шкіри. Під час аварії на Чорнобильській АЕС у 1986 році пожежники отримали опіки шкіри в результаті дуже сильного опромінення β-частинками. Якщо речовина, що випускає β-частинки, попадає в організм, вона буде опромінювати внутрішні тканини.

Взаємодія γ-*променів* із речовиною істотно відрізняється від взаємодії α- і β-частинок. У той час як заряджені частинки передають свою енергію електронам атомів під час багатократних процесів зіткнення, γ-промені віддають всю або, принаймні, велику частину своєї енергії при однократній взаємодії. Проте ймовірність такої взаємодії дуже низька, тому γ-промені мають набагато більшу проникаючу здатність, ніж заряджені частинки. Гамма-промені легко проникають не лише крізь тіло людини, а й доволі товсті шари металу.




Будь-який вид йонізуючих випромінювань викликає біологічні зміни в живому організмі як при зовнішньому (джерело знаходиться поза організмом), так і при внутрішньому (радіоактивні речовини потрапляють всередину організму з їжею, через органи дихання) опроміненні. Основний механізм дії пов'язаний з процесами йонізації атомів і молекул живої матерії, зокрема молекул води, що містяться в клітинах. Вони і піддаються інтенсивному руйнуванню. Викликані зміни можуть бути поворотними або безповоротними і протікати в хронічній формі променевої хвороби.

***Як виміряти дію радіоактивного випромінювання?*** Величина дії йонізуючих випромінювань на живий організм залежить від кількості енергії, отриманої організмом внаслідок йонізаційного впливу, тривалості дії, виду випромінюючого радіонукліда.

Використовують такі дозиметричні величини.

| Величина | Позначення | Одиниця (СІ) | Що характеризує |
|---|---|---|---|
| Експозиційна доза | $X$ | Кулон на кілограм (Кл/кг) | Кількість йонів, створених $\gamma$- або $X$-випромінюванням у повітрі |
| Поглинута доза | $D$ | Грей (Гр), 1 Гр = 1 Дж/кг | Енергія, яку випромінювання передає одиниці маси речовини. Показує, скільки енергії реально отримав організм чи матеріал |
| Еквівалентна доза | $H$ | Зіверт (Зв) | Враховує не лише енергію (поглинуту дозу), а й біологічну дію виду випромінювання |
| Ефективна доза | $E$ | Зіверт (Зв) | Враховує чутливість різних органів і тканин. Показує загальний ризик опромінення для всього організму |
| Потужність дози | $P$ | Гр/с або Зв/год | Швидкість накопичення дози у часі — скільки радіації отримується за секунду або годину |

Великі дози опромінення вбивають клітини організму, зупиняють їх поділ, пригноблюють ряд біохімічних процесів, що лежать в основі життєдіяльності, ушкоджують структуру ДНК і тим самим порушують генетичний код і позбавляють клітину інформації, що лежить в основі її життєдіяльності. В той же час малі дози опромінення переводять деякі клітини з обмеженою можливістю до поділу в популяцію (що нескінченно ділиться) з активним посиленням обміну речовин.

Для зниження загрози опромінення навколо джерел радіоактивного випромінювання розташовують біологічний захист з речовин, що добре поглинають випромінювання. Найпростішим методом захисту є віддалення на достатню відстань від джерел випромінювання. Якщо це не можливо, то для захисту використовують перешкоди з різних поглинальних матеріалів, а робота з радіаційними препаратами здійснюється за допомогою маніпуляторів. Відомо, що $\alpha$-частинки затримуються навіть аркушем паперу, $\beta$-випромінювання слід екранувати шаром пластмаси або спеціального скла, що містить свинець. Для захисту від $\gamma$-променів використовують свинцеві контейнери. Навколо особливо потужних джерел (ядерних реакторів, прискорювачів частинок) споруджують бетонні стіни відповідної товщини.

Радіоактивні речовини можуть потрапити в організм під час вдихання забрудненого радіоактивними елементами повітря, із продуктами харчування або водою. Щоб деякою мірою захистити організм від радіації, застосовують речовини-оксиданти, що належать до радіопротекторів (їх необхідно вживати до опромінення).

**Безпечні й небезпечні дози йонізуючого випромінювання**

| Рівень дози | Діапазон (Зв) | Характер впливу на організм | Коментар |
|---|---|---|---|
| 🟢 Безпечна (фоновий) | 0,000001–0,001 Зв (1 мкЗв–1 мЗв) | Природний радіаційний фон, який людина отримує щодня від Землі, космосу, будівельних матеріалів | Це нормальний природний рівень. Не становить загрози |
| 🟢 Допустима для населення | До 0,001 Зв/рік (1 мЗв/рік) | Річна межа, рекомендована для цивільного населення МАГАТЕ та МОЗ | Доза, яку людина може отримати без шкоди для здоров'я протягом життя |
| 🟡 Професійно допустима | До 0,02 Зв/рік (20 мЗв/рік) | Для працівників, які мають контакт із джерелами випромінювання | Вимагає медичного контролю і засобів захисту |
| 🔴 Підвищена (небезпечна при тривалому впливі) | 0,1–0,5 Зв | Може спричинити легкі зміни в крові, тимчасове погіршення самопочуття | Потрібен дозиметричний контроль і обмеження часу перебування |
| 🔴 Небезпечна для здоров'я | 0,5–1,0 Зв | Радіаційне ураження легкого ступеня: нудота, слабкість, зміни крові | Може вимагати медичної допомоги |
| 🔴 Висока (гостра променева хвороба) | 1–2 Зв | Втрата апетиту, нудота, зміни складу крові, тимчасова втрата волосся | Перші ознаки променевої хвороби |
| ⚫ Дуже небезпечна | 2–5 Зв | Важка форма променевої хвороби, можливі летальні випадки (до 50 %) | Потрібна негайна госпіталізація |
| ⚫ Смертельна | > 6 Зв | Гостре ураження кісткового мозку, внутрішніх органів, смерть протягом днів або тижнів | Смертельна доза без інтенсивного лікування |

Радіація, пов'язана з розвитком атомної енергетики, складає лише малу долю. Істотну частину опромінення живі організми отримують від природних джерел радіації: з космосу і від радіоактивних речовин, що знаходяться в земній корі, від застосування рентгенівських променів в медицині, під час польоту на літаку, від кам'яного вугілля, що спалюється у великій кількості різними котельними, тощо. До відома, під час

перельоту Київ–Нью-Йорк можна отримати опромінення ≈0,05 мЗв, при рентгені грудної клітки ≈0,1 мЗв, комп'ютерній томографії $\approx 5^{-10}$ мЗв.

Природна радіоактивність існує мільярди років, вона супроводжує людину буквально всюди. Радіоактивні матеріали увійшли до складу Землі з самого її народження. Будь-яка людина сама злегка радіоактивна: в тканинах людського тіла одним із головних джерел природної радіації є *калій-40* і *рубідій-87*, причому не існує способу від них позбавитися. Врахуємо, що сучасна людина до 80 % часу проводить в приміщеннях — удома або на роботі, де і отримує основну дозу радіації: хоча будівлі захищають від випромінювань ззовні, у будматеріалах, із яких вони побудовані, міститься природна радіоактивність.

Істотний вклад в опромінення людини вносить *радон* і *продукти його розпаду*. Основним джерелом цього радіоактивного інертного газу є земна кора. Проникаючи через тріщини і щілини у фундаменті, підлозі і стінах, радон затримується в приміщеннях. Інше джерело радону в приміщенні — це самі будівельні матеріали (бетон, цегла тощо). Радон може потрапляти у будинки також з водою (особливо якщо вона подається з артезіанських свердловин), при спалюванні природного газу тощо. Радон в 7,5 разу важчий за повітря. Як наслідок, концентрація радону у верхніх поверхах багатоповерхових будинків зазвичай нижча, ніж на першому поверсі. Основну частину дози опромінення від радону людина отримує, знаходячись в закритому, не провітрюваному приміщенні; регулярне провітрювання може понизити концентрацію радону у декілька разів. При тривалому надходженні радону і його продуктів в організмі людини багаторазово зростає ризик виникнення раку легень.

Для дослідження радіаційного стану застосовують спеціальні прилади — дозиметри (мал. 36.1), призначені для вимірювання потужності дози йонізуючого випромінювання довкілля, що реєструється за певний проміжок часу. Дозиметри використовують для оцінки радіаційного забруднення місцевості, будівель і споруд, житлових і виробничих приміщень, транспортних засобів, будматеріалів, металобрухту, предметів побуту тощо.




Мал. 36.1. Дозиметри:
а — побутовий дозиметр-радіометр МКС-05 «ТЕРРА-П»;
б — радіометр РКС-01 «СТОРА»

*Побутовий дозиметр-радіометр МКС-05 «ТЕРРА-П»* вимірює дозу й потужність дози γ-випромінювання. При перевищенні порогового значення потужності дози дозиметр сигналізує за допомогою світлової індикації. Основними цілями застосування цього дозиметра-радіометра є контроль радіаційних параметрів житлових будівель, приміщень, транспортних засобів, будматеріалів, проведення оцінок в підсобному господарстві, а також оцінки радіаційного забруднення ягід і грибів.

*Радіометр РКС-01 «СТОРА»* має більшу точність вимірювання γ-випромінювання, також додатково вимірює β-випромінювання. Радіометр РКС-01 «СТОРА» використовують для екологічних досліджень довкілля, для здійснення радіометричного контролю на підприємствах, для контролю радіаційного стану житла, будівель і споруд, прилеглих до них територій, предметів побуту, одягу, транспорту, поверхні ґрунту на приватних подвір'ях.

Лічильник Гейгера слугує для підрахунку кількості радіоактивних частинок (в основному електронів).




Мал. 36.2

***Як захиститися від радіоактивного впливу?*** По-перше, існує природний радіаційний захист. Так, магнітосфера Землі має два радіаційні пояси, які тягнуться від 644 до 64400 км над її поверхнею (мал. 36.2). Ці пояси є щитами з щільної структурованої атмосфери, що захищає Землю від впливу космічної радіації і сонячного вітру. Пояси захоплюють частинки з високою енергією, що приходять з сонячним вітром, надалі частинки циркулюють усередині поясів і уздовж силових ліній магнітного поля Землі.

При дуже сильних спалахах на Сонці ці пояси можуть постраждати, і знадобиться певний час для того, щоб Земля змогла «підлатати» свої щити. У цей час може наступити період високої чутливості до будь-яких проявів активності Сонця. Страждають усі живі організми.

Захист від рентгенівського випромінювання і γ-випромінювання необхідно організовувати з урахуванням того, що ці види випромінювання відрізняються великою проникаючою здатністю. Найбільш ефективні наступні заходи (як правило, використовувані в комплексі): збільшення відстані до джерела випромінювання; скорочення часу перебування в небезпечній зоні; екранування джерела випромінювання матеріалами з великою густиною (свинець, залізо, бетон тощо); використання захисних споруд (протирадіаційних укриттів, підвалів тощо) для населення; використання індивідуальних засобів захисту органів дихання, шкірних покривів і слизових оболонок; дозиметричний контроль зовнішнього середовища і продуктів харчування.

ДІЙ

## ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

**Виконуй досліди з дотриманням правил безпеки життєдіяльності!**

Уяви, що твоя школа розташована в місцевості з природно підвищеним радіаційним фоном. Школу обстежили й отримали наступні дані.

| Місце | Потужність дози, мкЗв/год |
|---|---|
| Спортзал | 0,10 |
| Їдальня | 0,12 |
| Кабінет фізики | 0,38 |
| Підвал | 0,55 |

**Завдання:**

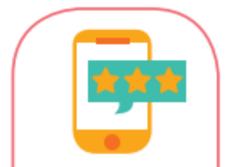
1. Укажи, які приміщення потребують додаткової перевірки.
2. Запропонуй можливі причини підвищення радіаційного фону.
3. Укажи, яка доза буде поглинута під час перебування у підвалі (для розрахунку вважай, що людина перебуває у подвалі по 1 годині на день упродовж місяця).
4. Склади коротку рекомендацію для адміністрації школи.

## ОПРАЦЮЙ ІНФОРМАЦІЮ

1 Для чого потрібна європейська ядерна дослідницька організація ЦЕРН та її програми?

2 На основі цього тексту склади профорієнтаційну рекламу однієї із професій.

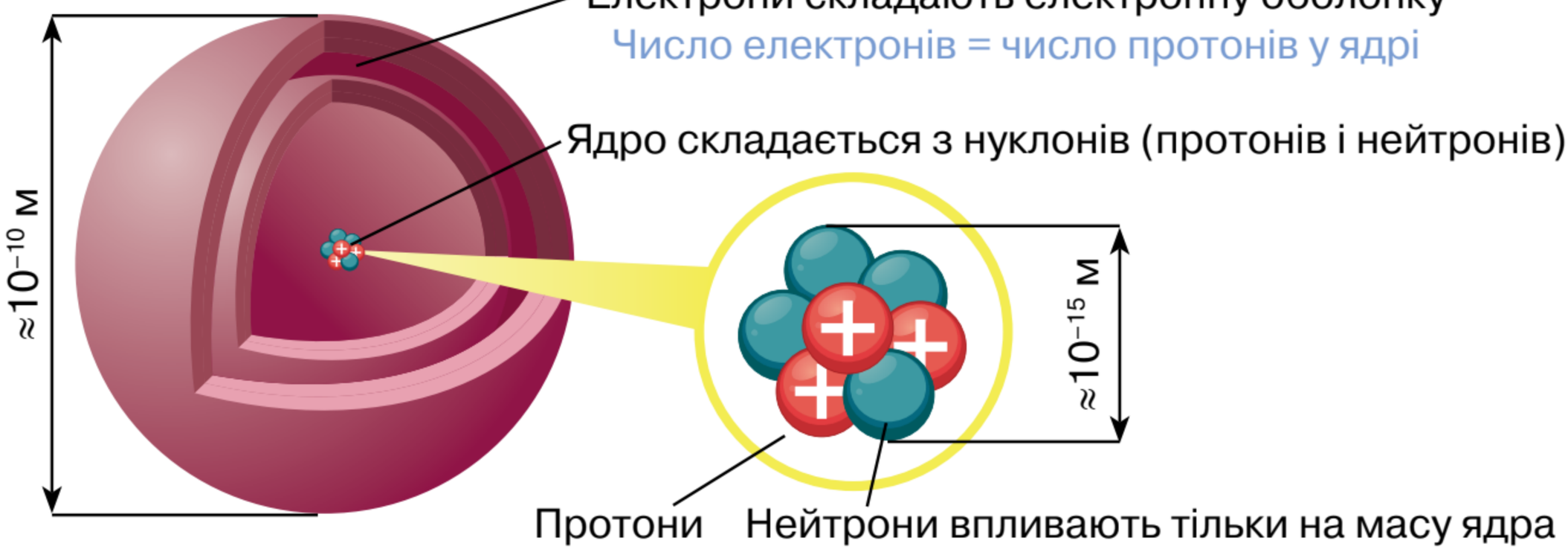
Знання атомних і ядерних явищ є необхідними для багатьох відповідальних і високотехнологічних професій сучасності. Ядерні фізики досліджують будову атомних ядер, процеси радіоактивного розпаду, поділу та синтезу ядер і працюють у наукових лабораторіях, дослідницьких центрах та університетах. Інженери-ядерники застосовують ці знання для проєктування, експлуатації та контролю безпеки атомних електростанцій, ядерних реакторів і систем захисту від випромінювання. У медицині знання ядерної фізики використовують лікарі-радіологи, радіотерапевти та фахівці з ядерної медицини, які застосовують радіоактивні ізотопи для діагностики захворювань і лікування пухлин. Інженери з радіаційної безпеки та дозиметристи контролюють рівні йонізувального випромінювання на виробництвах, у медичних закладах і навколишньому середовищі, забезпечуючи захист людей і довкілля. Знання атомних і ядерних явищ потрібні також геофізикам і геологам під час радіоізотопного датування гірських порід і визначення віку Землі, а також фахівцям із неруйнівного контролю, які використовують ядерні методи для перевірки матеріалів і конструкцій. Отже, розуміння атомних і ядерних процесів відкриває шлях до професій, що поєднують фундаментальну науку, інженерію, медицину та безпеку суспільства.



36.2
36.3

## ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

**1** Ти знаєш будову атома й атомного ядра.




**2** Ти з'ясував / з'ясувала природу радіоактивного випромінювання.

| Вид радіоактивного випромінювання | Природа | Електричний заряд | Маса | Швидкість | Проникна здатність |
|---|---|---|---|---|---|
| $\alpha$-частинки | Ядра атома Гелію | $q_\alpha = 3{,}2 \times 10^{-19}$ Кл | $m_\alpha = 6{,}67 \times 10^{-27}$ кг | Близько $10^7$ м/с | Затримуються аркушем паперу |
| $\beta$-частинки | Електрони | $e = -1{,}6 \times 10^{-19}$ Кл | $m_e = 9{,}1 \times 10^{-31}$ кг | Сагають до швидкості світла 0,999 с | Затримуються тонким листом металу |
| $\gamma$-промені | Електромагнітне випромінювання | Не мають | | Дорівнює швидкості світла | Затримуються товстим шаром бетону |

**3** Ти знаєш, якими фізичними величинами і законами описується процес радіоактивного розпаду.

**Закон радіоактивного розпаду** визначає число атомів $N$, які не розпалися протягом деякого часу $t$ після початку відліку, від початкового числа атомів $N_0$: $N = N_0 \cdot \frac{1}{2^n} = N_0 \cdot 2^{-\frac{t}{T}}$.

**4** Ти можеш пояснити, що таке ядерні реакції і яких видів вони бувають.

**5** Ти можеш пояснити, як працюють ядерний реактор й атомна електростанція. Можеш оцінити переваги і недоліки ядерної енергетики.

## ПЕРЕВІР СЕБЕ

### 1 Як ти умієш досліджувати природу

Використай інтерактивну карту SaveEcoBot: Радіаційний фон → гамма-випромінювання (*gamma*). На карті показано показники потужності експозиційної дози гамма-випромінювання у мкЗв/год (мікрозівертів на годину). Середній природний рівень в Україні — близько 0,08–0,30 мкЗв/год.

Обери 5 різних населених пунктів України з різних областей.

*Обчисли*:

- середнє арифметичне із 5 зібраних значень радіаційного фону;
- мінімальне і максимальне значення серед них.

*Порівняй отримане середнє з:*

- нижньою межею природного фону — 0,08 мкЗв/год;
- верхньою межею — 0,30 мкЗв/год.

*Обери точки, де значення найнижче/найвище.* Запропонуй можливі причини.

Побудуй стовпчасту діаграму (*bar chart*) для 5 обраних населених пунктів: вісь x — назва пунктів, вісь y — рівень радіаційного фону (мкЗв/год) вісь.

### 2 Як ти умієш опрацьовувати інформацію

З'ясуй, яку роль відіграють знання про атомні й ядерні явища у професії, яку ти розглядаєш як можливу для свого майбутнього.

Скориставшись відкритими джерелами (сайти університетів, професійні портали, відеоінтерв'ю з фахівцями), знайди інформацію про те:

- ✓ у яких професійних діях представників обраної спеціальності застосовуються знання про атомні й ядерні явища;
- ✓ які фізичні формули, закони, правила вони фактично застосовують у роботі;
- ✓ які наслідки може мати помилка у розумінні атомних і ядерних явищ (ризики, аварії, неточності).

### 3 Як ти усвідомлюєш закономірності природи

У медичному кабінеті для діагностики використали радіоактивний ізотоп Технецій-99m (Tc-99m). Після завершення обстеження залишився препарат, активність якого зменшується з часом унаслідок радіоактивного розпаду.

Медперсоналу потрібно визначити, через який час активність зменшиться до безпечного рівня, щоб препарат можна було утилізувати без ризику для персоналу.

*Вихідні дані:*

- початкова активність ізотопу: $A_0 = 800$ МБк;
- період піврозпаду Tc-99m: $T = 6$ год;
- безпечний рівень активності: $A_б = 100$ МБк.




# ТЕМА 5. ЗНАЧЕННЯ ФІЗИКИ Й АСТРОНОМІЇ В ЖИТТІ ЛЮДИНИ

## ТИ НАВЧИШСЯ:

- розрізняти типи галактик, види фундаментальних взаємодій;
- описувати характеристики зір та інших космічних об’єктів, класифікувати їх;
- пояснювати будову Сонячної системи.

## ТИ ЗРОЗУМІЄШ:

- роль фізики як фундаментальної науки сучасного природознавства, причинно-наслідкові зв’язки у взаємодії людини, суспільства і природи;
- необхідність екологічно виваженого використання досягнень сучасного природознавства для суспільного розвитку як умови безпечного існування людей на Землі;
- фізику як теоретичну основу сучасної астрономії та інших природничих наук, фізико-технічні основи сучасних технологій і виробництва.

## ТИ ЗМОЖЕШ:

- формулювати проблему й обирати стратегії її розв’язання;
- співпрацювати у групі й усвідомлювати особисту відповідальність за досягнення спільного результату;
- проявляти уміння розв’язувати комплексні завдання й проблеми, застосовуючи знання з природничих наук.

# § 37. ДОСЛІДЖУЄМО АСТРОНОМІЧНІ ЯВИЩА



Звичайно, астрономічні явища — це щось красиве і дивовижне. Але вони такі далекі від Землі. Тож, навіщо їх вивчати?

Помиляєшся. Земля є частиною Всесвіту, у якому все взаємопов'язано.

## ДОСЛІДЖУЙ

Розглянь світлину (мал. 37.1). На ній зображено кілька різних астрономічних явищ. Визнач їх і поясни, що саме відбувається у кожному випадку. Яке з явищ є періодичним, а яке — рідкісним? Яке з них можна спостерігати без спеціальних приладів? Як спостереження таких явищ допомагало людям у минулому розуміти будову Всесвіту? Назви інші відомі тобі астрономічні явища.



Мал. 37.1

## ДІЗНАВАЙСЯ

***Чому астрономію вважають однією із найдавніших наук?*** Астрономію, математику і медицину вважають найдавнішими науками, тому що вони, у першу чергу, були потрібні для вирішення найнагальніших

проблем людства. Особливо людей притягало зоряне небо, яке й до сьогодні залишається таємничим.

Необхідність визначення сезонів, часу сівби та збору врожаю була критичною для виживання перших аграрних суспільств. Рух Сонця, Місяця і зір був єдиним надійним годинником і календарем.

Хоча більшість давніх практик були тісно переплетені з релігією та магією, астрономія виділилася як перша систематизована наука. Довготривалі та точні спостереження небесних об'єктів призвели до створення календарів (єгипетський, вавилонський), точного прогнозування затемнень, складання зоряних каталогів (особливо у Месопотамії та Стародавньому Китаї).

Саме ці систематичні спостереження, які згодом були математично описані в Стародавній Греції (наприклад, Птолемеєм), дозволяють вважати астрономію найдавнішою наукою у сучасному розумінні.

Астрономія була рушійною силою у становленні інших наук. Астрономічні задачі про рух планет спонукали Ньютона до формулювання закону всесвітнього тяжіння та законів механіки. Це створило універсальний математичний апарат, який став фундаментом усієї класичної фізики.

Відкриття Коперника, Галілея та Кеплера зруйнували багатовікову догму про Землю як центр Всесвіту. Це не просто зміна моделі, а доказ того, що істина має переважати над авторитетом, що є основою наукового методу. Астрономія кардинально змінила філософське розуміння нашого місця у Всесвіті та часу, формуючи сучасний світогляд.

Астрономія є поштовхом для розвитку передових технологій. Потреба створення надзвичайно великих та точних телескопів стимулювала прогрес у створенні надточних дзеркал, датчиків та нових матеріалів. Необхідність аналізувати величезні обсяги інформації з телескопів призвела до розробки нових методів обробки зображень, суперкомп'ютерів та алгоритмів. Астрономічні дослідження стали основою для космічних програм (навігація космічних апаратів, балістика), які, своєю чергою, породили безліч цивільних технологій (GPS, супутниковий зв'язок).

Багато технологій та розробок, які спочатку створювалися в рамках космічних програм, згодом знайшли широке застосування у повсякденному житті, ставши загальновідомими побутовими предметами та технологіями. Цей процес називають спін-оф (*spin-off*). Ось кілька прикладів.

Термометр-пістолет (мал. 37.2) розроблений для швидкого та точного вимірювання температури тіла астронавтів, не вимагаючи контакту зі



Мал. 37.2

шкірою. Фільтри, які використовувалися для одержання безпечної питної води на космічних кораблях, згодом було адаптовано для домашніх та комерційних систем очищення води, включаючи вугільні та йонообмінні фільтри.

Спочатку було створено прозорий та високоміцний матеріал для захисту антен радарів, а стоматологи адаптували його для створення естетичних та міцних брекетів. Піну з ефектом пам'яті (*Memory Foam*) спочатку було розроблено для підвищення безпеки та комфорту сидінь літаків і космічних кораблів, вона поглинала ударні навантаження. Сьогодні її використовують у матрацах, подушках та ортопедичному взутті. Покриття з тефлону (*Teflon*) спочатку використовували як матеріал для захисту космічних апаратів, згодом — для антипригарних покриттів кухонного посуду.



Мал. 37.3

Акумуляторні електродрилі (мал. 37.3), пилососи та інші інструменти було розроблено для проєкту «Аполлон», оскільки астронавтам на Місяці були потрібні потужні, компактні та бездротові інструменти.

Методи поліпшення та цифрової обробки зображень, розроблені для аналізу супутникових знімків та фотографій з космосу, сьогодні є основою для медичної візуалізації (МРТ, КТ), сучасної фотографії та графічних редакторів.

Технологія сублімаційного сушіння (видалення вологи за низьких температур і тиску) дозволяла забезпечувати астронавтів легкими, поживними та довговічними продуктами (мал. 37.4). Сьогодні це поширений спосіб виробництва похідного харчування та розчинних напоїв. Тонка фольгована ковдра, розроблена для відбиття теплового випромінювання та захисту космічних апаратів, широко використовується у світі для надання першої допомоги постраждалим у холодних умовах (мал. 37.5).



Мал. 37.4



Мал. 37.5

***Які існують астрономічні явища й об'єкти?*** До астрономічних явищ і об'єктів належить усе, що існує або відбувається у Всесвіті (*universe*), поза атмосферою Землі, або пов'язані з її взаємодією з космічним середовищем.

Астрономічні об'єкти формують Всесвіт. Їх рухи, зміни, взаємодії, випромінювання створюють астрономічні явища.

Об'єктами Сонячної системи є: 1 зоря (Сонце), 8 планет (Меркурій, Венера, Земля, Марс, Юпітер, Сатурн, Уран, Нептун, понад 200 їх супутників); 5 карликових планет (Плутон, Церера, Гаумеа, Макемаке, Ерида); малі тіла (астероїди, комети, метеороїди); міжпланетний пил, сонячний вітер, магнітні поля, плазма, космічні промені (мал. 37.6). Планетну систему огортає сферична хмара крижаних об'єктів різних розмірів (хмара Оорта).




Мал. 37.6

Об'єктами нашої Галактики є зорі (понад 200 мільярдів), зоряні системи (дві або три зорі, що обертаються навколо спільного центра), планетні системи (зорі із своїми планетами), зоряні скупчення, міжзоряна речовина (газ і пил, із яких утворюються зорі, туманності), білі карлики, нейтронні зорі і пульсари, чорні діри.

Позагалактичні об'єкти — це інші галактики, групи і скупчення галактик, квазари, міжгалактична речовина, що містить темну матерію і енергію, реліктове випромінювання (залишок Великого вибуху), гравітаційні лінзи і хвилі.

Ми можемо спостерігати лише частину Всесвіту — так званий Спостережуваний Всесвіт (*observable universe*). За оцінками вчених, радіус цієї спостережуваної сфери становить приблизно 46 мільярдів світлових років. Що стосується всього Всесвіту (не лише видимої частини), його

розмір невідомий, може бути значно більшим або навіть нескінченним. Вчені припускають, що наш величезний Всесвіт може бути лише *однією частиною набагато більшої космічної реальності*.

Унаслідок руху, взаємодії та еволюції небесних тіл у ньому постійно відбуваються грандіозні події. Зорі народжуються в туманностях — хмарах газу і пилу. Під дією гравітації речовина стискається, підвищується температура, і починаються термоядерні реакції. Так народжується нова зоря. Протягом мільярдів років вона випромінює світло й тепло, а коли вичерпує запаси палива — змінюється: може перетворитися на білий карлик, нейтронну зорю або вибухнути надновою. Вибух наднової зорі спостерігається, коли масивна зоря завершує своє життя і її зовнішні шари відкидаються у простір із величезною швидкістю. Такий вибух супроводжується потужним спалахом, який на деякий час затьмарює блиском цілу галактику. Рештки наднової зорі стають джерелом важких хімічних елементів, із яких утворюються нові зорі й планети.

Наше Сонце — звичайна зоря, але її активність впливає на Землю. На поверхні з'являються плями, спалахи та протуберанці. Викиди заряджених частинок формують сонячний вітер, який взаємодіє з магнітним полем Землі й викликає полярні сяйва та магнітні бурі.

Земля обертається навколо своєї осі та навколо Сонця. Ці рухи спричиняють зміну дня і ночі, пір року, зміни висоти Сонця над горизонтом. Обертання Місяця навколо Землі зумовлює фази Місяця, а також сонячні та місячні затемнення.

Час від часу в атмосферу Землі влітають дрібні частинки — метеороїди. Вони згоряють, утворюючи «зорепади». Комети, що складаються з льоду й пилу, утворюють яскраві хвости, коли наближаються до Сонця. Астероїди — кам'янисті тіла, що рухаються в основному між орбітами Марса і Юпітера.

У Всесвіті народжуються й гинуть галактики, відбувається злиття чорних дір, поширюються гравітаційні хвилі. Світло від далеких об'єктів іде до нас мільйони й мільярди років, тому, спостерігаючи зоряне небо, ми ніби бачимо минуле Всесвіту.

**ДУМАЙ** **1.** Як давні цивілізації використовували спостереження за небом у господарській діяльності? **2.** Чи можна вважати, що вивчення космосу — це інвестиція в майбутнє людства? **3.** Як розвиток астрономії сприяв становленню інших наук та технологій? **4.** Наведи приклади технологій, створених завдяки космічним дослідженням. **5.** Які тіла належать до Сонячної системи? **6.** Які об'єкти є в нашій Галактиці, а які — поза нею? **7.** Поділи наведені поняття на дві групи: зоря, полярне сяйво, вибух наднової зорі, планета, метеорний дощ, комета, галактика, астероїд, сонячне затемнення, рух планет.

## ДІЙ

1. Знайди в інтернеті чи атласі зоряного неба три астрономічні явища, що можна спостерігати протягом цього року. Запиши дати їх появи.
2. Створи постер «Астрономічні явища, які ми можемо спостерігати без телескопа».
3. Створи хронологічну шкалу розвитку астрономії.
4. Дізнайся, які астрономічні явища покладено в основу лічби часу (рік, доба, місяць). У чому різниця між юліанським та григоріанським календарями? У яких країнах використовують сонячні (місячні, місячно-сонячні) календарі?
5. Виконай віртуальну лабораторну роботу 37.1 .

37.2

# § 38. ДОСЛІДЖУЄМО ЗОРІ І ГАЛАКТИКИ



О, знайшов цікаве відео в інтернеті.
Цікаво, чи дійсно Сонце таке маленьке?

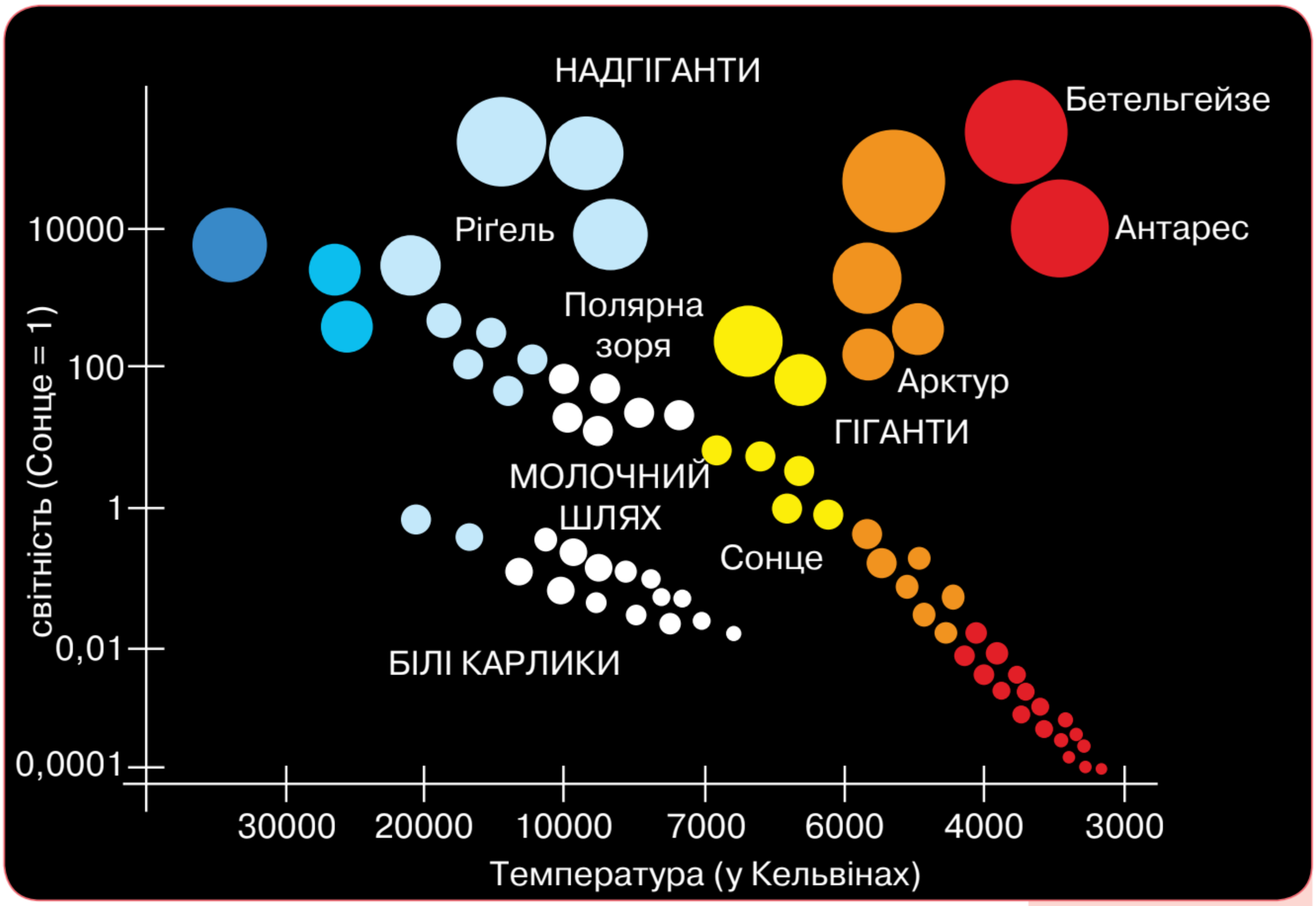
38.1

## ДОСЛІДЖУЙ

На малюнку 38.1 зображено діаграму Герцшпрунга–Рассела (H–R діаграма). На вертикальній осі позначено світності зір в одиницях світності Сонця. На горизонтальній — температури поверхні зір. Також на діаграмі зображено зорі, які різняться температурою і світністю (яскравістю), та їх відповідні розміри.

Обери три зорі з діаграми (наприклад: Сонце, Ріґель, Бетельгейзе). Порівняй їх за такими ознаками: температура поверхні (колір); світність (у скільки разів яскравіша/тьмяніша за Сонце); розмір (карлик, гігант, надгігант).

Зроби висновок. Яка із зір найгарячіша? Яка — найбільша за розмірами? Яка — найяскравіша? Де розташоване Сонце серед них?




Мал. 38.1

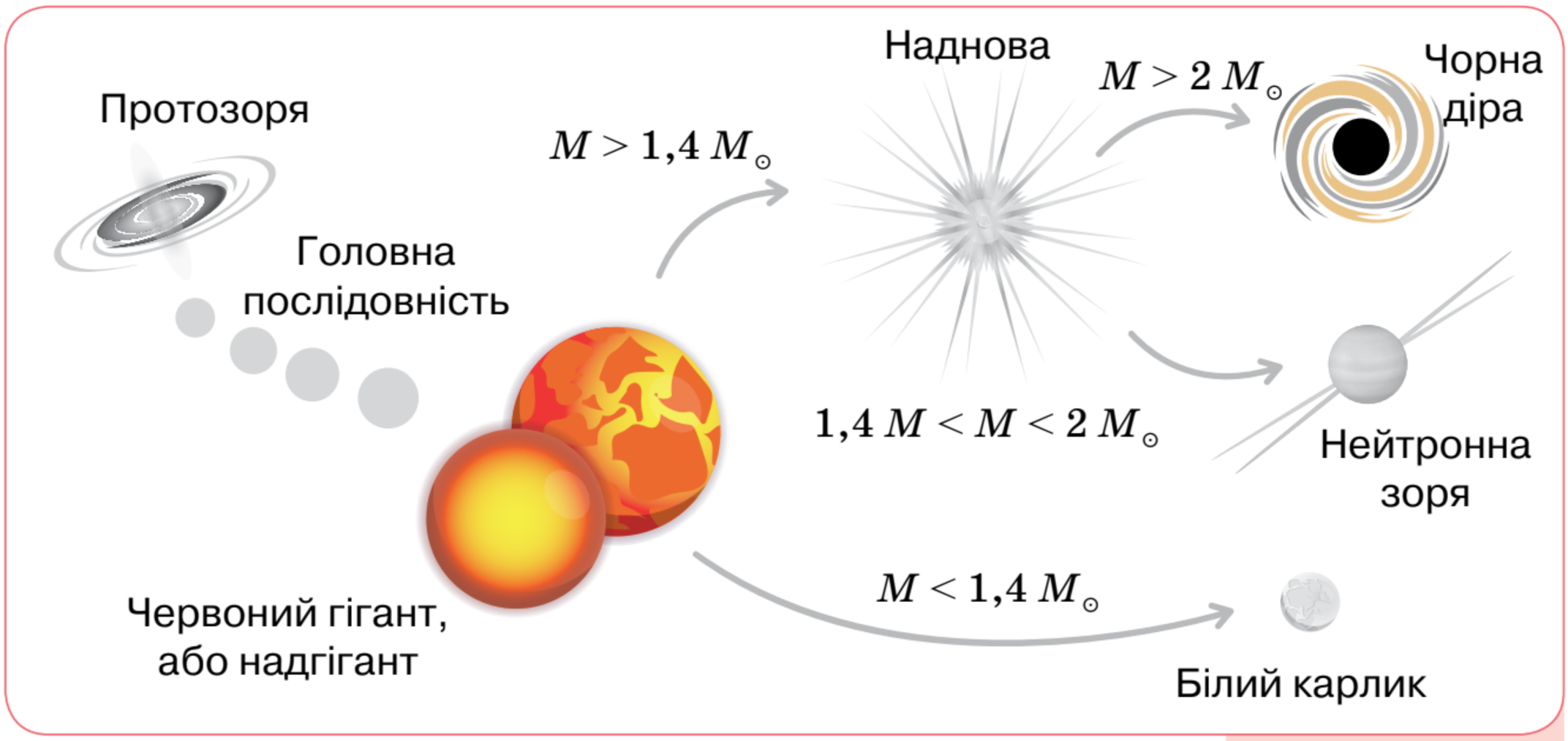
## ДІЗНАВАЙСЯ

***Дізнаємося про зорі.*** Зоря (*star*) — це гігантська розжарена куля з плазми, яка випромінює світло й тепло внаслідок термоядерних реакцій у її надрах. Кожна зоря має свої фізичні властивості, за якими її можна описати й класифікувати. Ці властивості визначаються переважно масою зорі та її хімічним складом у момент народження.

Маса вимірюється у масах Сонця ($M_\odot$) і є найважливішою характеристикою, оскільки вона визначає майже всі інші властивості зорі, включаючи її тривалість життя.

Зорі проходять кілька етапів еволюції: народження в туманності (протозоря), стабільне горіння водню (близько 90 % свого життя), розширення (гіганти й надгіганти) й охолодження. Малі зорі ($< 1{,}4\ M_\odot$) стають білими карликами, а масивні ($> 1{,}4\ M_\odot$) вибухають як наднові й стають нейтронними зорями або чорними дірами (мал. 38.2, с. 236).

Зорі різняться світністю і кольором. Чим більшою і гарячішою є зоря, тим вона яскравіша. Світність так само порівнюють у світностях Сонця $L_\odot$. Приклад: світність Сіріуса $\approx 25\ L_\odot$, Бетельгейзе — близько $100\,000\ L_\odot$.




Мал. 38.2

Температура поверхні зорі визначає її колір.

| Клас | Температура, К | Дійсний колір | Видимий колір |
|---|---|---|---|
| *O* | 30 000–60 000 | Блакитний | Блакитний |
| *B* | 10 000–30 000 | Біло-блакитний | Біло-блакитний |
| *A* | 7500–10 000 | Білий | Білий |
| *F* | 6000–7500 | Жовто-білий | Білий |
| *G* | 5000–6000 | Жовтий | Жовтий |
| *K* | 3500–5000 | Помаранчевий | Жовто-помаранчевий |
| *M* | 2000–3500 | Червоний | Помаранчево-червоний |

Розмір зір варіюється надзвичайно широко: білі карлики розміром із Землю, червоні гіганти та надгіганти можуть бути в сотні або навіть тисячі разів більші за Сонце. Наприклад, радіус Сонця — 696 000 км; у Бетельгейзе — приблизно в 1 000 разів більший.

Хімічний склад зір становлять водень (≈70 %) і гелій (≈28 %). Інші елементи (менше 2 %) — вуглець, кисень, азот, залізо тощо. У ході термоядерних реакцій утворюються й важчі елементи — «будівельний матеріал» для планет і живих організмів.

За розташуванням зорі поділяють на: поодинокі та кратні — зв'язані силами тяжіння (подвійні, потрійні тощо); за часом свого розвитку: давні та молоді; за фізичними властивостями речовини в надрах: нормальні зорі, білі карлики й нейтронні зорі.

Усі параметри зорі пов'язані між собою. Упродовж свого існування зоря змінює масу, розміри, світність, температуру. Простежити життя

зорі від початку до кінця неможливо, проте можна спостерігати багато зір, що перебувають на певних стадіях розвитку, і за цими даними відновити еволюційний шлях кожної зорі. Життя зорі відображено на діаграмі Герцшпрунга–Рассела (мал. 38.1).

Зорі, які перебувають у фазі горіння водню, розташовані по діагоналі від гарячих і яскравих до холодних і тьмяних (головна послідовність). Гіганти та надгіганти займають верхню частину діаграми (висока світність за відносно низької температури).

Попри велике розмаїття зір, загальні властивості в більшості з них однакові. У надрах зір за температури в десятки мільйонів кельвінів (10–40 млн К) і величезній густині панує тиск у мільярди атмосфер. За таких умов зоря може перебувати у стаціонарному стані лише завдяки тому, що в кожному її прошарку внутрішній тиск газу врівноважений дією сил гравітації. Такий стан називають *гідростатичною рівновагою*.

Для стаціонарного стану зорі властива не лише гідростатична (механічна) рівновага, а й теплова. Теплова рівновага означає, що всю енергію, яка утворюється в надрах зорі, вона випромінює своєю поверхнею в навколишній простір. Якщо тепловідведення перевищить виробіток енергії, зоря почне стискатися, а отже, й нагріватися (поясни, чому саме нагріватися, а не охолоджуватися). Це прискорить термоядерні реакції в надрах, виробіток енергії збільшиться, і тепловий баланс відновиться знову. У цьому сенсі зорі є стійкими системами, що саморегулюються.

**Сонце** (*Sun*) — це типова зоря головної послідовності, жовтий карлик середнього віку, у стабільному стані термоядерного горіння.

**Основні фізичні характеристики**

| Показник | Значення |
|---|---|
| Тип зорі | Жовтий карлик |
| Температура поверхні | ≈5800 K |
| Температура в ядрі | ≈15 млн °C |
| Світність | 1 (за одиницю світності береться саме Сонце) |
| Маса | $\approx 2 \cdot 10^{30}$ кг (330 000 мас Землі) |
| Радіус | ≈700 000 км |
| Вік | ≈4,6 млрд років |
| Відстань від Землі | ≈150 млн км (1 а. о.) |

У будові Сонця умовно виділяють області з різним фізичним станом речовини та виділенням та перенесенням енергії (мал. 38.3, с. 238).

*Ядро* — центральна область, де за рахунок екстремально високих температури та тиску протікають *термоядерні реакції* синтезу (перетворення водню на гелій). Це є головним джерелом сонячної енергії.

*У зоні променистого переносу* (*радіації*) енергія передається назовні шляхом поглинання та перевипромінювання фотонів.




Мал. 38.3

*У конвективній зоні* енергія передається шляхом перемішування (конвекції) речовини, подібного до кипіння.

*Фотосфера* — видима поверхня Сонця, що випромінює світло. Вона має зернисту структуру (гранули). На її поверхні є сонячні плями — темні утворення, що є областями виходу у фотосферу сильних магнітних полів.

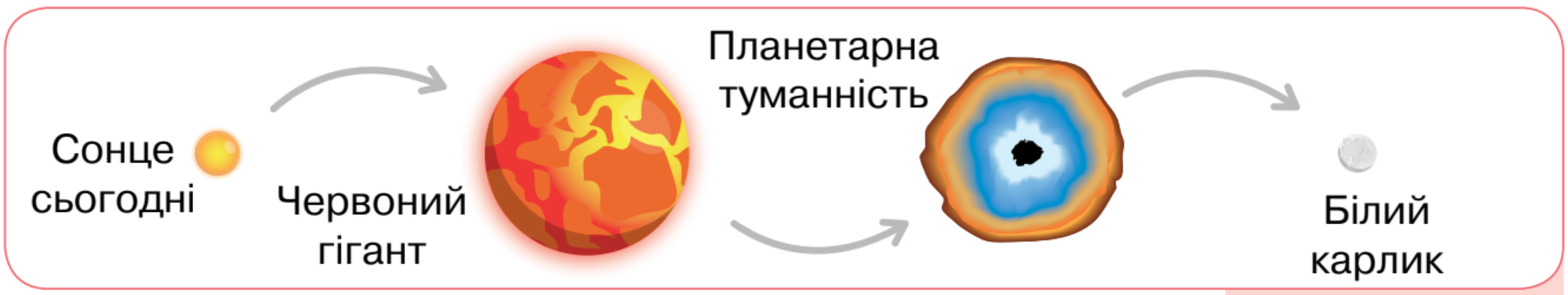
*Хромосфера* та *Корона* — це зовнішні шари атмосфери Сонця. Корона є найбільш розрідженим і гарячим шаром, що простягається на мільйони кілометрів і є джерелом *сонячного вітру* — потоку заряджених частинок, що рухаються в міжпланетний простір.

На поверхні Сонця часто можна спостерігати *факели* (ділянки з підвищеною температурою), *протуберанці* (пасма сонячної речовини), а також *спалахи* — доволі швидкі й енергетично дуже потужні явища сонячної активності, що змінюються циклічно.

Уплив сонячної активності відчуває техносфера й біосфера планети, і часом вона спричиняє дуже негативні наслідки: зазнають аварій космічні апарати; виходить з ладу електроніка авіалайнерів, що здійснюють польоти поблизу полюсів; перегорають електротрансформатори, що призводить до аварій у лініях електропередач; посилюється корозія металевих труб магістральних нафто- і газоводів тощо. Потужні сонячні спалахи та спричинені ними магнітні бурі можуть змінювати циркуляцію земної тропосфери, а також впливати на поведінку живих організмів, зокрема людини. Медична статистика показує, що в дні, коли відбуваються сильні спалахи, у півтора-два рази збільшується кількість загострень захворю-

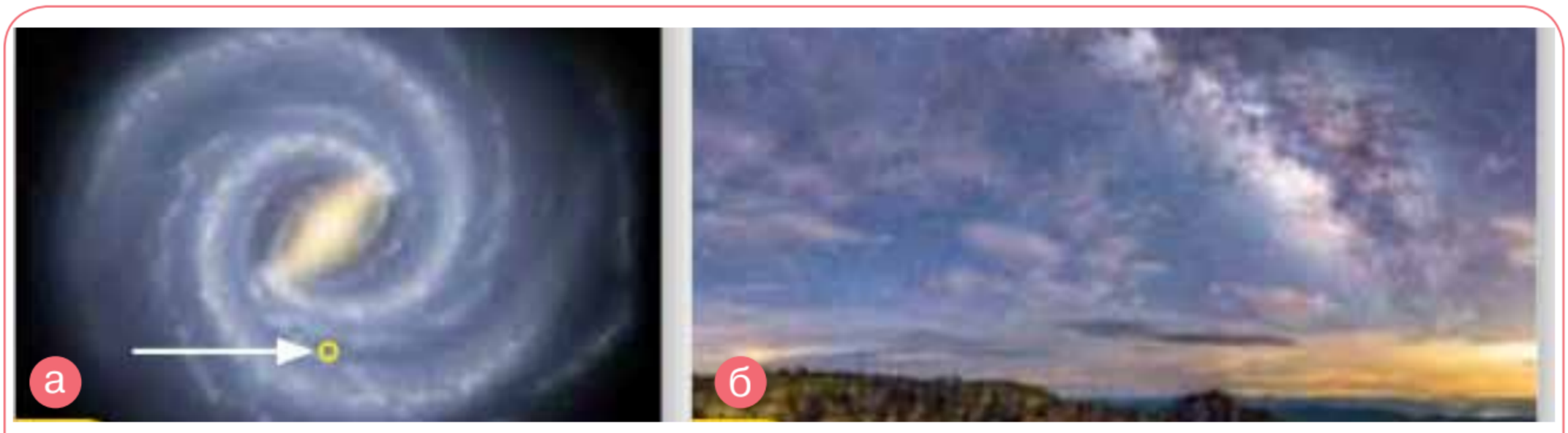
вань серцево-судинної системи (інфаркт міокарда, інсульт тощо) і кількість смертей. Щоб завчасно передбачити вплив сонячної активності на біосферу та соціально-економічну систему, необхідно проводити моделювання «космічної погоди», яке неможливе без моніторингу глобальних змін Сонця на тривалих відрізках часу. Феномен «космічної погоди» нині визнано одним із важливих завдань, що вимагає докладного вивчення.

Шлях розвитку Сонця зображено на малюнку 38.4. Орієнтовно через 8 млрд років, пройшовши стадію червоного гіганта, воно стане білим карликом.




Мал. 38.4

***Дізнаємося про галактики.*** У Всесвіті є мільярди галактик (*Galaxy*), серед яких і наша Галактика (пишеться з великої літери, щоб уникнути плутанини з іншими). Наша Галактика — це величезна система, у якій обертаються навколо центра 400 млрд зір. Неозброєним оком на всій небесній сфері ми бачимо приблизно 6000 зір і проєкцію частини Галактики — Молочний Шлях (*Milky Way*). В Україні її ще називають Чумацький Шлях, Стан, Божа Дорога (мал. 38.5). Назву Молочний Шлях використовують і як власну назву нашої Галактики.




Мал. 38.5. Галактика: а — в жовтому кружечку позначено зорі, які ми бачимо; б — проєкція частини Галактики — Молочний Шлях

Є три основні типи галактик, які класифікував американський астроном Едвін Габбл: *спіральні*, *еліптичні* та *неправильні* (мал. 38.6, а-в, с. 240).

Наша Галактика є спіральною. Значну частину речовини нашої Галактики сконцентровано в міжзоряному просторі — у газопилових хмарах.




Мал. 38.6

Туманність (*nebula*) — це величезна хмара газу (переважно водню й гелію) та пилу у космосі, яку можна побачити на небі як розмиту світлу або темну пляму (мал. 38.7).




Мал. 38.7. Туманності: а — Кінська Голова; б — Оріона; в — Краб

Туманності — це місця народження або загибелі зір. У них відбуваються процеси, із яких зорі народжуються або до яких зорі повертаються після вибуху. Основні типи туманностей подано у таблиці.

| Тип туманності | Опис | Приклади |
|---|---|---|
| Темні туманності | Щільні хмари пилу, які поглинають світло зір позаду них; виглядають як темні плями на фоні зоряного неба | Туманність Кінська Голова у сузір'ї Оріона |
| Відбивні туманності | Пил не світиться сам, але відбиває світло сусідніх зір | Туманність біля зоряного скупчення Плеяди |
| Емісійні туманності | Газ світиться самостійно через енергію від молодих гарячих зір | Туманність Оріона, туманність Карина |
| Залишки наднових (supernових) | Хмари газу й пилу, розкидані після вибуху зорі | Туманність Краб у сузір'ї Тельця |
| Планетарні туманності | Газові оболонки, які скидає зоря наприкінці свого життя; мають вигляд кільця | Кільцева туманність у Лірі |

Довкола Галактики у полі її сили тяжіння є галактики-супутники. Перші дві було відкрито 1519 р. під час кругосвітньої подорожі Фернан-

до Магеллана й було названо, відповідно, Великою і Малою Магелланові Хмарами. За типом це неправильні галактики. Їх видно на небі як туманні світлі плями. Неозброєним оком видно й галактику Андромеда, яку спочатку вважали за туманність, тому її інколи називають туманність Андромеди. Це велика спіральна галактика, найближча до нашої серед великих галактик. Рухається до нас зі швидкістю ~110 км/с і через близько 4 мільярди років вона зіткнеться з нашою Галактикою. Після злиття утвориться нова еліптична галактика, яку астрономи вже жартома називають Мілкомеда (*Milkomeda*).

Найближчі до нас зовнішні галактики допомагають астрономам вивчати, як формуються та розвиваються галактики, процеси зореутворення, гравітаційні взаємодії між галактиками (адже Магелланові Хмари «тягнуться» одна до одної і до Чумацького Шляху, утворюючи спільний газовий міст).

Спостереження галактик розпочалися ще в 20-х роках минулого століття. Американський астроном Едвін Габбл та бельгійський астроном, священник і математик Жорж Леметр виявили важливу закономірність: що далі галактика від Землі, то з більшою швидкістю вона рухається, віддаляючись від нас. Із цього випливає два важливих висновки. Всесвіт розширюється в буквальному сенсі слова в нікуди. Іншими словами, галактики не просто розлітаються в різні боки в порожньому просторі, а розсовується сам простір. Другий висновок — Всесвіт колись мав початок.

**ДУМАЙ**

**1.** Які фізичні властивості характеризують зорю? Яка головна відмінність між білими карликами, гігантами і надгігантами? **2.** Що показує діаграма Герцшпрунга–Рассела? Які фази життя проходить зоря від народження до згасання? **3.** Чому зорі називають саморегульованими системами? **4.** Які спільні риси мають зорі, галактики і туманності, а чим вони відрізняються? **5.** Як сонячна активність впливає на життя людей і техносферу Землі?

**ДІЙ**

## ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

1. Проведи мінідослідження: які зорі й туманності видно з території України протягом року (за атласом зоряного неба або мобільним застосунком).
2. Змоделюй (на папері або в онлайн-симуляторі) еволюцію зорі (на вибір).
3. Змоделюй розширення Всесвіту.
4. Виконай завдання симуляції 38.2 .

38.3

# § 39. ДОСЛІДЖУЄМО СОНЯЧНУ СИСТЕМУ

Якби Земля була на місці Венери або Марса, чи можливе було б життя на ній?



## ДОСЛІДЖУЙ

Прочитай у таблиці характеристики планет. Визнач, яка із планет найчастіше зустрічається із характеристикою най- (найшвидша, найбільша, найменша...).

Порівняй температури поверхні планет земної групи. Які чинники впливають на їхню різницю? Поясни, чому Венера гарячіша, ніж Меркурій, хоча знаходиться далі від Сонця.

Знайди планету з найсильнішим магнітним полем. Чим це зумовлено?

Обчисли, у скільки разів Марс далі від Сонця, ніж Меркурій.

Визнач, у скільки разів швидкість руху Меркурія більша за швидкість Нептуна.

Знайди співвідношення тривалості року на Марсі до земного року.

Обчисли, у скільки разів прискорення вільного падіння на Юпітері більше, ніж на Марсі.

Якщо маса Землі дорівнює $6 \cdot 10^{24}$ кг, знайди масу Сатурна у кілограмах.

**Планети земної групи**

| Характеристики | Меркурій | Венера | Земля | Марс |
|---|---|---|---|---|
| Середня відстань від Сонця, а. о. | 0,39 | 0,72 | 1,00 | 1,52 |
| Період обертання навколо Сонця, роки | 0,24 | 0,61 | 1,00 | 1,88 |
| Орбітальна швидкість, км/с | 47,9 | 35,0 | 29,8 | 24,1 |
| Середній радіус, км | 2440 | 6050 | 6371 | 3397 |
| Нахил осі до площини орбіти, ° | 89 | –86,6 | 66,5 | 65,5 |
| Період обертання навколо своєї осі | 58,7 доби | 243,1 доби | 23 год 56 хв 4 с | 24 год 37 хв 22 с |
| Прискорення вільного падіння, м/с$^2$ | 3,7 | 8,9 | 9,8 | 3,7 |

| Характеристики | Меркурій | Венера | Земля | Марс |
|---|---|---|---|---|
| Маса, у масах Землі ($M_З = 6 \cdot 10^{24}$ кг) | 0,06 | 0,82 | 1,0 | 0,11 |
| Число супутників | | | 1 | 2 |
| Наявність атмосфери | Сліди | Дуже щільна | Щільна | Розріджена |
| Магнітне поле | Дуже слабке (~1% від земного) | Практично відсутнє | Сильне, дипольне | Локальні залишкові області |
| Середня температура, °С | +167 | +470 | +15 | –63 |

## Планети-гіганти

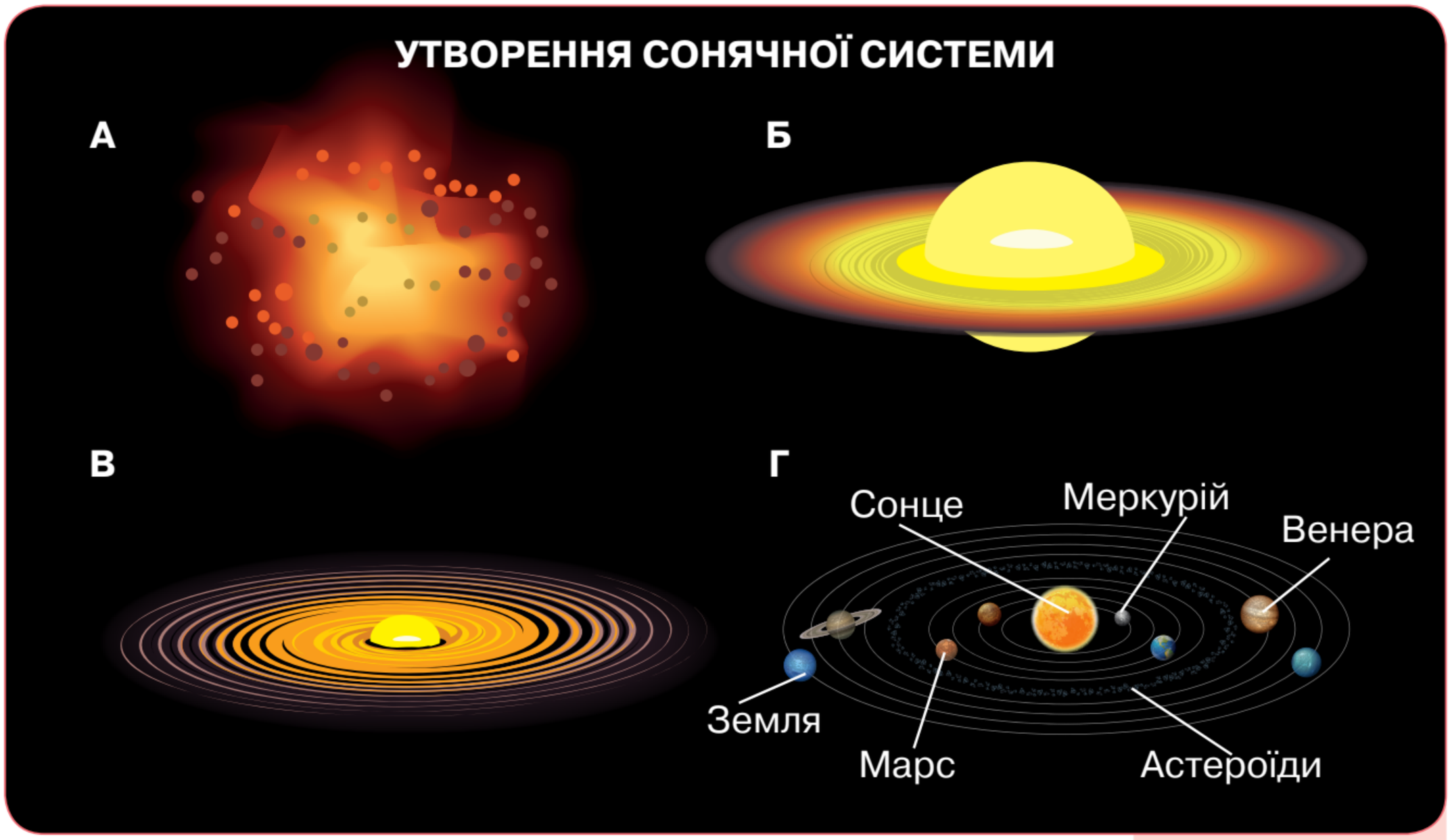
| Характеристики | Юпітер | Сатурн | Уран | Нептун |
|---|---|---|---|---|
| Середня відстань від Сонця, а. о. | 5,20 | 9,54 | 19,19 | 30,07 |
| Період обертання навколо Сонця, роки | 11,86 | 29,46 | 84,02 | 164,78 |
| Орбітальна швидкість, км/с | 13,1 | 9,6 | 6,8 | 5,4 |
| Середній радіус, км | 69900 | 58000 | 25400 | 24300 |
| Нахил осі до площини орбіти, ° | 87 | 63,5 | –8 | 61 |
| Період обертання навколо своєї осі | 9 год 50 хв | 10 год 14 хв | 10 год 49 хв | 15 год 48 хв |
| Прискорення вільного падіння, м/с$^2$ | 25,8 | 11,3 | 9,0 | 11,6 |
| Маса, у масах Землі ($M_З = 6 \cdot 10^{24}$ кг) | 318 | 95,2 | 14,6 | 17,2 |
| Число супутників | 16 | 18 | 17 | 8 |
| Наявність атмосфери | Дуже щільна | Дуже щільна | Дуже щільна | Дуже щільна |
| Магнітне поле | Надзвичайно сильне (~20 000 разів сильніше за земне) | Сильне (~600 разів сильніше за земне) | Середньої сили (~50 земного) | Подібне до уранівського (~25 земного) |
| Середня температура, °С | –120 | –140 | –195 | –200 |

**За даними таблиць накресли графік залежності орбітальної швидкості від відстані до Сонця. Який висновок можна зробити?**

**Побудуй стовпчасту діаграму для порівняння температур усіх планет.**

## ДІЗНАВАЙСЯ

***Як утворилася Сонячна система?*** Існує кілька гіпотез утворення Сонячної системи (*Solar System*). Найбільш прийнятим є такий сценарій (мал. 39.1).




Мал. 39.1

Приблизно 4,6 мільярда років тому у великій області Галактики (Чумацького Шляху) існувала хмара газу й пилу — залишки від вибуху наднової зорі. Вона складалася переважно з водню (≈70 %) і гелію (≈28 %), а також частинок важчих елементів — кисню, вуглецю, кремнію, заліза. Під дією гравітації туманність почала стискатися. Почався процес гравітаційного колапсу — хмара ставала щільнішою, гарячішою й оберталася все швидше. У центрі хмари зосередилася більшість речовини. Тиск і температура там різко зросли (до ≈15 млн °С). Почалися термоядерні реакції — водень перетворювався на гелій із виділенням енергії. Так утворилося молоде Сонце (протозоря).

Решта газу й пилу навколо Сонця розплющилася в обертовий диск — *протопланетний*. У ньому почали збиратися частинки пилу, які злипалися, утворюючи планетезималі — тіла розміром у десятки кілометрів. З часом вони об'єднувалися в планети. Частина дрібних тіл не ввійшла до складу планет: астероїди — залишки кам'янистих уламків (переважно між Марсом і Юпітером); комети — крижані тіла з далеких областей (з хмари Оорта та поясу Койпера); метеороїди — уламки пилу та каменю, що рухаються між планетами.

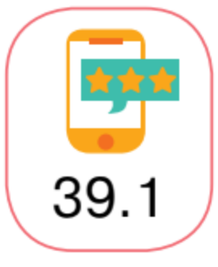
Внутрішні планети — Меркурій, Венера, Земля, Марс — порівняно невеликі, складаються здебільшого зі щільної кам'янистої речовини та металів. Венера, Земля й Марс оточені газовими оболонками.

У холодніших областях диска речовини конденсувалися у лід і гази. Так утворилися гігантські планети. Планети-гіганти (Юпітер, Сатурн, Уран і Нептун), на відміну від планет земної групи, не мають твердої поверхні, бо за хімічним складом (99 % Гідрогену та Гелію) і густиною вони нагадують зорі. Усі чотири планети-гіганти, окрім великих супутників, мають безліч дрібних й оточені кільцями пилу та інших частинок.

Головна роль у Сонячній системі належить Сонцю. Його маса приблизно в 750 разів перевищує масу всіх інших тіл, що входять до системи. Гравітаційне тяжіння Сонця є визначальною силою для руху всіх тіл Сонячної системи. Усі планети обертаються навколо Сонця в одному напрямку (у напрямку осьового обертання самого Сонця), майже круговими орбітами, площини яких мають невеликий нахил одна до одної.

Площину земної орбіти (*екліптику*) вважають основною площиною для відліку нахилу орбіт планет та інших тіл, що обертаються навколо Сонця. Планети-гіганти обертаються навколо осі набагато швидше, ніж планети земної групи. Планети обертаються також навколо своїх осей, причому в усіх планет, окрім Венери й Урана, обертання відбувається в прямому напрямку, тобто в тому самому напрямку, що і їх обертання навколо Сонця. Надзвичайно повільне обертання Венери відбувається у зворотному напрямку, а Уран обертається, ніби лежачи на боці.

Завдяки майже круговій формі планетних орбіт і великим відстаням між ними виключено можливість зближень між планетами, під час яких вони могли б істотно змінювати свій рух унаслідок взаємного тяжіння. Це забезпечує тривале та стійке існування Сонячної системи.


39.1

***Спостереження за об'єктами Сонячної системи.*** Усі астрономічні явища, які ми спостерігаємо (день і ніч, зміна пір року, затемнення, рух планет), пов'язані з обертанням планет навколо осі та навколо Сонця. Земля і планети обертаються навколо Сонця майже коловими орбітами. Проте людині, яка спостерігає із Землі, видимий рух планет видається інакшим. Він відрізняється для планет, які розташовані між Сонцем і Землею, їх називають *нижніми*, або *внутрішніми* (Меркурій, Венера), та планет, що розташовані від Сонця за Землею, так званих *верхніх*, або *зовнішніх* планет (Марс, Юпітер, Сатурн, Уран, Нептун). Через різну швидкість обертання планет їхній рух на тлі зір виглядає зигзагоподібним.

Земля рухається навколо Сонця, тому в різні пори року видно різні ділянки зоряного неба.

Дослідження об'єктів Сонячної системи — це шлях від спостережень неозброєним оком до польотів зондів і космічних телескопів. Позаземна ера дослідження планет почалася із запуску супутника Землі (1957 р.) і польотів людини у космос. Автоматичні зонди дослідили всі планети: «Вояджер-1» і «Вояджер-2» пролетіли повз усі зовнішні планети; «Марінер», «Венера», «Піонер», «Кассіні», «Юнона», «Нью Горизонс» передали дані про поверхню, атмосферу, магнітні поля.

Марсохідні місії (“*Curiosity*”, “*Perseverance*”) досліджують ґрунт і пошук слідів води.

Земні та орбітальні телескопи (*Hubble*, *James Webb*) дають змогу спостерігати об'єкти Сонячної системи в різних діапазонах випромінювання.

***Що відомо про наш супутник?*** Місяць є не лише природним супутником, а й чинником, що визначає ритми й умови життя на нашій планеті.

39.2

Місяць — найближче до Землі небесне тіло, розташоване на відстані ≈384 000 км. Він обертається навколо Землі за ≈27,3 доби, і цей рух зумовлює багато спостережуваних явищ. Фази Місяця (новий, перша чверть, повня, остання чверть) — наслідок обертання Місяця навколо Землі та зміни освітлення його поверхні Сонцем.

39.3

Місячні цикли впливають на поведінку живих організмів, міграції, розмноження та ритми сну у тварин і людей. Людство здавна використовує місячний календар для відліку часу, а Місяць є об'єктом натхнення в культурі, міфології та мистецтві.

Сонячні й місячні затемнення відбуваються під час розташування Землі, Місяця і Сонця на одній лінії.

Гравітаційне поле Місяця стабілізує нахил осі обертання Землі, що робить клімат планети відносно сталим. Без Місяця коливання осі могли б бути більшими, що призвело б до різких змін клімату.

Його гравітаційна дія спричиняє також припливи і відпливи океанів — важливий регулятор екосистем прибережних зон, а також використовується в гідроенергетиці (припливні електростанції). Приливна взаємодія між Землею і Місяцем призводить до поступового уповільнення обертання Землі навколо своєї осі, що, відповідно, збільшує тривалість доби (доба подовжується приблизно на 0,002 с за століття).

Місяць став першим небесним тілом, на яке ступила людина (місія *Apollo 11*, 1969 р.). Його поверхня зберігає відомості про ранні етапи історії Сонячної системи. Сучасні програми (*Artemis*, *Luna*, *Chang'e*) вивчають можливість створення баз для спостережень і дослідження ресурсів на Місяці.

***Чи тільки на Землі можливе життя?*** Зона життя (або зона проживання, англ. *Habitable Zone*, *Goldilocks Zone*) у Сонячній системі — це ділянка простору навколо Сонця, де умови дозволяють планеті, що має достатню масу, утримувати рідку воду на своїй поверхні. Найважливішою умовою для Зони життя є можливість існування рідкої води. Якщо планета розташована занадто близько до Сонця, вода випарується (як на Венері). Якщо планета розташована занадто далеко, вода замерзне (як на Марсі та далі). Хоча розташування в зоні життя є ключовим, це не єдина умова для існування життя. Для життєпридатності також важливі інші чинники. Планета повинна мати достатню масу, щоб утримувати атмосферу, стабільний нахил осі (для Землі він забезпечується Місяцем) та геологічну активність — для підтримки магнітного поля та вуглецевого циклу.

Існує висока ймовірність того, що мікробне життя може існувати на деяких супутниках планет-гігантів у зовнішній частині Сонячної системи, попри те, що вони розташовані далеко за межами традиційної зони життя Сонця. Найімовірніше мікроорганізми можуть мешкати у підповерхневих океанах Європи (супутник Юпітера) та Енцелада (супутник Сатурна), отримуючи енергію від планет-гігантів, а не від Сонця.

Пошук життя здійснюється і на екзопланетах — планетах навколо інших зір. У питанні життя за межами Землі є дві суттєві складові: це пошук ознак життя як такого і реєстрація сигналів від позаземних цивілізацій або відправлення в космос повідомлень від землян у надії, що хтось їх зареєструє, розшифрує, а потім надішле відповідь.

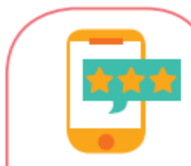
**ДУМАЙ**

**1.** Назви етапи утворення Сонячної системи. **2.** Які тіла, крім планет, входять до складу Сонячної системи? **3.** Чому планети земної групи мають тверду поверхню, а планети-гіганти — газувату? **4.** Як пов'язана відстань від Сонця з температурою планети? **5.** Чому зовнішні планети мають більшу кількість супутників? **6.** Поясни, як нахил осі обертання впливає на зміну пір року. **7.** Чому планети-гіганти обертаються швидше, ніж земні планети?

**ДІЙ**

## ОПРАЦЮЙ ІНФОРМАЦІЮ

1. Досліди історію автоматичних місій до планет (наприклад, "*Voyager*", "*Cassini*", "*Perseverance*") та зроби короткий звіт або постер.
2. Створи порівняльну таблицю «Планета — головні дослідження та відкриття».
3. Які небезпеки може приховувати колонізація Марса?


39.4

# § 40. ДОСЛІДЖУЄМО ЗНАЧЕННЯ ФІЗИКИ Й АСТРОНОМІЇ В ЖИТТІ ЛЮДИНИ

Ось і завершилося вивчення базового курсу фізики й астрономії. Чи відчуваєш тепер, як часто ці науки зустрічаються у повсякденному житті?



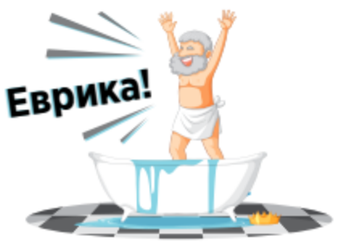
## ДОСЛІДЖУЙ

**Пам'ятаєш, у 7 класі тобі пропонувалось обрати твердження, яке тобі здається найбільш переконливою причиною вивчення фізики (мал. 40.1)? Чи змінилася твоя думка? Обери твердження, які ти можеш аргументувати. Наведи приклади.**

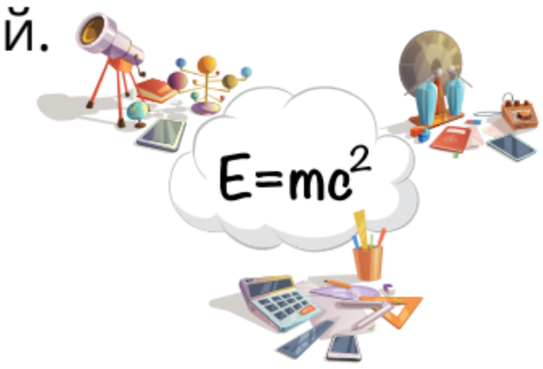
#1 Фізика допоможе тобі вступити до коледжу та знайти кохання.



#2 Фізика робить відкриття.




#3 Фізика — основа техніки й технологій.




#4 Фізики можуть бути президентами, економістами, музикантами.



#5 На уроці фізики ти застосуєш свої знання з математики.



#6 Фізика дасть тобі роботу.



#7 Фізика допомагає в опануванні інших наук.



#8 Фізика пояснює, як усе відбувається в природі.



#9 Фізика вчить думати.



#10 Фізика допоможе тобі вибратися із чорної діри.



Мал. 40.1

**Склади свій перелік тверджень, які розкривають роль фізики й астрономії в житті людини. Знайди підтвердження своїх думок у параграфі.**

## ДІЗНАВАЙСЯ

***Як фізика й астрономія забезпечують безпеку людства.*** Фізика й астрономія — це не лише науки, які пояснюють світобудову і її закони. Фізику й астрономію потрібно знати, щоб жити безпечно. Знання фізики й астрономії дозволяє передбачити, обмежити й контролювати дію небезпечних факторів, забезпечуючи сталий розвиток і безпеку життя людини, суспільства та довкілля.

Знання фізичних законів забезпечує: розрахунок міцності та стійкості конструкцій — запобігання обвалам, аваріям мостів, будівель, транспорту; акустичну ізоляцію — проєктування приміщень без надлишкового шуму; електробезпеку — визначення допустимих напруг і струмів для людини; теплову безпеку — моделювання розсіювання тепла у приміщеннях, техніці, костюмах пожежників; радіаційний захист — вимірювання доз йонізуючого випромінювання, розробка матеріалів-екранів; енергетичну ефективність — оптимізацію споживання енергії для зменшення ризиків аварій і впливу на довкілля.

Організм людини підкоряється фізичним законам. Знання фізики біологічних процесів допомагає створювати засоби індивідуального захисту, медичні прилади, безпечне робоче середовище. Разом з астрономією — планетарний захист — створення систем моніторингу навколоземних об'єктів (NEO), прогнозування космічної погоди, що впливає на енергетику, зв'язок, транспорт, здоров'я людини.

***Як фізика й астрономія обґрунтовують основи бережливого природокористування, збереження енергії та вирішують глобальні екологічні, соціальні та економічні проблеми.*** Фізика та астрономія, як фундаментальні науки, надають теоретичну основу та практичні інструменти для обґрунтування принципів бережливого природокористування, збереження енергії та вирішення глобальних проблем. Ці науки встановлюють універсальні закони, які визначають, як функціонує наша планета, Сонячна система та Всесвіт, дозволяючи нам діяти усвідомлено.

Фізика безпосередньо обґрунтовує необхідність бережливого ставлення до ресурсів через *універсальний закон збереження і перетворення енергії*:

**Закон збереження і перетворення енергії:** енергія не виникає з нічого і не зникає, а лише перетворюється з одного виду на інший.

Цей закон доводить, що енергетичні ресурси планети небезмежні, і будь-яка втрата енергії означає, що її потрібно буде поповнювати, що вимагає ефективного її використання.

Усі замкнені системи прагнуть до хаосу та розсіювання енергії. Це означає, що жоден процес перетворення енергії не є 100 % ефективним.

Неминуча втрата енергії у вигляді тепла підкреслює необхідність переходу на високоефективні та відновлювані джерела, щоб уповільнити виснаження високоякісної енергії.

Астрономія, вивчаючи зорі (включно із Сонцем), обґрунтовує використання відновлюваних джерел енергії. Астрономія дає точне розуміння механізмів термоядерних реакцій на Сонці, які є практично невичерпним джерелом енергії для Землі. Це стимулює розвиток фотоелектричних технологій та геліоенергетики.

Розуміння гравітаційного впливу Місяця (астрономія) на гідросферу Землі дозволяє створювати припливні електростанції (фізика), використовуючи циклічну та надійну кінетичну енергію.

Фізичні моделі атмосфери та гідросфери, що враховують теплопередачу, конвекцію та випромінювання (парниковий ефект), дозволяють точно прогнозувати глобальні зміни клімату та обґрунтовувати політику скорочення викидів. Закони оптики та радіофізики (фізика) використовують для розробки супутників (астрономічна технологія), які моніторять рівень забруднення, вирубку лісів та стан озонового шару Землі.

Знання фізико-технічних основ сучасних технологій та виробництва є основою для створення матеріалів, електроніки та телекомунікацій. Це стимулює економічне зростання, підвищує якість життя (соціальний прогрес) та створює нові робочі місця.

Принципи орбітальної механіки (астрономія) є основою для роботи систем GPS та супутників зв'язку. Це критично важливо для світової торгівлі, логістики, швидкого реагування на катастрофи та забезпечення глобальної комунікації.

Фізика й астрономія мають подвійний вплив у контексті війни: вони створюють технології, які можуть бути використані у воєнних цілях і водночас дають інструменти для захисту, порятунку й прогнозування небезпек.

Астрономія стала основою орбітальної навігації, супутникового спостереження й прогнозування, без яких неможлива сучасна оборона. Супутники спостереження (*Earth observation*) відстежують переміщення військ, наслідки атак, руйнування інфраструктури. Системи GPS/Galileo забезпечують точність наведення, використовуються у транспорті й гуманітарних місіях. Космічна метеорологія — прогнозує погодні умови для польотів, артилерії, зв'язку. Супутниковий інтернет (Starlink, тощо) підтримує стабільний зв'язок навіть у зоні бойових дій. Астрономічні методи аналізу зображень (спектроскопія, радіоінтерферометрія) використовуються для дешифрування супутникових даних.

## ДУМАЙ

**1.** Які основні види фізико-астрономічних впливів становлять небезпеку для людини? **2.** Назви приклади технічних засобів, що забезпечують механічну, теплову й електричну безпеку. **3.** Чому закон збереження енергії доводить потребу економного використання природних ресурсів? **4.** Порівняй природні й техногенні небезпеки за фізичною природою походження. **5.** Як фізичні й астрономічні знання допомагають передбачати наслідки глобального потепління? **6.** Які знання з фізики найважливіші для обороноздатності країни? **7.** Запропонуй власну ідею, як можна використати фізичні або астрономічні знання для зменшення ризику природних катастроф. **8.** Як би ти пояснив / пояснила молодшим школярам, що фізика й астрономія рятують життя? **9.** Що змінилося у твоєму ставленні до фізики й астрономії після вивчення теми? **10.** Які знання допомагають тобі почуватися більш захищеним у сучасному світі? **11.** Як ти можеш застосовувати знання фізики й астрономії у побуті, щоб жити безпечніше та екологічніше?

## ДІЙ

### ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

#### Візьми участь у груповій роботі

Об'єднайтесь у групи. Оберіть теми досліджень та обміняйтеся результатами з однокласниками / однокласницями.

1. «Магнітна буря над Україною». З'ясуй, які системи на Землі можуть постраждати (зв'язок, енергомережі, транспорт). Розроби короткий план дій для служби цивільного захисту. Запропонуй, як можна передбачати такі події за допомогою супутників.
2. «Астероїд і планетарний захист». Ситуація: міжнародні обсерваторії виявили астероїд, що може наблизитися до Землі через 50 років. Опиши астрономічні методи, які допоможуть визначити траєкторію. Запропонуй фізичні способи відхилення або зниження ризику зіткнення. Поясни, чому міжнародна співпраця є важливою.
3. «Енергоефективна будівля». Визнач, які фізичні процеси спричиняють втрату енергії. Розроби план із трьох фізично обґрунтованих заходів для економії енергії. Поясни, як реалізація таких рішень впливає на довкілля.
4. «Фізика безпеки». Створи міні-путівник або плакат про фізичні чинники небезпеки в школі й способи захисту.
5. «Безпечне майбутнє Землі». Здійсни аналіз ризиків (механічних, радіаційних, космічних). Створи інтерактивну карту «Земля під захистом фізики й астрономії».

**6** «Супутники на службі безпеки». Україна отримала дані із супутника, які допомагають визначити масштаби пожеж після обстрілів. Які фізичні принципи роботи супутників забезпечують таку можливість? Як ці дані можуть врятувати життя? Які ризики пов'язані з використанням супутникових технологій у війні?

**7** «Енергія миру чи зброя?» Ядерна енергія може бути як джерелом електрики, так і зброєю масового знищення. Як фізика пояснює обидва варіанти? Яких етичних меж має дотримуватися людство у використанні ядерних технологій? Як міжнародні угоди контролюють ці питання?

**8** Уяви себе у 2050 році. Які наукові відкриття змінили життя людей?

**9** Порівняйте за таблицею поняття «еволюція», «розвиток» і «прогрес». Визнач, які процеси в вислові «Людство пройшло шлях від відкриття вогню до польотів у космос» належать до еволюції, які — до розвитку, а які — до прогресу.


40.1

| Критерій | Еволюція | Розвиток | Прогрес |
|---|---|---|---|
| Визначення | Незворотний процес якісних змін, що веде до ускладнення системи та появи нових форм | Спрямований процес реалізації внутрішньої програми (потенціалу) системи | Напрямлений рух від нижчого до вищого, від простішого до складнішого |
| Характер змін | Нейтральний; не має визначеної мети чи «добра» (наприклад, вимирання виду — це теж еволюція) | Нейтральний; завершується дозріванням або виконанням циклу | Оціночний; завжди передбачає покращення, ефективність або наближення до ідеалу |
| Зворотність | Незворотна (у біологічному сенсі) | Частково зворотний (регрес, деградація) | Теоретично зворотний (регрес або занепад) |
| Приклади | Поява фотосинтезуючих організмів; розширення Всесвіту | Дозрівання плоду; твоє навчання; зростання компанії | Перехід від кам'яного віку до космічної ери |

## ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

**1** Тобі стали зрозумілі фундаментальні взаємодії, які поєднують мікросвіт атомів із макросвітом космічних об'єктів.
**Гравітаційна** — керує рухом планет і галактик.
**Електромагнітна** — відповідає за світло та зв'язки в атомах.
**Ядерні сильна та слабка** — діють всередині атомних ядер.

**2** Ти можеш виявити причинно-наслідкові зв'язки між фізичними й астрономічними явищами та процесами на Землі.

**3** Ти можеш розрізняти астрономічні об'єкти й явища та класифікувати їх за ознаками.

### СКЛАД ВСЕСВІТУ

**Галактики** — величезні зоряні системи, що є «цеглинками» Всесвіту. Вони бувають *спіральними* (як наш Чумацький Шлях), *еліптичними* та *неправильними*.

**Зорі та планетні системи** — об'єкти, що групуються всередині галактик.

Склад сонячної системи: зоря Сонце, 8 планет, понад 200 супутників, карликові планети (як-от Плутон і Церера) та малі тіла (астероїди, комети).

**Міжзоряний простір** заповнений газом, пилом, а також загадковими компонентами — *темною матерією* та *темною енергією*, які впливають на швидкість розширення Всесвіту.

Простір Всесвіту постійно розширюється, а отже, він мав початок (Великий вибух). Радіус спостережуваного Всесвіту становить приблизно 46 мільярдів світлових років.

**4** Ти зрозумів/зрозуміла, що всі явища в природі пов'язані ланцюжком причин і наслідків:

1. Сонце → життя: гравітація утримує Землю на орбіті. Електромагнітна взаємодія (світло) забезпечує енергію для фотосинтезу (хімічний процес), що є основою біологічного життя на Землі.
2. Місяць → клімат: гравітаційний вплив Місяця (гравітація) спричиняє припливи та відпливи та стабілізує вісь обертання Землі, забезпечуючи стабільний клімат.
3. Еволюція → людина: тривалий еволюційний процес (керований фізичними та хімічними законами) призвів до появи людини, яка сама стає активним учасником взаємодії, змінюючи енергетичний баланс планети та створюючи штучні системи.

## ПЕРЕВІР СЕБЕ

### 1 Як ти умієш досліджувати природу

Обери одне астрономічне явище (полярне сяйво, метеорний дощ, сонячне затемнення, магнітна буря, фази Місяця).

1. Сформулюй дослідницьке запитання (що саме хочеш з'ясувати).
2. Визнач, які фізичні та астрономічні процеси лежать в основі цього явища.
3. Запропонуй метод спостереження або збору даних (без телескопа / з використанням онлайн-ресурсів).
4. Зроби висновок про значення цього явища для життя людей або техносфери.

### 2 Як ти умієш опрацьовувати інформацію

З'ясуй, яку роль відіграють знання з фізики й астрономії у професії, яку ти розглядаєш як можливу для свого майбутнього.

Скориставшись відкритими джерелами (сайти університетів, професійні портали, відеоінтерв'ю з фахівцями), знайди інформацію про те:

- ✓ у яких професійних діях представників обраної спеціальності застосовуються знання з фізики й астрономії;
- ✓ які фізичні закони вони фактично застосовують у роботі;
- ✓ які наслідки може мати помилка у розумінні фізичних законів (ризики, аварії, неточності).

### 3 Як ти усвідомлюєш закономірності природи

Уявіть, що ви — команда експертів, яка працює в міжнародному космічному агентстві. Людство активно освоює навколоземну орбіту, проте стикається з викликами: від сонячної активності до накопичення космічного сміття. Водночас на Землі суспільство вимагає пояснень, чому кошти витрачаються на космос, а не на розв'язання побутових проблем.

- ✓ Поясніть, як сонячна активність вплине на здоров'я людей на Землі та на роботу систем GPS. Яка фундаментальна взаємодія тут відіграє ключову роль?
- ✓ Згадайте принаймні 4 технології, які ми використовуємо щодня (у медицині чи побуті), що з'явилися завдяки освоєнню космосу.
- ✓ Поясніть, чи є колонізація інших планет (наприклад, Марса) частиною сталого розвитку людства, чи це просто втеча від екологічних проблем Землі?
- ✓ Оберіть одну професію (наприклад, лікар, архітектор або агроном) і доведіть, що знання будови Всесвіту та законів фізики допоможуть представнику цієї професії бути успішнішим у майбутньому.



41.1
41.2

## ВІДПОВІДІ ДО ВПРАВ

**§ 1. 1.** 50 с. **2.** 10 м/с. **3.** 20 с. **4.** $-0{,}5$ м/с$^2$. **5.** 20 с. **6.** 2 м/с$^2$. 10 с; 36 м. **7.** А; А. **8.** - 6 м/с$^2$; 75 м. **§ 2. 1.** 60 Н. **2.** 0 Н; 2 Н; 4 Н; 6 Н. **3.** 7,8 Н. **4.** 50 Н; 53° до першої сили. **§ 3. 1.** 1 м/с$^2$. **2.** 2,4 кН. **3.** Південний захід; 500 кг. **4.** 6000 Н; 50 с; 375 м. **5.** 250 Н. **6.** 4 Н; 0 Н; $-2$ Н. **7.** 150 Н. **8.** 0,25 м/с$^2$; 0,2 м/с$^2$. **§ 4. 1.** 2,7 пН. **2.** $2 \cdot 10^{20}$ Н. **3.** 4; 36. **4.** 54 радіуси від центру Землі. **5.** 4,4 м/с$^2$. **6.** 0,45 с. **7.** 4,9 м; 9,8 м/с$^2$. **8.** 1,43 с; 20 м. **9.** 3,4 с; 57 м. **10.** 1 с; 5,13 с; 45,9 м; 3 с. **§ 5. 1.** 1 с. **2.** 0,04. **3.** 6 Н/м. **4.** 0,04. **§ 6. 1.** 16 кг · м/с; 48 кг · м/с. **2.** 1 м/с у напрямі початкового руху тіла масою 6 кг. **3.** 0,16 м/с. **4.** 0,24 м/с. **5.** 0,5 м/с. **6.** $-2$ м/с. **7.** $-10$ м/с$^2$; 40 м/с$^2$; 20 %. **§ 7. 1.** 60 м. **2.** 200 кДж; 1000 кг. **3.** 200 кДж. **4.** 25,6 Н. **5.** 0,5 Дж. **6.** 0,5 м. **7.** 0,98 м. **§ 8. 1.** 1 м. **2.** Збільшиться вдвічі. **3.** 0,31 с. **4.** 31,6 Н/м. **5.** Збільшиться вдвічі. **§ 9. 1.** 10 м/с. **2.** 2 м. **3.** 4. **4.** 2,4 м/с. **5.** 5 м/с; 15 м/с. **§ 10. 1.** 7600 м/с. **2.** 680 м/с. **3.** 2720 м. **4.** 85 м. **§ 12.** 2. а — за годинниковою стрілкою, в — вгору. **§ 15. 1.** а — вгору; б – вниз; в — від нас; г — від нас; д — $SN$. **2.** Другому. **3.** Лівий — від нас; правий — до нас; відштовхуються. **4.** Якщо в одному напрямі, то магнітне поле в точці $A$ відсутнє. **5.** 40 мТл. **6.** 0,05 Н. **§ 17. 1.** а — притягується; б — відштовхується. **2.** $NS$ $SN$. **3.** Так. **4.** $SN$. **5.** Зменшиться. **6.** В — «+»; А — «–». **§ 20. 1.** 100 м. **2.** Збільшити втричі. **3.** 454,5 м. **4.** 12,2 см. **§ 22. 1.** 12,5 м; 6 см. **2.** 33 см; 1/4 довжини. **3.** 1,5 ГГц. **4.** 0,12 с. **5.** 0,14 с. **6.** 6,45 км. **7.** 30; 300 км. **8.** 1,1 м. **§ 23. 1.** 500 с. **2.** $1{,}6 \cdot 10^{-5}$ св. р. **3.** 264000 років. **§ 24. 1.** 2. **3.** 22,5 м. **4.** 2 м. **7.** 26,7 см. **8.** 1,5 км. **§ 25. 3.** 50°. **4.** 45°. **5.** 60°. **6.** 45°. **7.** 32°; 48°; 70°. **9.** 70°. **10.** 25°. **11.** Половина зросту людини. **12.** 4 м/с; 2 м/с. **14.** 20°. **§ 26. 2.** 40°. **3.** 59,5°; 30,5°. **5.** 4 м. **§ 27. 3.** Уявне зображення –60 см. **4.** –3 дптр; розсіювальне. **5.** 22,2 см. **6.** 0,5 м; збільшене. **7.** 5 дптр. **8.** 12 см. **§ 30. 1.** $e = 19$; $p = 19$; $n = 20$. **2.** 12; 13. **3.** Барій. **4.** 15; 17. **5.** Нітроген; Аргон; Літій; Полоній. **6.** Протон у 1836 раз. **7.** Цинк. **§ 31. 1.** ${}^{225}_{88}\mathrm{Ra} \to {}^{225}_{89}\mathrm{Ac} + {}^{0}_{-1}e$. **2.** ${}^{220}_{86}\mathrm{Rn} \to {}^{216}_{84}\mathrm{Po} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$. **3.** ${}^{14}_{6}\mathrm{C} \to {}^{14}_{7}\mathrm{N} + {}^{0}_{-1}e$. **5.** ${}^{226}_{88}\mathrm{Ra}$. **6.** 8 α-розпадів та 6 β-розпадів. **§ 32. 1.** Половина. **2.** 4 доби. **3.** $2{,}5 \cdot 10^{7}$ ядер за секунду. **4.** 305 с. **5.** $4{,}15 \cdot 10^{-9}$ 1/с. **6.** $4{,}48 \cdot 10^{9}$ років; 12,4 кБк. **7.** 60 с. **§ 33. 1.** ${}^{27}_{13}\mathrm{Al} + {}^{1}_{0}n \to {}^{24}_{11}\mathrm{Na} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$, ${}^{12}_{6}\mathrm{C} + {}^{1}_{1}\mathrm{H} \to {}^{13}_{6}\mathrm{C} + {}^{0}_{+1}e$, ${}^{25}_{12}\mathrm{Mg} + {}^{1}_{1}\mathrm{H} \to {}^{22}_{11}\mathrm{Na} + {}^{4}_{2}\mathrm{He}$, ${}^{55}_{25}\mathrm{Mn} + {}^{1}_{1}\mathrm{H} \to {}^{55}_{26}\mathrm{Fe} + {}^{1}_{0}n$, ${}^{27}_{13}\mathrm{Al} + \gamma \to {}^{26}_{12}\mathrm{Mg} + {}^{1}_{1}\mathrm{H}$. **2.** ${}^{27}_{13}\mathrm{Al} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} \to {}^{30}_{14}\mathrm{Si} + {}^{1}_{1}\mathrm{H}$. **3.** ${}^{11}_{5}\mathrm{B} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} \to {}^{14}_{7}\mathrm{N} + {}^{1}_{0}n$. **4.** 83,2 ГДж; 2,8 т. **5.** 20 °С.

# ПОКАЖЧИК


Абсолютний показник заломлення, *153*
Активність радіоактивного елемента, *200*
Альфа-частинки, *195*
Бета-частинки, *195*
Висота звуку, *67*
Вільне падіння, *29*
Галактики, *239*
Гама-промені, *195*
Гучність, *67*
Дисперсія, *178*
Дифракція хвиль, *124, 181*
Діамагнетики, *83*
Довжина хвилі, *59*
Екліптика, *245*
Електрогенератор, *112*
Електродвигун, *98*
Електромагніт, *103*
Електромагнітна хвиля, *118*
Енергія кінетична, *43*, потенціальна, *43*
Ефект Доплера, *71*
Закон відбиття світла, *148*
Закон всесвітнього тяжіння, *27*
Закон заломлення світла, *153*
Закон збереження і перетворення енергії, *44*
Закон збереження імпульсу, *38*
Закон прямолінійного поширення світла, *142*
Закон радіоактивного розпаду, *199*
Закони Ньютона: перший, *22*, другий, *23*, третій, *23*
Замкнена (ізольована) система, *37*
Звук, *62*
Змінний електричний струм, *112*
Зображення дійсне *149*, уявне *150*
Зоря, *235*
Ізотопи, *191*
Імпульс сили, *36*
Імпульс тіла, *36*
Індукційний струм, *108*
Індукція магнітного поля, *80*
Інтерференція хвиль, *124*, *180*
Коливальний рух, *49*
Ланцюгова ядерна реакція, *205*
Лінза, *158*
Механічна хвиля, *58*
Оптична сила лінзи, *161*
Освітленість, *172*
Парамагнетики, *83*
Період піврозпаду, *199*
Потужність, *45*
Правило Ленца, *108*
Прискорення, *10*
Радіоактивність, *194, 196*
Радіолокація, *131*
Радіохвилі, *127*
Рівнодійна сила, *17*
Рівнозмінний рух, *11*
Світло, *138*
Світловий потік, *171*
Світловий промінь, *141*
Сила, *19*
Сила Ампера, *92*
Сила нормального тиску, *17*
Сила реакції опори, *17*
Сила світла, *172*
Сила тертя ковзання, *17*
Сила тяжіння, *16*
Тембр, *67*
Термоядерна реакція, *215*
Точкове джерело світла, *141*
Туманність, *240*
Феромагнетики, *83*
Явище електромагнітної індукції, *107*
Ядерні сили, *191*

# ФІЗИКА — ЦЕ ОСНОВА ПРОФЕСІЙ МАЙБУТНЬОГО

## Інженер-конструктор

- Розраховує сили, прискорення, навантаження.
- Створює машини, механізми, конструкції.

**Фізика:**
механіка, енергія, імпульс.



## Робототехнік / Мехатронік

- Програмує рух механізмів.
- Використовує датчики, електромагнітні системи.

**Фізика:**
електромагнітні явища, хвилі, сили.



## Медичний фізик

- Працює з МРТ, рентгеном, радіотерапією.
- Розраховує дози та забезпечує безпеку.

**Фізика:**
хвилі, радіація, ядерні процеси.



## Програміст / Геймдизайнер

- Створює реалістичний рух у грі.
- Моделює світло, тіні, колізії.

**Фізика:**
рух тіл, сили, оптика.



## Астрофізик / Астроном

- Вивчає зірки, галактики, чорні діри.
- Аналізує спектри та рух небесних тіл.

**Фізика:**
механіка, хвилі, ядерна фізика.



## Ядерний інженер / Енергетик

- Керує ядерними реакціями.
- Забезпечує енергетичну безпеку.

**Фізика:**
радіоактивність, енергія.



## Авіа- та ракетний інженер

- Розраховує траєкторії польоту.
- Працює з аеродинамікою та двигунами.

**Фізика:**
сили, тиск, рух, енергія.



## Біомеханік / Фізичний терапевт

- Аналізує рухи та навантаження.
- Створює протези й екзоскелети.

**Фізика:**
механіка, коливання, енергія.



## Метеоролог / Кліматолог

- Вивчає атмосферні процеси.
- Моделює теплопередачу та випромінювання.

**Фізика:**
хвилі, теплові явища, оптика.




## Інженер-телекомунікацій / Системний інженер

- Проєктує радіомережі та системи передачі даних.
- Працює з електромагнітними хвилями.

**Фізика:**
хвилі, електромагнетизм, оптика.

