ОСВІТА

Тетяна Засєкіна, Максим Гвоздецький

ФІЗИКА



8 КЛАС

ПРАВИЛА БЕЗПЕКИ В КАБІНЕТІ ФІЗИКИ ВЧИТЕЛЯ/ВЧИТЕЛЬКИ



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 фото- чи 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) $0,\,000\,000\,001 = 10^{-9}$

Тетяна Засєкіна, Максим Гвоздецький

«Фізика»

підручник для 8 класу закладів загальної середньої освіти

Видавничий дім «Освіта»
2025

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
(наказ Міністерства освіти і науки України від 21.02.2025 № 347)

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.)

Е-додаток до підручника розташований за посиланням:
https://vse.ee/csdf

Також всі матеріали е-додатка продубльовано
на відкритому ресурсі
https://smarttextbook.com.ua/physics/

vse.ee/clpf

ЗМІСТ

Передмова 4
ПОВТОРЕННЯ 6

Тема 1. ВНУТРІШНЯ ЕНЕРГІЯ. ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС

§ 1. Досліджуємо частинки речовини 10
§ 2. Досліджуємо агрегатні стани речовини 18
§ 3. Досліджуємо тепловий рух частинок речовини 25
§ 4. Досліджуємо теплове розширення тіл 33
§ 5. Досліджуємо внутрішню енергію речовини 39
§ 6. Досліджуємо види теплопередачі 44
§ 7. Досліджуємо нагрівання речовини 50
§ 8. Досліджуємо тепловий баланс 55
Лабораторні роботи 1-2 59
ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ 61
ПЕРЕВІР СЕБЕ 64

Тема 2. ЗМІНА АГРЕГАТНОГО СТАНУ. ТЕПЛОВІ МАШИНИ

§ 9. Досліджуємо поверхневий натяг рідин, змочування і капілярні явища 67
§ 10. Досліджуємо пароутворення: випаровування і кипіння 72
§ 11. Розраховуємо кількість теплоти за кипіння /конденсації 77
§ 12. Вимірюємо вологість повітря 83
§ 13. Досліджуємо кристалічні й аморфні речовини 89
Лабораторна робота 3 98
§ 14. Розраховуємо кількість теплоти за згорання палива та визначаємо ККД нагрівника 100
Лабораторна робота 4 106
§ 15. Використовуємо теплову енергію для виконання роботи 108
§ 16. Вивчаємо теплові двигуни й питання теплоенергетики 114
ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ 120
ПЕРЕВІР СЕБЕ 122

Тема 3. ЕЛЕКТРИЧНА ВЗАЄМОДІЯ. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ

§ 17. Дізнаємось про електричний заряд 124
§ 18. Досліджуємо як відбувається взаємодія електрично заряджених тіл 129

§ 19. Досліджуємо електричне поле 135
§ 20. Вимірюємо силу електричної взаємодії 141
§ 21. Досліджуємо електричні властивості речовин 147
§ 22. Досліджуємо умови існування електричного струму 153
§ 23. Складаємо електричне коло 158
§ 24. Дізнаємось про силу струму і напругу 163
Лабораторна робота 5 170
§ 25. Вимірюємо електричний опір в колі 171
Лабораторна робота 6 176
§ 26. Вимірюємо електричний опір металевого провідника 178
ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ 185
ПЕРЕВІР СЕБЕ 187

Тема 4. ЗАКОНИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ. ЕЛЕКТРИЧНА ЕНЕРГІЯ

§ 27. Досліджуємо електричні кола із послідовним з'єднанням провідників 190
Лабораторна робота 7 196
§ 28. Досліджуємо електричні кола із паралельним з'єднанням провідників 197
Лабораторна робота 8 204
§ 29. Досліджуємо електричні кола із мішаним з'єднанням провідників 205
§ 30. Досліджуємо дії електричного струму 211
§ 31. Досліджуємо електричний струм в різних середовищах 219
§ 32. Досліджуємо роботу електричного струму 227
Лабораторна робота 9 236
§ 33. Досліджуємо перетворення і використання електричної енергії 237
ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ 246
ПЕРЕВІР СЕБЕ 248

ВІТАЄМО НА СТОРІНКАХ ПІДРУЧНИКА «ФІЗИКА»!



Цьогоріч ти продовжиш захопливі мандри світом науки фізики.

Тобі стануть у пригоді набуті у 7 класі 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 фізичні задачі різними способами, застосовувати наукові методи дослідження та інженерні підходи до розв'язання проблем. Допоможе тобі в цьому наш підручник у форматі 4Д:





На початку кожної теми наведено очікувані результати навчання.

Твої дії: Ознайомся з ними. Періодично відслідковуй, яких очікуваних результатів вдалося досягнути.

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

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



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.



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 запитан-

ня, спонукання до виконання певних завдань — аналізування прочитаного, роботу з малюнками, графіками й таблицями. Тобі траплятимуться анімаційні картинки, що «оживляють» фізичні процеси. Для цього налаштуй у своєму гаджеті функцію зчитування інформації за QR-кодом.

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 із 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. Задачі підвищеної складності позначені зірочкою.

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

У цій рубриці узагальнено матеріал теми, що вивчалася.

Твої дії: Самостійно упорядкуй вивчений матеріал у вигляді таблиці, схеми; співвіднеси очікувані результати навчання з отриманими знаннями, уміннями, навичками.

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 (далі — е-додаток) ти знайдеш цікаву додаткову інформацію, відео дослідів, явищ і процесів, що вивчаєш, а також інтерактивні завдання і вправи для самоперевірки та дослідницькі задачі.

vse.ee/clpf

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

Розвивай у собі 4Д-риси дослідника/дослідниці:

Допитливість | Далекоглядність | Доброчесність | Діловитість

ПОВТОРЕННЯ

Розглянь малюнки. Пригадай, що ти знаєш про механічні явища.



Швидкість



Механічна енергія



Робота



Виштовхувальна сила



Механічний рух — це зміна з часом положення тіла в просторі відносно інших тіл. Розрізняють поступальний, обертальний та коливальний види механічного руху тіл.

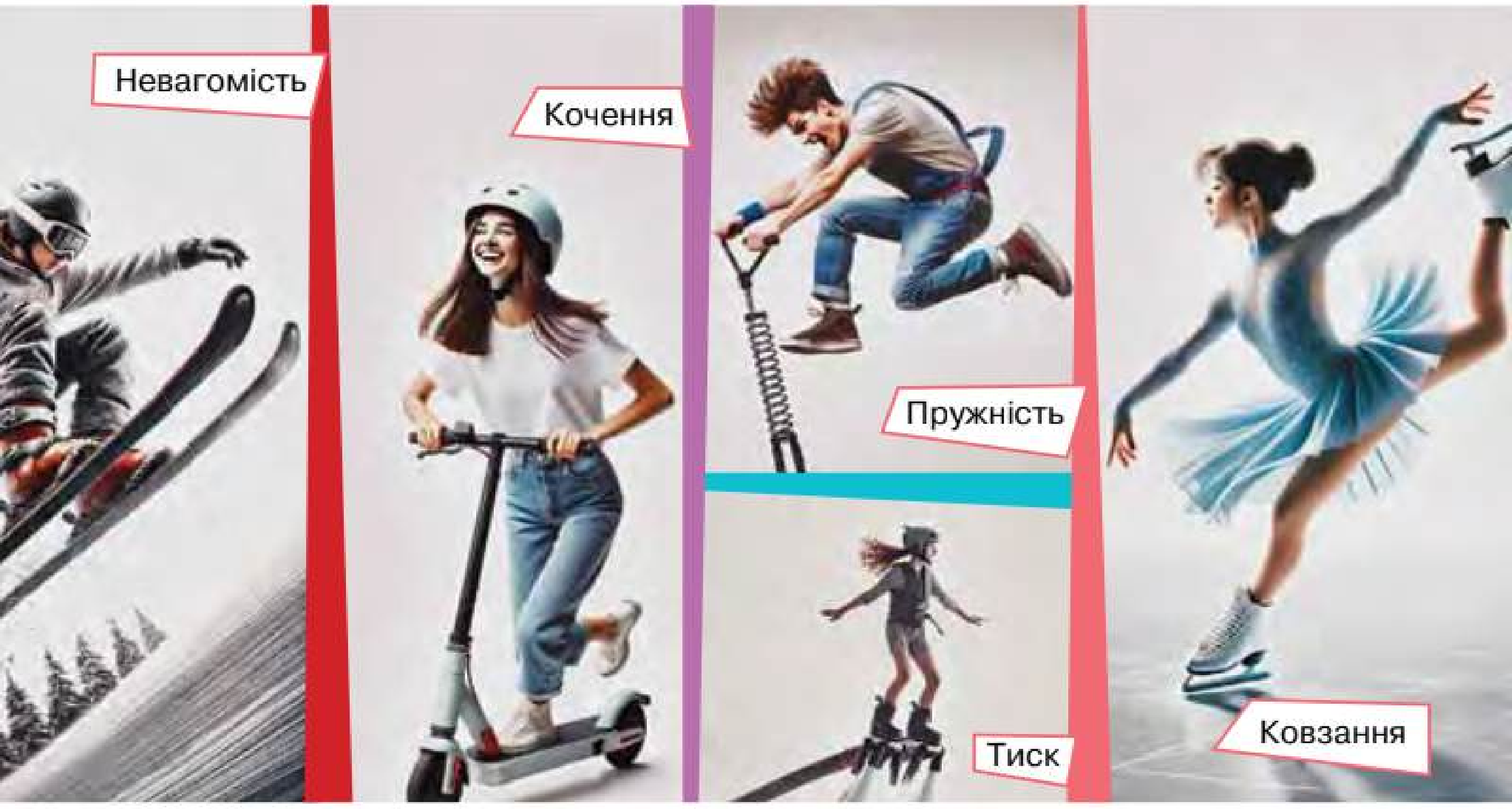
Швидкість рівномірного прямолінійного руху тіла — це фізична величина, яка характеризує стрімкість зміни положення тіла у просторі і показує, яку відстань проходить тіло за одиницю часу $v = \frac{L}{t}$. Швидкість — величина векторна, тобто вона має значення (модуль) і напрямок.

Рух матерії існує сам по собі. Зміна стану руху (швидкості) відбувається внаслідок взаємодії.

Інерція — явище збереження тілом стану спокою або прямолінійного й рівномірного рухів, коли на нього не діють інші тіла або дія тіл скомпенсована.

Величиною, що характеризує взаємодію, є сила. Одиниця сили — ньютон, 1 Н.

Сила тяжіння характеризує гравітаційну взаємодію. Її визначають за формулою: $F_{тяж} = mg$, де m — маса тіла, g — прискорення вільного падіння.



Сила пружності виникає внаслідок деформації та зумовлена електромагнітною взаємодією частинок речовини. Для пружної взаємодії виконується закон Гука: $F_{пр} = kx$, де k — коефіцієнт пружності, x — лінійне видовження чи стиснення тіла.

Вага — сила, з якою тіло у полі тяжіння Землі діє на опору або підвіс.

Сили тертя (спокою, ковзання, кочення) — це сили, що чинять опір відносному переміщенню одного тіла по поверхні іншого. Сила тертя ковзання: $F_{тер\ ковз} = \mu N$, де N — сила нормальної реакції опори, μ (мю) — коефіцієнт тертя ковзання.

Тиск твердого тіла на поверхню визначається за формулою: $p = \frac{F}{S}$, де p — тиск, F — сила, яка діє перпендикулярно на поверхню, S — площа поверхні. Одиницею тиску є паскаль, 1 Па.

Рідини і гази передають створюваний на них тиск в усіх напрямках однаково (*закон Паскаля*).

Тиск всередині рідини (гідростатичний тиск) зумовлений силою тяжіння, залежить від густини рідини ρ і висоти стовпа рідини h: $p = \rho g h$.

Тиск газів зумовлений ударами молекул об стінки посудини.

Під дією земного тяжіння верхні шари атмосфери тиснуть на її нижні шари, утворюючи *атмосферний тиск*.

Сила Архімеда (виштовхувальна сила) діє на занурене у рідину (або газ) тіло, визначається за формулою: $F_в = \rho_р g V_т$, де $\rho_р$ — густина рідини (газу), $V_т$ — об'єм тіла, що повністю знаходиться в рідині (газі); напрямлена вертикально вгору і прикладена до центру зануреної частини тіла.

Механічна робота (A) — фізична величина, яка характеризує переміщення під дією сили й визначається добутком сили на переміщення: $A = F \cdot s$. Одиниця роботи — джоуль, 1 Дж = 1 Н · м.

Потужність (N) — фізична величина, яка характеризує швидкість виконання роботи і визначається відношенням роботи до часу, за який її було виконано: $N = \frac{A}{t}$. Одиниця потужності — ват, $1\,\text{Вт} = 1\,\frac{\text{Дж}}{\text{с}}$. Виконана робота дорівнює зміні енергії: $A = \Delta E$.

Розрізняють два види механічної енергії. *Потенціальна енергія* — це енергія взаємодії тіл або частин тіла, яка визначається їх взаємним положенням. Підняте над землею тіло на висоті h має потенціальну енергію $E_п = mgh$. Пружно деформована (розтягнена або стиснена) пружина має потенціальну енергію: $E_п = \frac{kx^2}{2}$. *Кінетична енергія* — це фізична величина, яка характеризує рухоме тіло: $E_к = \frac{mv^2}{2}$.

Закон збереження і перетворення механічної енергії: у системі тіл, які взаємодіють одне з одним тільки силами пружності та силами тяжіння, повна механічна енергія не змінюється. Енергія не виникає і не зникає: вона лише переходить з одного виду в інший — це фундаментальний закон природи.

Пристрої, призначені для перетворення сили, називають *простими механізмами*. Жоден простий механізм не дає виграшу в роботі. У скільки разів виграємо в силі, у стільки ж разів програємо у відстані — це *золоте правило механіки*.

Коефіцієнт корисної дії (ККД) — це фізична величина, що характеризує ефективність використання наданої механізму енергії і чисельно дорівнює відношенню корисної роботи до витраченої (повної) роботи: $\eta = \frac{A_к}{A_в} \cdot 100\,\%$.



ТЕМА 1. ВНУТРІШНЯ ЕНЕРТІЯ. ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС

ТИ НАВЧИШСЯ:

- вибирати пізнавальну ситуацію, яку можна розв'язати дослідницьким способом, формулювати висновки, презентувати результати, здійснювати самоаналіз дослідницької діяльності;
- опрацьовувати, систематизувати та представляти інформацію природничого змісту;
- формулювати проблему й обирати стратегії її розв'язання;
- досліджувати процеси, що супроводжуються виділенням і поглинанням тепла;
- складати рівняння теплового балансу;
- розв'язувати фізичні задачі на визначення величин, що описують поглинання/виділення тепла у процесах нагрівання/охолодження.

ТИ ЗРОЗУМІЄШ:

- що від руху і взаємодії частинок речовини залежать її агрегатний стан та внутрішня енергія;
- що середня кінетична енергія руху частинок речовини визначає її температуру;
- чому розширюються тіла внаслідок нагрівання;
- що змінити внутрішню енергію тіла можна внаслідок виконання роботи або нагрівання;
- що тепло можна передавати трьома способами: теплопровідністю, конвекцією та тепловим випромінюванням;
- що в теплоізольованій системі виконується тепловий баланс.

ТИ ЗМОЖЕШ:

- описувати будову і властивості речовини, використовуючи поняття: атом, молекула, тепловий рух, міжмолекулярна взаємодія;
- пояснювати теплові процеси, застосовуючи поняття і величини: температура, внутрішня енергія, температура, теплопровідність, конвекція, теплове випромінювання, теплоємність, питома теплоємність;
- виявляти емоційно-ціннісне ставлення до індивідуальної/спільної діяльності та досягнутих результатів.

§ 1. ДОСЛІДЖУЄМО ЧАСТИНКИ РЕЧОВИНИ



Речовини складаються з атомів і молекул. Атом — із ядра й електронів. Ядро — із протонів і нейтронів. Про це ми дізналися на уроках природничих курсів, фізики і хімії. Невже є щось, чого ми не знаємо?

Так, знаємо ми багато, а от чи можемо пояснити, як саме вчені дізналися стільки інформації про будову речовини?



ДОСЛІДЖУЙ

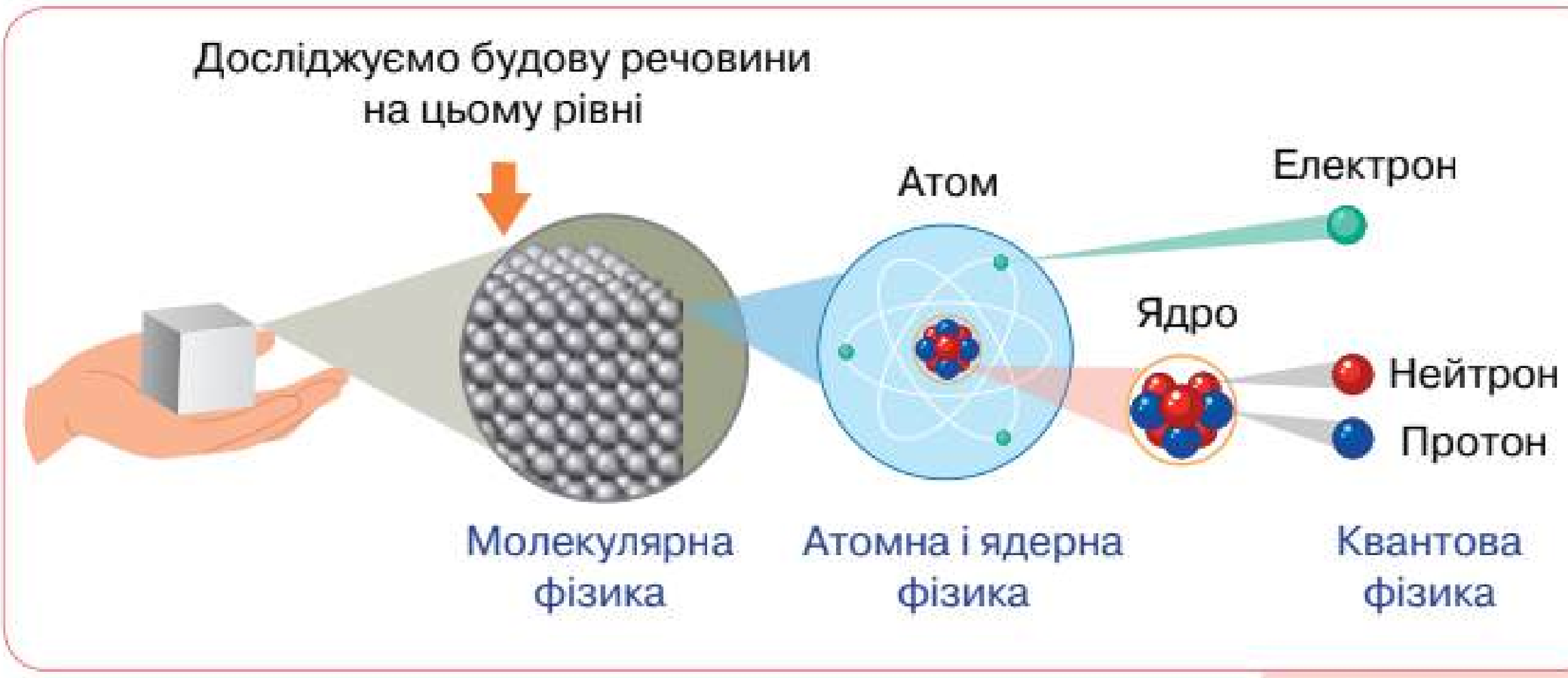
1. Переконайся, що речовина не суцільна, а складається із дрібних частинок. План дослідження й обладнання добери самостійно.
2. Доведи експериментально, що відстані між частинками рідини менші від відстаней між частинками газу, але більші за відстані між частинками твердої речовини. План дослідження й обладнання добери самостійно.

ДІЗНАВАЙСЯ

Про теорію будови речовини. Про будову речовини тобі відомо з уроків природничих курсів, фізики та хімії. З кожним роком ти розширюєш свої знання. Так і вчені від простих дослідів і спостережень переходили до узагальнень й упорядкування відомостей про будову речовини протягом кількох століть. Як ти думаєш чому?

Припущення про те, що речовини не суцільні, а складаються з дрібних частинок — атомів, висловив ще давньогрецький філософ Демокріт (приблизно 460–370 рр. до н. е.). А от побачити атом, сфотографувавши

його, вдалось аж у XX столітті. Тоді ж було з'ясовано, що атом і його ядро мають складну будову і ядро можна розділити на окремі частинки; що дрібні частинки, із яких складаються атоми і ядра, за певних умов, можуть змінювати своє місце перебування і перетворюватись одна на одну. Ці процеси супроводжуються виділенням або поглинанням порції енергії — кванта. Кожне відкриття у вивченні будови речовини породжувало нові наукові напрямки в науці, зокрема у фізиці (мал. 1.1).



Мал. 1.1

Для вивчення теплових явищ нам достатньо ознайомитись із положеннями *молекулярно-кінетичної теорії* (*molecular kinetic theory*) будови речовини (скорочено МКТ). На які припущення тебе наштовхує назва теорії? А чи зможеш ти навести аргументи, які підтверджують її основні положення? А вони такі:

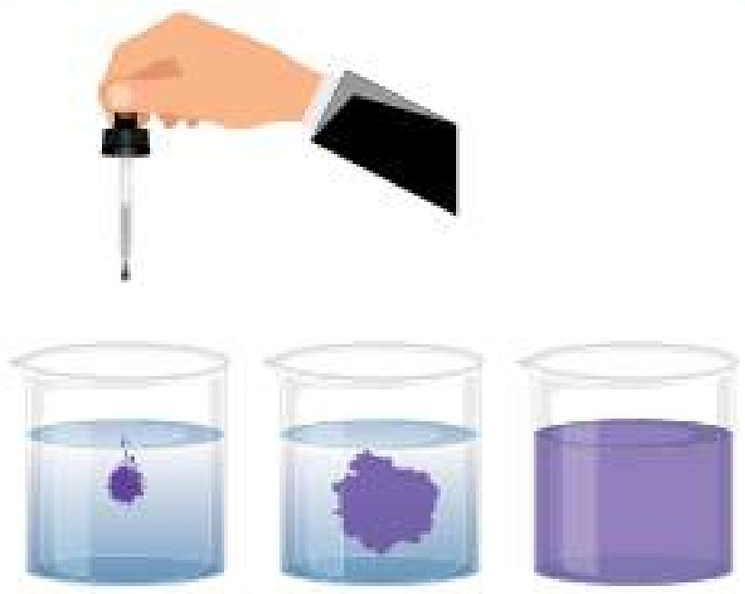
1. Речовина складається із частинок (молекул, атомів, інших частинок).
2. Частинки речовини перебувають у безперервному хаотичному (безладному) русі.
3. Частинки речовини взаємодіють між собою — притягуються і відштовхуються.

У тому, що речовина не суцільна, ти можеш переконатися самостійно, виконавши дослід (мал. 1.2, с. 12). Розведи фарбу у воді, набери розчин у піпетку і додай кілька його крапель у велику посудину із водою. Спостерігай за тим, що відбувається, і через деякий час ти побачиш, що вода стане рівномірно зафарбованою.

Поміркуй, про що це свідчить. Спробуй пояснити це явище.

Переглянь в е-додатку анімаційну модель процесу дифузії (1.1).

vse.ee/cnhx



Мал. 1.2.

Явище дифузії свідчить про те, що речовини складаються із дрібних частинок, які самостійно, вільно постійно рухаються. Спостереження за явищем дифузії дає можливість оцінити швидкість її протікання у рідинах, газах і твердих тілах, у тому числі за різної температури (мал. 1.3).

Дифузія (*diffusion*) — взаємопроникнення частинок однієї речовини поміж частинками іншої.

Дифузія: а — запах парфумів у повітрі поширюється швидко;





б — взаємопроникнення атомів золота і свинцю у твердих тілах — дуже повільно;

в — у гарячій воді дифузія відбувається інтенсивніше, ніж у холодній

Мал. 1.3

Якими є частинки речовини? Фізика досліджує структуру різних речовин разом з такими науками, як молекулярна біологія, фізична хімія і хімічна фізика. Учені встановили, що частинки, із яких складаються речовини, — це *атоми* або *молекули*, *йони* тощо.

У 1911 р. міжнародній групі вчених під керівництвом англійського фізика Ернеста Резерфорда в результаті складних експериментів вдалося

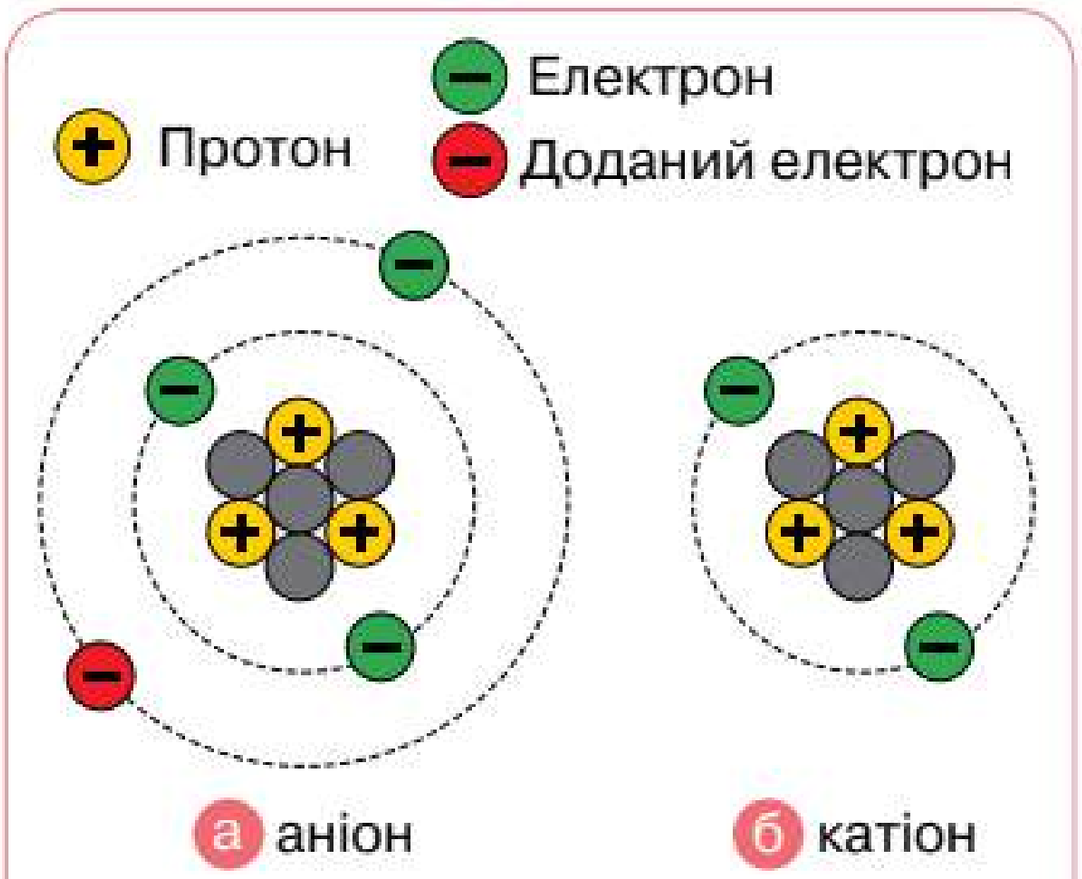
встановити, що в центрі атома є маленьке *ядро*, у якому зосереджена майже вся маса атома, а на краю атома електронними оболонками обертаються *електрони*. Ядро атома складається з *протонів* та *нейтронів* і заряджене позитивно. Протони мають позитивний електричний заряд (+), електрони — негативний (–). Нейтрони електричного заряду не мають — вони нейтральні (мал. 1.1). Стійкість атома забезпечується електромагнітною взаємодією: притяганням між різнойменно зарядженими частинками й відштовхуванням однойменних.

Переглянь в е-додатку анімаційну модель будови атома (1.2).

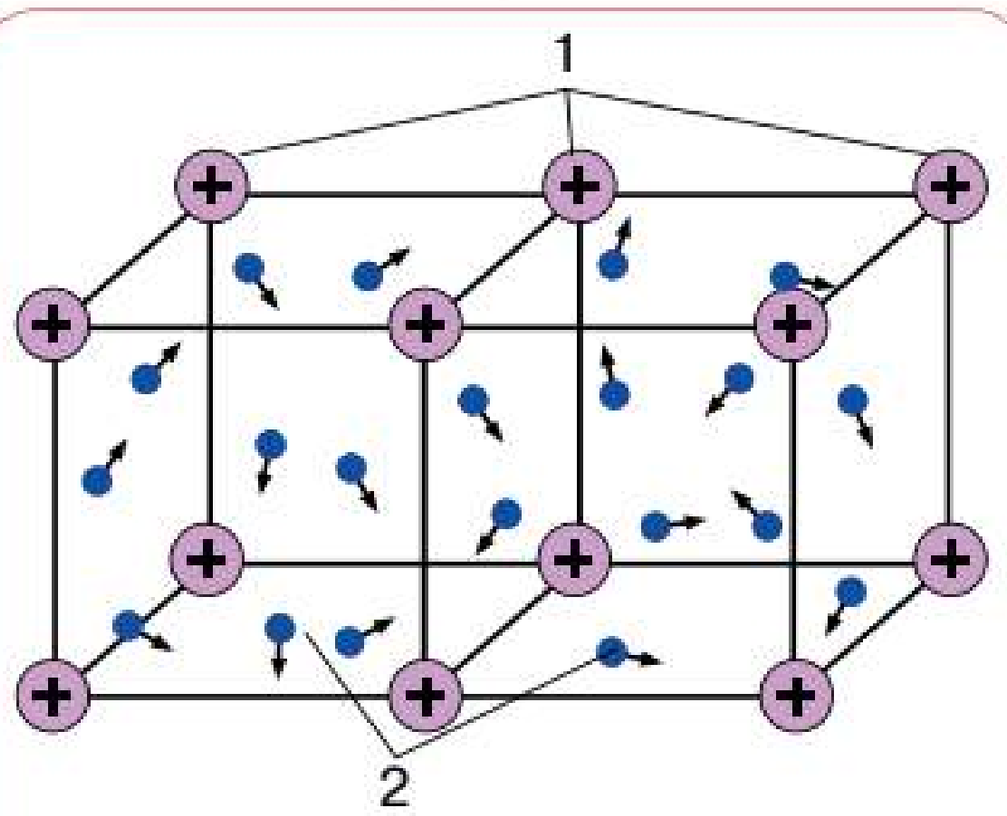
vse.ee/cnhy

За деяких умов електрони можуть «покинути атом» і приєднатися до іншого атома (мал. 1.4, а) або стати *вільними* (мал. 1.4, б). Атом, що втратив електрон, стає позитивно зарядженим і має назву *позитивний йон* (*cation*). Атом, що приєднав електрон, — *негативний йон* (*anion*).

Завдяки електричній взаємодії атоми і молекули у твердому стані можуть утворювати стійку конструкцію — *кристалічні ґрати* (*crystal lattice*). У металах, наприклад, ґрати утворено позитивними йонами, поміж якими вільно рухаються електрони (мал. 1.5). Така будова металів забезпечує їм ряд особливих властивостей, зокрема тепло- та електропровідність.



Мал. 1.4. Йони:
а — негативний; б — позитивний



Мал. 1.5. Кристалічні ґрати:
1 — позитивні йони;
2 — вільні електрони

Є *прості* речовини, які складаються з атомів одного виду. Наприклад, гази — кисень, азот, гелій; метали — золото, мідь, свинець, алюміній та інші. Атоми одних речовин можуть об'єднуватися з атомами інших, утворюючи *молекули* — структурні частинки *складних* речовин. Такими є, наприклад, вода, сіль, сода, цукор.

Для позначення атомів використовують спеціальні символи. Наприклад, He — символ атома Гелію, O — атома Оксигену, C — Карбону, H — Гідрогену, Na — Натрію, Cl — Хлору (мал. 1.6). Кожна молекула — це певна комбінація атомів: O_2 — молекула кисню, H_2O — води, NaCl — кухонної солі.



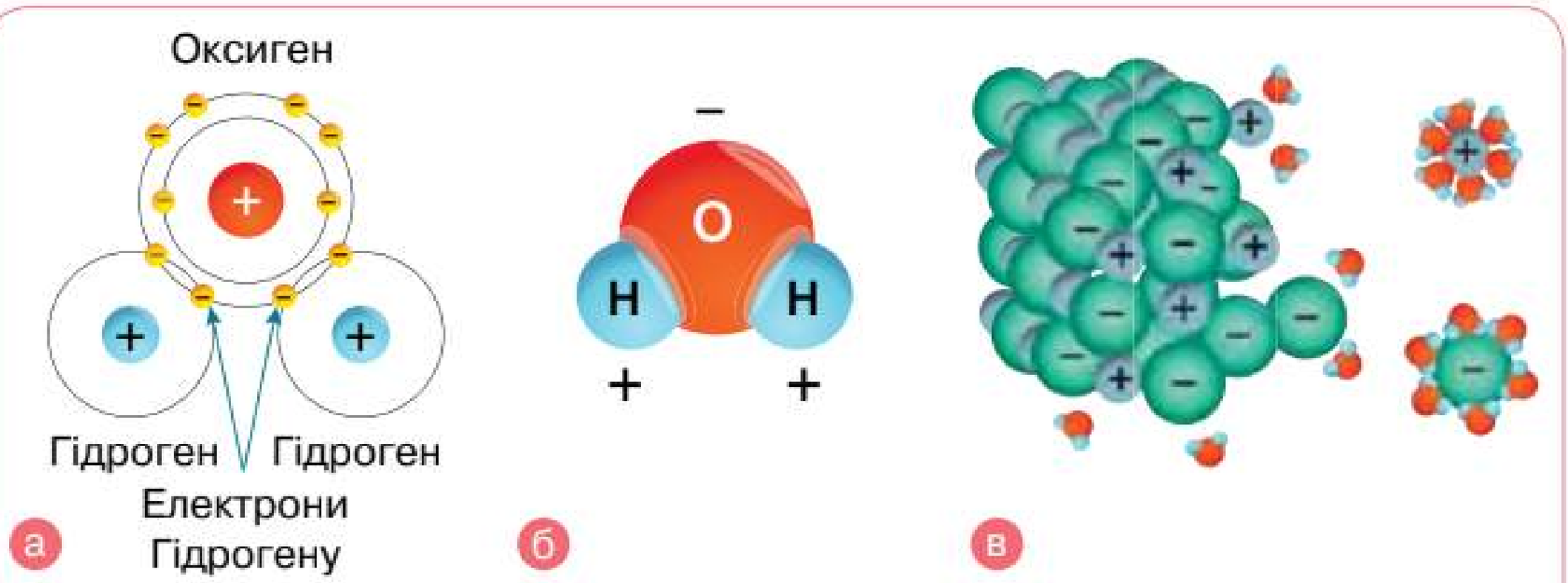
Мал. 1.6. Назви́ зображені речовини й атоми, із яких вони складаються

Молекула є найменшим носієм хімічних властивостей речовини. Якщо розкласти воду на кисень і водень, то речовини, що утворилися, вже зовсім не нагадують воду — це гази кисень і водень. Атоми, у свою чергу, є найменшими носіями властивостей тих елементів, які з них складаються. Молекули іноді складаються з десятків атомів, наприклад сахароза — молекула цукру (мал. 1.6, г), або навіть і сотень тисяч атомів, наприклад ДНК — молекула, що передає спадковий код живих організмів.

Із 118 видів атомів, що існують в природі, може бути утворено мільйони різноманітних молекул, і, відповідно, можна отримати мільйони різноманітних речовин.

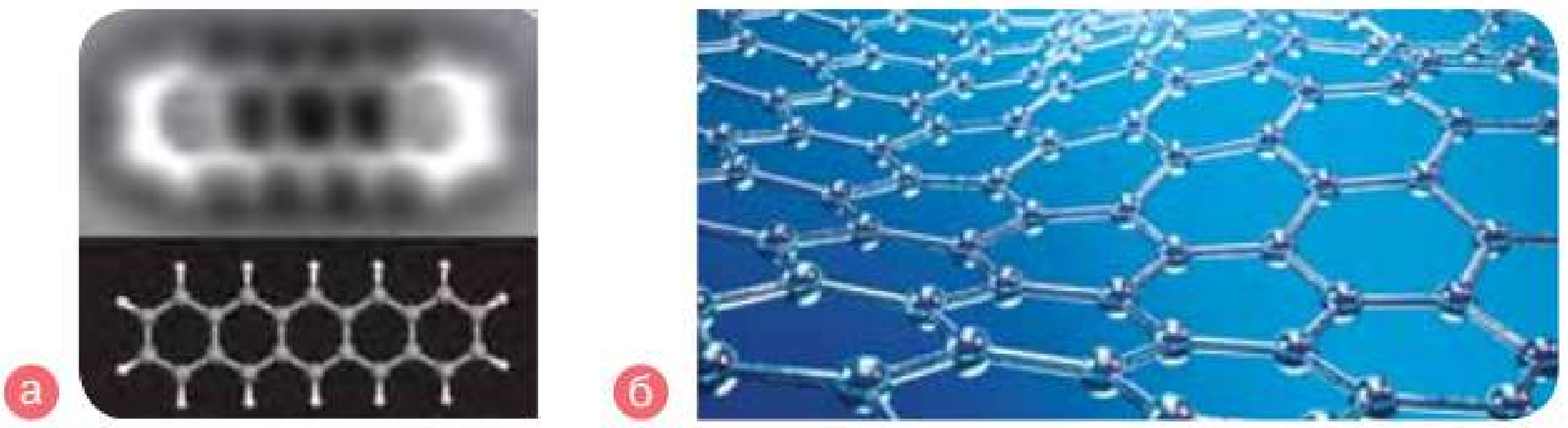
Існують атоми і молекули, які в цілому, будучи нейтральними, мають зміщений розподіл електричного заряду — з одного боку негативний, з іншого — позитивний. Їх називають *диполем* (*dipole*). Молекула води внаслідок несиметричної будови є дуже сильним диполем. Справа в тому, що атом Оксигену перетягує до себе електрони від Гідрогену і стає негативно зарядженим, а Гідроген, який втратив електрон, набуває позитивного заряду (мал. 1.7, а). Та сторона молекули води, в яку зміщені атоми Гідрогену, має сильний позитивний заряд, а протилежна сторона, де розміщений Оксиген, — негативний (мал. 1.7, б). Хоча

в цілому молекула води залишається електрично нейтральною. Внаслідок такої будови молекул води ця речовина має ряд унікальних властивостей. Наприклад, вода є добрим розчинником. Пригадай, як легко в ній розчиняються цукор і сіль (мал. 1.7, в).



Мал. 1.7. а — перерозподіл електричного заряду в молекулі води; б — диполь; в — механізм розчинення кухонної солі у воді

Схематично на малюнках атоми зображають у вигляді кульок, хоча насправді внутрішня будова речовини є іншою. Сучасні технології дають можливість дослідити будову атома, сфотографувати його (мал. 1.8, а) і навіть скласти з окремих атомів нові матеріали (мал. 1.8, б).



Мал. 1.8. а — світлина органічної молекули пентацена ($C_{22}H_{14}$), знизу — модель цієї молекули: сірі кульки — атоми Карбону, білі — Гідрогену; б — нанооб'єкт — графен

Квантова фізика уточнила уявлення вчених про атом. Розрахунки показали, що електрон в атомі Гідрогену за одну мільйонну долю секунди повинен зробити мільярд обертів навколо ядра, тобто в прийнятному для нас масштабі часу електрон мав би майже одночасно перебувати в усіх точках своєї траєкторії. Електрони атомних оболонок згідно з квантовою теорією будови речовини вже більше нагадують хвилі й утворюють так звану електронну хмару. Розмір найменшого, найлегшого і найпоширенішого у Всесвіті атома Гідрогену становить одну десятимільярд-

ну долю метра ($1 \cdot 10^{-10}$ м). Розмір ядра атома приблизно в 10 000 разів менший від розміру атома. Для порівняння: якби всі електрони в атомах розмістили безпосередньо поблизу ядра, то об'єм тіла дорослої людини масою 80 кг зменшився б до 10 мм^3 (кубик з ребром завдовжки ≈ 2 мм). Між ядром атома й електронними оболонками — вакуум, тобто пустота, але в ній діє електричне поле.

У 1981 р. було створено сканувальний тунельний мікроскоп і з'явилася можливість маніпулювати окремими атомами та отримувати матеріали з унікальними властивостями — *наноматеріали*. Префікс *нано-* (у перекладі з грецької «гном, карлик») означає «одна мільярдна». Відповідно об'єкти, у яких хоча б один із лінійних розмірів не перебільшує 100 нанометрів ($100 \cdot 10^{-9}$ м), називають *нанооб'єктами* (мал. 1.8, б). Такі нанооб'єкти є незамінними у багатьох сферах. Наприклад, для запису інформації, адже на невеликій площі можна розмістити дуже багато нанооб'єктів. Або у медицині, коли потрібно, щоб нанооб'єкт проник у будь-яку клітину організму. Наночастинки діоксиду титану можуть розкладати воду на водень і кисень під дією звичайного сонячного світла. Частинки гідрофобного нанопорошку, нанесені на поверхню взуття чи одягу, надають їм властивості не «боятися» забруднення та намокання.

Це лише короткий огляд про деякі частинки речовини. Ми ще повернемося до цього параграфа під час вивчення теплових та електричних процесів у речовині.

ДУМАЙ

1. Які науки, крім фізики, вивчають будову речовини?
2. Як розшифрувати абревіатуру МКТ? Які ще фізичні відкриття і дослідження присвячені будові речовини?
3. Чим відрізняється молекула від атома? Зобрази схематично молекули води, кисню і вуглекислого газу.
4. Як ти поясниш явище дифузії п'ятикласнику/п'ятикласниці?

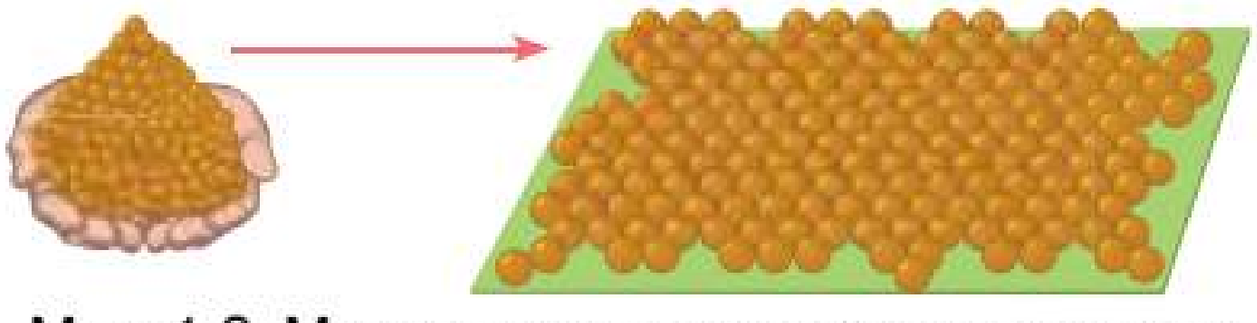
ДІЙ

РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

Скористайся е-додатком, щоб пригадати дії зі степенями (1.3).

Приблизно оцінити розміри молекул можна завдяки досліду, що вперше був проведений німецьким фізиком В. Рентгеном та його англійським колегою Д. Релеєм. Якщо краплину олії помістити на чисту воду, що має достатню площу поверхні, то олія одразу розпли-

веться, утворивши тонку плівку завтовшки в один шар молекул. Подібним чином розміщуються горошини на поверхні столу (мал. 1.9).



Мал. 1.9. Моделювання молекулярного шару

Найменшу товщину такої плівки можна прийняти за діаметр молекули олії. Знаючи об'єм краплини (V) і вимірявши площу плівки за максимального розливання олії (S), з відношення $d = \frac{V}{S}$ можна визначити розмір (діаметр) молекул олії. Результат одного з дослідів був таким: для краплини, що мала об'єм $V = 3{,}6 \cdot 10^{-5}$ см^3, площа поверхні плівки становила 90 см^2. Визнач діаметр молекули олії.

ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

Виконуй досліди з дотриманням правил безпеки життєдіяльності!

Розбризкай трохи парфумів в одному з кутків кімнати. Дочекайся появи запаху цієї речовини в іншому кутку кімнати (якщо працюєте вдвох, то можна стати на різних відстанях від пахучої речовини й порівняти час поширення запаху). Як можна прискорити процес дифузії в цьому досліді? Чи є дифузія основною причиною розповсюдження запаху в цьому випадку?

ОПРАЦЮЙ ІНФОРМАЦІЮ

- Розпочни створення лепбука «Речовина: знайома й таємнича».
- Добери цитати й ілюстрації на підтвердження того, що атоми й молекули описано в літературних творах, зображено на картинах, марках, відображено в скульптурах тощо.
- Дізнайся більше про значення дифузії у процесі дихання і травлення.

Переглянь в е-додатку симуляцію «Досліджуємо дифузію» (1.4).

ОЦІНИ СЕБЕ

Виконай в е-додатку завдання для самооцінювання (1.5).

§ 2. ДОСЛІДЖУЄМО АГРЕГАТНІ СТАНИ РЕЧОВИНИ



І знову те саме: тверді, рідкі, газуваті. Учили, вже знаємо.

А от цікаво, чи зможеш ти пояснити властивості агрегатних станів, виходячи із положень МКТ?



ДОСЛІДЖУЙ

Доведи або спростуй те, що тверді/рідкі/газуваті речовини: а) мають масу; б) займають і зберігають об'єм; в) мають форму й зберігають її. Використовуй обладнання, зображене на малюнку 2.1, або добери самостійно.



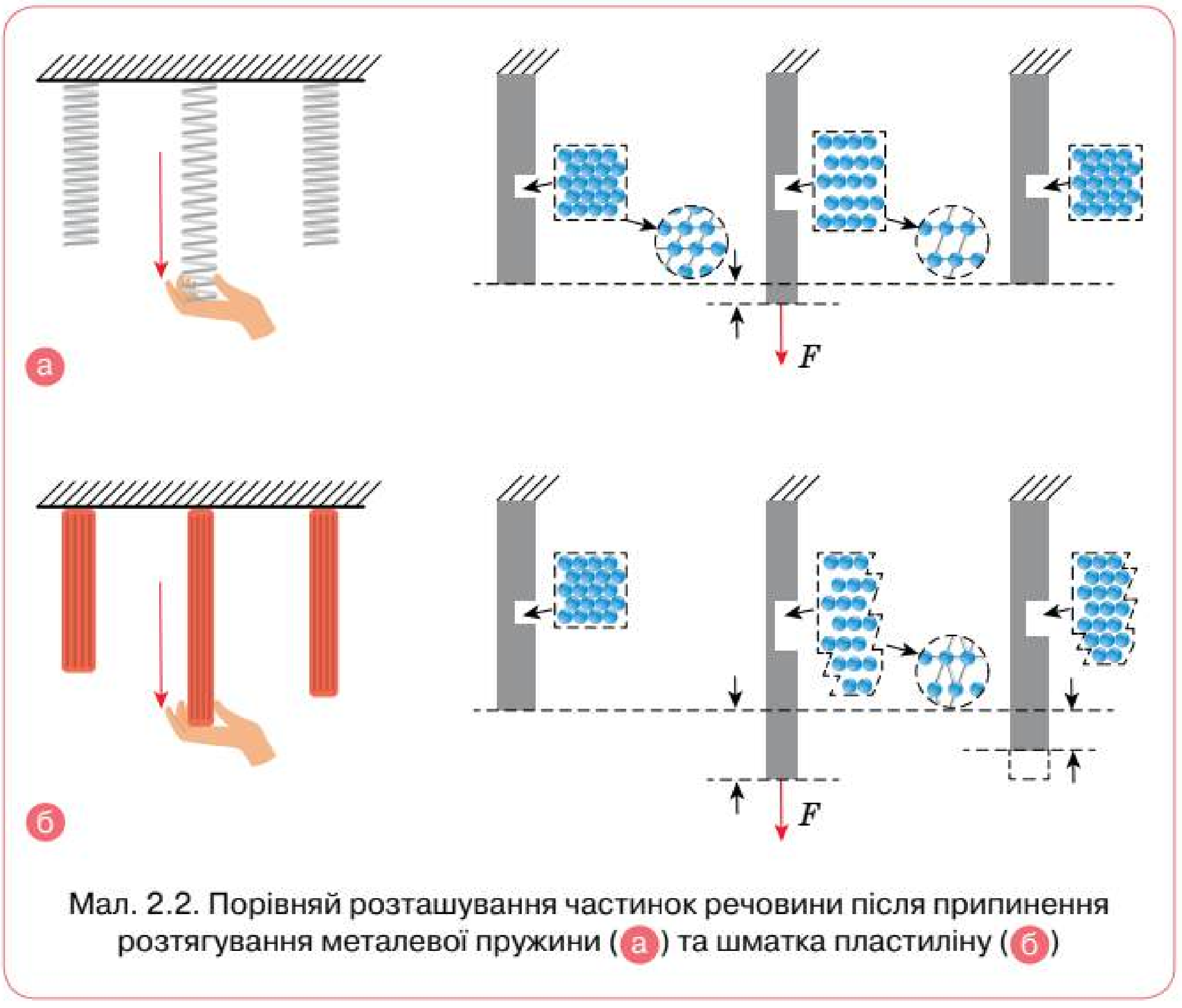
Мал. 2.1

ДІЗНАВАЙСЯ

Переконуємось, що частинки речовини рухаються і взаємодіють. Із проявом руху і взаємодії частинок речовини між собою ти вже ознайомився/ознайомилася на уроках фізики в 7 класі. Пригадаємо разом.

Прикладаючи силу й деформуючи тіло, ми маємо справу із силами притягання і відштовхування між частинками речовини (мал. 2.2). Якщо тіло стискувати, то відстань між молекулами зменшується, і вони починають відштовхуватися одна від одної, щоб знову зайняти попереднє положення до деформації. Якщо ж тіло розтягувати, то відстань між молекулами збільшується, і вони починають сильніше притягуватись одна до одної, щоб зайняти положення, яке вони займали до деформації.

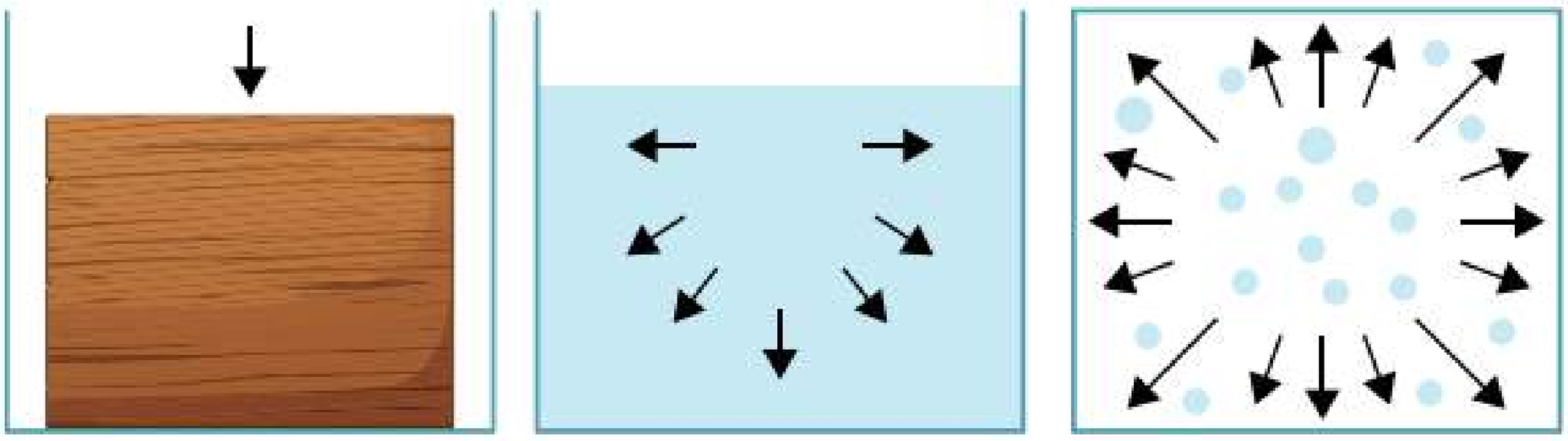
Оскільки у різних речовин ці сили можуть набувати різного значення, то й результат буде різним: є матеріали, які після припинення зовнішньої дії, що їх деформує, повністю відновлюють свою форму (їх називають пружними); ті, що не відновлюють форму, називають пластичними; а ті, які взагалі не протидіють прикладеній силі й руйнуються, — крихкими.



Мал. 2.2. Порівняй розташування частинок речовини після припинення розтягування металевої пружини (а) та шматка пластиліну (б)

Тиск газів обумовлений рухом і ударами частинок об стінки ємності, у якій він міститься. І закон Паскаля стверджує, що частинки рідини і газу можуть порівняно вільно рухатися в усіх напрямках, на відміну від твердих тіл. Тому у твердих тілах тиск передається лише

у напрямку дії сили, а в рідинах і газах — в усіх напрямках однаково (мал. 2.3).



Мал. 2.3. Передавання тиску залежить від руху і взаємодії частинок речовини у різних агрегатних станах

Можна навести ще безліч фактів на підтвердження того, що частинки речовини рухаються, притягуються і відштовхуються.



Процеси фарбування, склеювання, деформації твердих тіл тощо свідчать про існування сил притягання й відштовхування між молекулами.

Явище дифузії стосується руху частинок.





Тобі вже відомо, що від того, як розташовані, рухаються і взаємодіють частинки речовини, залежить її агрегатний стан — твердий, рідкий, газуватий. Розглянемо його з позицій молекулярно-кінетичної теорії будови речовини.

Припускаю, що ми зараз матимемо справу ще із поняттями кінетичної енергії руху та потенціальної енергії взаємодії частинок речовини.

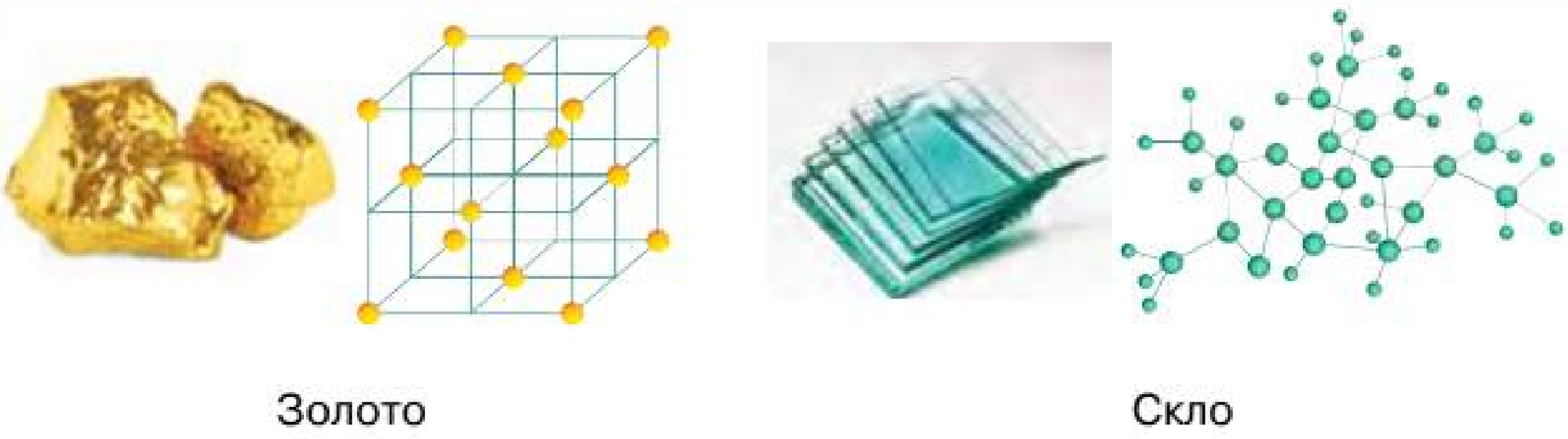


Відмінності у русі і взаємодії частинок речовини у різних агрегатних станах. *У твердому тілі* (*solid*) між структурними частинками (атомами або молекулами) діють значні сили притягання, й, відповідно, великою є потенціальна енергія взаємодії. Вільно переміщуватись (як у рідинах або газах) частинки твердих тіл не можуть. Вони можуть

лише хаотично коливатися відносно своїх положень. Середня кінетична енергія руху частинок твердих тіл є незначною.

Такі особливості розташування, руху і взаємодії частинок твердих тіл забезпечують їм певну форму й об'єм.

Тверді тіла можуть бути *кристалічними* або *аморфними* (мал. 2.4). Прикладами кристалічних тіл (*crystalline solids*) є кварц, золото, лід, гірський кришталь, кремній, галіт (кам'яна сіль) та багато інших. Для кристалічних твердих тіл характерне впорядковане розташування молекул, його називають *дальнім порядком*. Тверді тіла, які не мають дальнього порядку в розташуванні частинок, називають *аморфними* (*amorphous solids*) (наприклад, скло, смола, парафін, цукор).



Мал. 2.4

У *рідині* (*liquid*) потенціальна енергія взаємодії молекул також більша, ніж кінетична енергія їхнього руху. Однак молекули рідини достатньо рухливі, тому вони часто змінюють своє положення, рухаючись «стрибками». Молекули рідини перебувають здебільшого в щільному оточенні сусідніх молекул. Коли ж раптово поруч виникає розрідження, молекула проникає в нього. Таким чином вона потрапляє в «компанію» інших молекул і перебуває там, поки не з'явиться можливість для нового «стрибка». Рухаючись, молекули рідини в будь-який момент часу мають більш-менш упорядковане розташування, яке називають *ближнім порядком* (мал. 2.5, а). Однак цей порядок на великих відстанях не зберігається, і саме тому його нази-

вають ближнім. У рідкому стані речовина за незмінних зовнішніх умов зберігає об'єм, але не тримає форму. Це означає, що рідина може займати тільки частину об'єму посудини, але може вільно перетікати й проникати в усі її закутки (мал. 2.5, б).

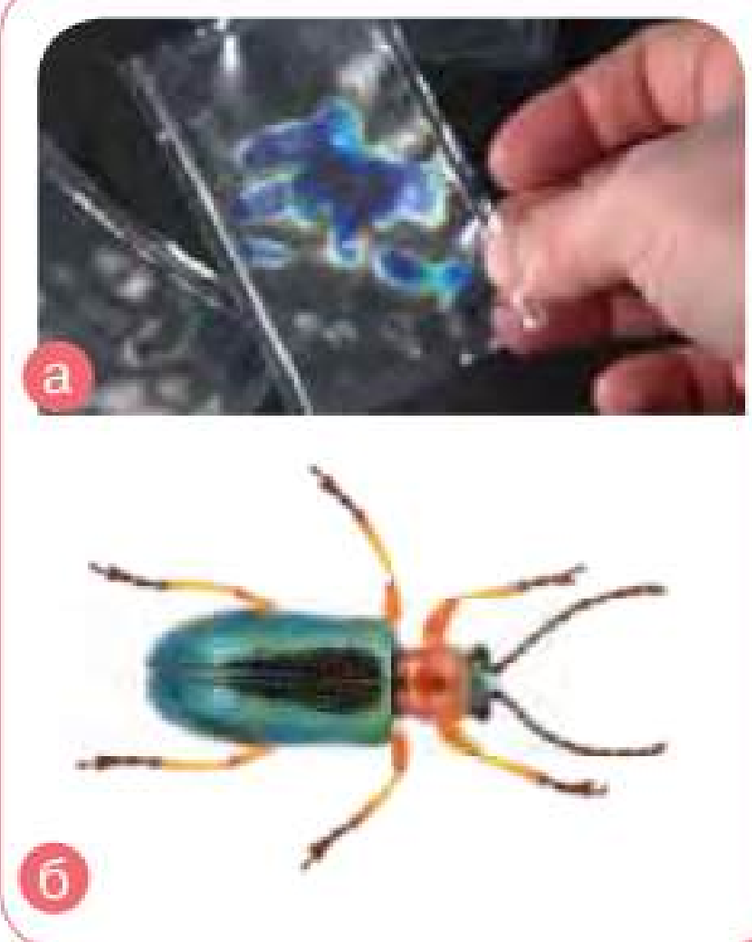


Мал. 2.5. Властивості рідин: а — ближній порядок; б — текучість

Існують такі речовини, їх називають *рідкі кристали* (*liquid crystals*), які мають одночасно властивості рідин і твердих тіл (мал. 2.6, а). Вони текучі, як рідини, а як тверді тіла мають упорядковане розташування молекул. Тому краплини рідких кристалів завжди строго визначеної форми. Найбільш характерною властивістю рідких кристалів є їхня здатність змінювати орієнтацію молекул під впливом електричних полів, що відкриває широкі можливості для застосування їх у рідкокристалічних дисплеях. Вони дуже чутливі до змін температури — змінюють своє забарвлення навіть за зміни температури на долі градуса. Цю властивість використовують у медичних пристроях. За допомогою рідких кристалів виявляють пари шкідливих хімічних сполук і небезпечне для здоров'я людини випромінювання.

Рідкі кристали є в організмі людини (в мозку, м'язах). Деякі комахи завдяки рідким кристалам мають унікальне забарвлення (мал. 2.6, б).

У *газах* (*gas*) окремі молекули слабо взаємодіють між собою й рухаються хаотично. Середня кінетична енергія молекул є більшою, ніж їхня потенціальна енергія. У газуватому стані молекули майже не зазнають взаємного притягання. Відстань між атомами й молекулами газів набагато більша за їхні розміри (приблизно в десятки, а то й сотні разів). Цим, зокрема, по-



Мал. 2.6

яснюється значна стисливість газів. Гази не зберігають ані форми, ані об'єму, тобто займають весь об'єм посудини, у якій вони містяться. Ці ознаки зумовлені тим, що молекули газу між короткочасними зіткненнями перебувають у вільному русі.

Здебільшого, у звичних для людини земних умовах, певний газ має однакову густину, температуру, тиск у будь-якій точці посудини, яку займає. Однак це не універсальний закон. Наприклад, повітря в полі тяжіння нашої планети має різну густину, тиск і температуру: ці величини зменшуються з віддаленням від поверхні Землі.

Речовина за певних умов може змінювати свій агрегатний стан. При цьому змінюється лише рух частинок речовини та взаємодія між ними, в той час як склад частинок залишається незмінним.

Виокремлюють ще один стан речовини — *плазму* (*plasma*). Плазмою називають різновид газу, який складається із «зруйнованих атомів»: йонів та окремих електронів. Плазма може утворитися за значного нагрівання газу.

За сучасними уявленнями більшу частину речовини (за масою близько 99,9 %) у Всесвіті складає плазма. Всі зорі складаються з плазми, і навіть простір навколо них заповнений плазмою, хоча й дуже розрідженою. У земних умовах плазму можна спостерігати в атмосферних явищах: блискавка, північне сяйво. Полум'я також є плазмою. Штучно створена плазма міститься у плазмових панелях моніторів.

Переглянь в е-додатку анімаційну модель руху та взаємодії частинок речовини у різних агрегатних станах (2.1).



ДУМАЙ

1. Що є свідченням того, що частинки речовини рухаються і взаємодіють?
2. Які особливості руху і взаємодії молекул у рідкому, твердому та газоподібному станах?
3. Чому розташування частинок у твердих (кристалічних) тілах називають дальнім порядком, а у рідин — ближнім?
4. У чому особливості будови аморфних твердих тіл та рідких кристалів?
5. Що є причиною зміни агрегатного стану речовини?
6. Що називають плазмою?

ДІЙ

РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

Певний газ перетворили на рідину внаслідок сильного охолодження. При цьому об'єм газу зменшився у 700 разів. Визнач, яку частину від об'єму газу складав об'єм його молекул.

ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

Візьми участь у груповій роботі

1 Об'єднайтеся в групи й змоделюйте рухи частинок у різних агрегатних станах речовини.
Перша група — продемонструйте безладний рух молекул у газі (вільно переміщайтеся).
Друга група — рухайте, тримаючись за руки, притягуючись і відштовхуючись. Для демонстрації плинності хтось має очолити рух у певному напрямку, інші — рухатися слідом.
Третя група — сформуйте колони по троє, покладіть руки на плече того/тієї, хто стоїть попереду й праворуч, і здійснюйте слабкі коливальні рухи на місці.

2 Спостерігайте за ростом кристалів. *Обладнання*: мікроскоп, насичений розчин кухонної солі. Нанеси невеличку краплю насиченого розчину кухонної солі на покривне скло. Спостерігайте через деякий час інтенсивне утворення кристалів та їх ріст. Доповніть висновок:
Ріст кристалів із розчинів заснований на ... атомів (молекул) розчиненої речовини з перенасиченого розчину до зростаючого кристала.

ОПРАЦЮЙ ІНФОРМАЦІЮ

- Дізнайся із додаткових джерел про незвичайні речовини: металеве скло, рідкі кристали, неньютонівську рідину.

Переглянь в е-додатку досліди, які демонструють «ефект пам'яті форми» (2.2). Дізнайся про нього більше. Яке його практичне значення?

ОЦІНИ СЕБЕ

Виконай в е-додатку завдання для самооцінювання (2.3).

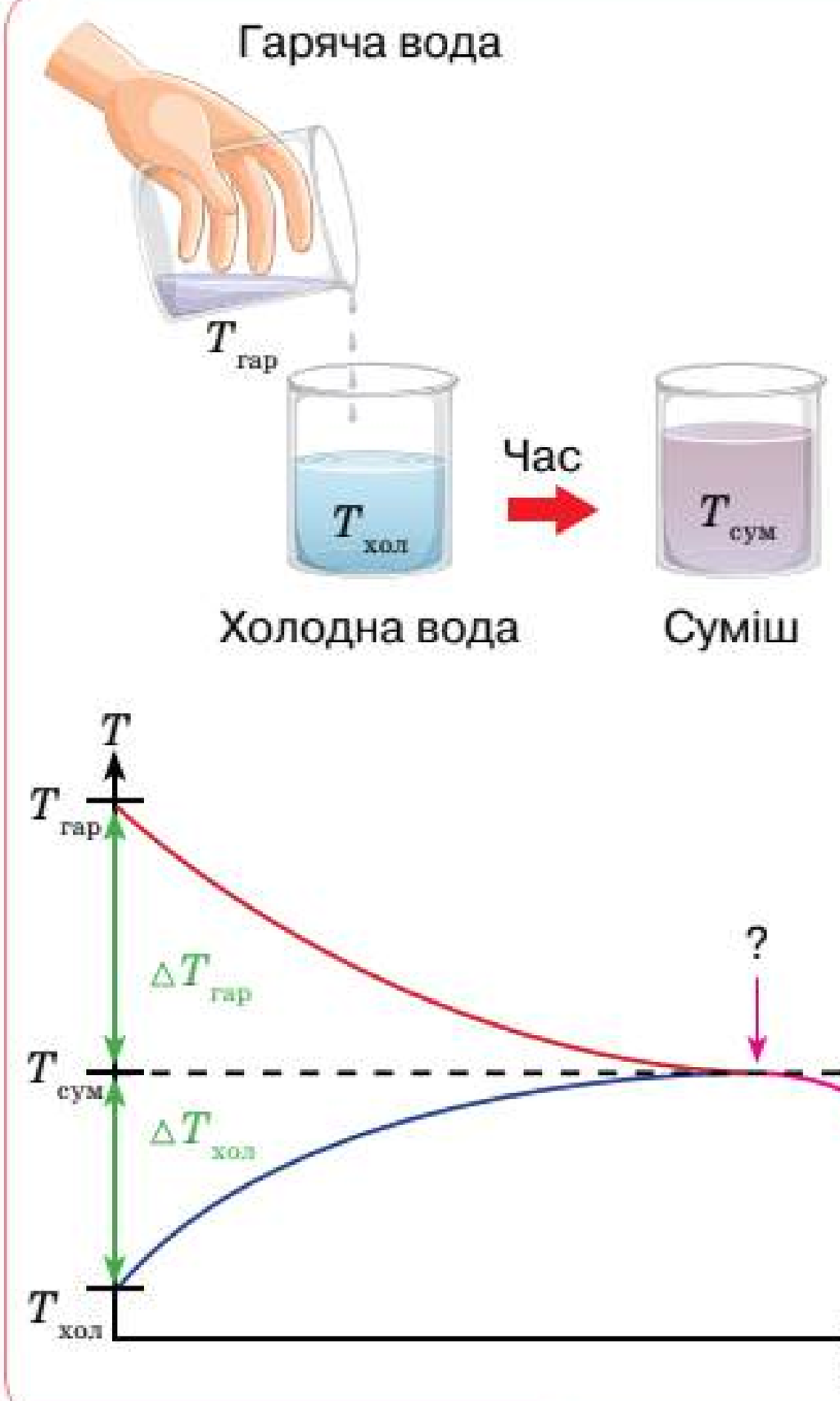
§ 3. ДОСЛІДЖУЄМО ТЕПЛОВИЙ РУХ ЧАСТИНОК РЕЧОВИНИ



Рух частинок речовини легко дослідити. Наприклад, під час дифузії. Але чому саме тепловий рух? Чим він відрізняється від механічного руху молекул?

ДОСЛІДЖУЙ

Виконай дослід або поясни за малюнками, що відбувається із температурою холодної і гарячої води при їх змішуванні (мал. 3.1). Чому на початку досліду графіки зміни температури більш вигнуті? Чому в кінці досліду графік температури знову вигинається? Спрогнозуй, як змінюється, на твою думку, рух молекул води у склянці із холодною водою.



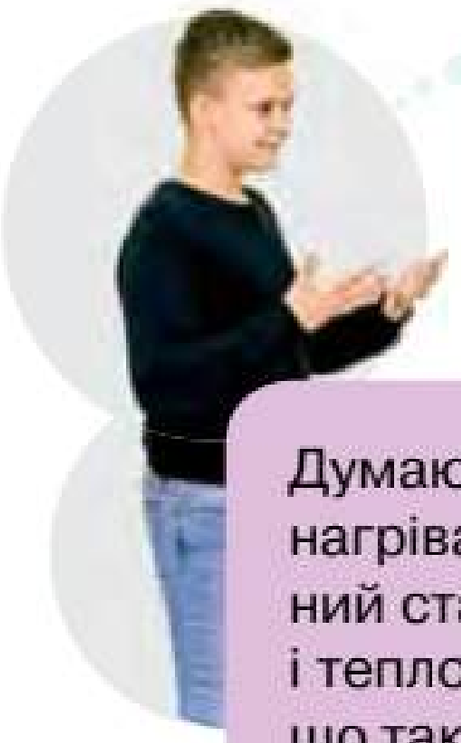
Мал. 3.1

ДІЗНАВАЙСЯ

Чому рух частинок речовини називають тепловим? Ми з'ясували, що частинки речовини рухаються і взаємодіють. Рух окремої частинки ми можемо описувати механічними величинами — швидкістю, кінетичною енергією. Але у речовині величезна кількість частинок, і щоб відрізнити механічний рух однієї частинки від руху їх великої кількості, застосовують термін *тепловий рух*.

Описуючи тепловий рух молекул, використовують середні значення: середню швидкість руху молекул, середню кінетичну енергію молекул, середню потенціальну енергію взаємодії молекул. Від значень цих величин (тобто від особливостей теплового руху та взаємодії молекул) залежить тепловий стан тіла, тому рух і назвали тепловим.

Тепловим рухом (*thermal movement*) називають безперервний, невпорядкований (хаотичний) рух молекул.



Ми у попередніх параграфах з'ясували, що від руху і взаємодії частинок залежить агрегатний стан речовини. А тепер мова йде про тепловий стан тіла. Це якісь різні стани?

Думаю, що так. У дослідах зі змішування води, нагрівання повітря та металевої кульки агрегатний стан не змінювався, а от температура цих тіл і тепловий стан — так. Давай з'ясовувати разом, що таке температура і тепловий стан тіла.



Що таке температура і тепловий стан тіла? Для людини важливо вміти правильно оцінювати ступінь нагрітості тіла. І як ти уже знаєш, щоб оцінити якесь явище або процес, потрібна фізична величина, що його характеризує. Для характеристики ступеня нагрітості тіла використовують поняття температури. Із цим поняттям ти вже знайомий/знайома. Спробуємо пояснити його з точки зору молекулярно-кінетичного вчення про будову речовин.

Тепловий рух молекул і температура тіла взаємопов'язані. Проте, як виявилося, за нормальних умов у частинок із порівняно малими масами (наприклад, атоми або молекули водню, гелію) швидкості теплового руху більші, ніж у частинок з більшою масою (наприклад, молекули кисню або води). Тому величина, з якою пов'язана температура, — це кінетична енергія руху молекул: що більшою є кінетична енергія руху мікрочастинок тіла, то вищою є його температура.

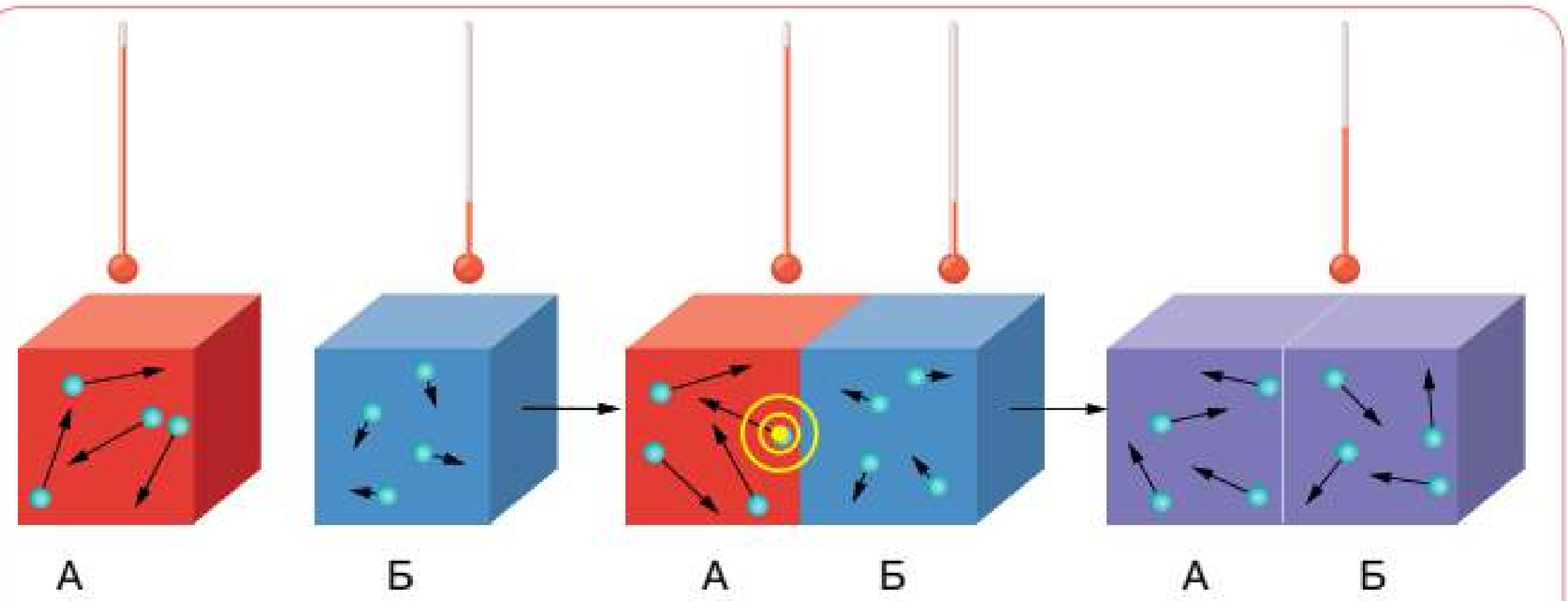
Переглянь в е-додатку анімаційну модель теплового руху частинок речовини (3.1).

vse.ee/cnia

Досліди показують, що у природі існує важлива закономірність теплових процесів. Якщо тіла мають різну температуру, то обмін теплотою між ними відбувається в чітко визначеному напрямку: від тіла з вищою температурою до тіла з нижчою температурою.

Будь-яке тіло або система тіл, що перебувають в обмеженому просторі, з часом самочинно переходять у стан, у якому всі частини тіла або всі тіла системи мають однакову температуру, тобто у стан теплової рівноваги (мал. 3.2).

Температура (*temperature*) — це фізична величина, що характеризує середню кінетичну енергію руху частинок речовини, з якої воно складається.



Мал. 3.2. Процес установлення теплової рівноваги

З'ясуємо, у чому причина такого явища. Молекули гарячого тіла мають більшу кінетичну енергію, тому рухаються швидше, ніж молекули холодного тіла. Під час контакту тіл (дотику твердих тіл або змішування рідин і газів) більш швидкі молекули гарячого тіла взаємодіють з повільнішими молекулами холодного тіла й віддають їм частину своєї кінетичної енергії. У результаті швидкі молекули починають рухатися повільніше, а повільні — швидше. Гаряче тіло поступово охолоджується, а холодне — нагрівається.

З точки зору молекулярно-кінетичного вчення, у стані теплової рівноваги в усіх тіл, що контактують між собою, середня кінетична енергія хаотичного руху частинок речовини, а отже і температура, є однаковими.

Як вимірюють температуру тіл? Вимірювання температури має деякі особливості: для температури не існує еталона, з яким би ми могли її порівнювати, як, наприклад, для маси чи довжини. Про зміну температури тіла судять за зміною інших фізичних параметрів тіл: об'єму, тиску, електричного опору тощо. Усі термометри складаються з термометричної речовини і температурної шкали. В основу дії термометричної речовини покладено

Теплова рівновага (*thermal equilibrium*) — це стан тіл, за якого між ними не відбувається передачі тепла, і вони мають однакову температуру.

певну її властивість, що залежить від температури. Наприклад, для рідинних термометрів (мал. 3.3, а) — це залежність об'єму рідини від температури, для електричних термометрів (мал. 3.3, б) — залежність сили струму від температури, для біметалевих (мал. 3.3, в) — залежність ступеня деформації металевої пластинки від температури, для інфрачервоних (мал. 3.3, г) — залежність від температури кількості інфрачервоної енергії, яку випромінює об'єкт.

Мал. 3.3

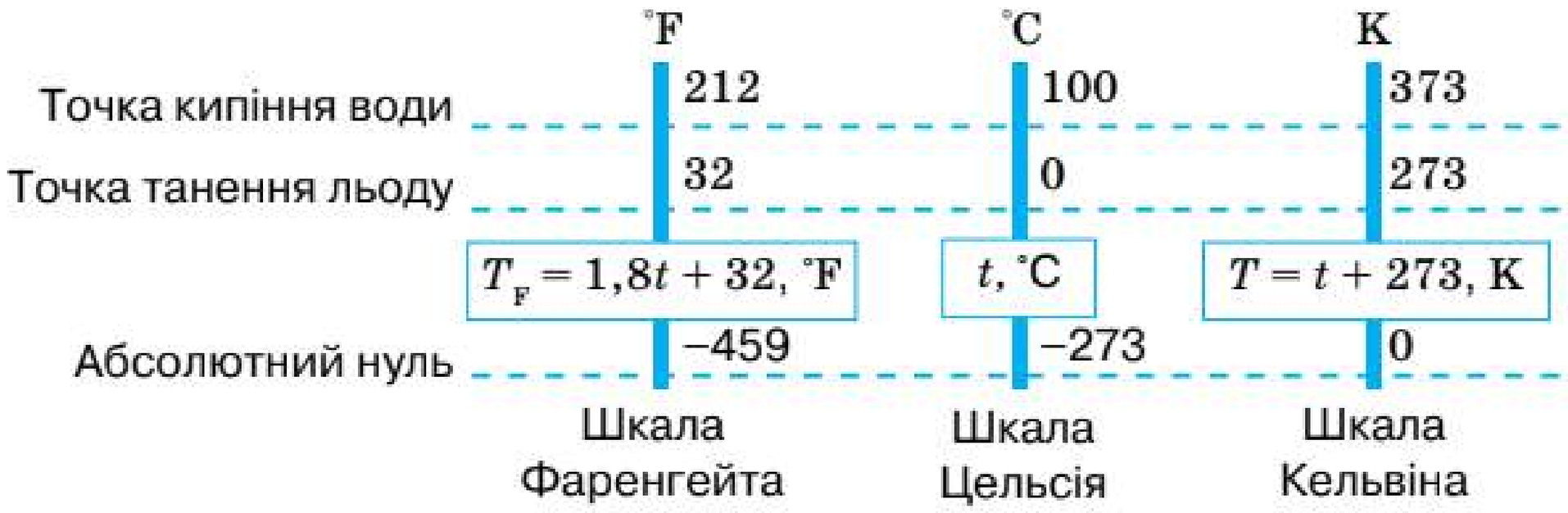


Найчастіше на практиці використовують залежність об'єму рідини (ртуті або спирту) від зміни температури. Такий спосіб вимірювання температури запропонував у 1742 р. шведський учений Андерс Цельсій. Для того щоб кількісно визначити температуру тіла, необхідно встановити одиницю температури та проградуювати температурну шкалу. Для градуювання рідинного термометра скляний балон, що переходить у капіляр і заповнений зафарбованим спиртом або ртуттю, опускають у лід, який тане за нормальних умов ($t = 0\ ^\circ\text{C}$, $p = 1{,}01 \cdot 10^5$ Па = 760 мм рт. ст.). Після того як між термометром і льодом наступає теплова рівновага, рух рідини в капілярі припиняється. Навпроти цього рівня на шкалі роблять позначку 0 °С. Після цього термометр переносять у киплячу дистильовану воду за нормального тиску. Після припинення підняття рідини в капілярі термометра роблять позначку 100 °С, потім відрізок між нанесеними поділками ділять на 100 рівних відрізків. Це так звана температурна шкала Цельсія. Температуру за цією шкалою позначають малою літерою t. Одиницю температури позначають символом °С (градус Цельсія).

Поряд зі шкалою Цельсія у фізиці застосовують абсолютну шкалу температур, запропоновану англійським ученим Вільямом Томсоном, лордом Кельвіном (мал. 3.4). Нуль цієї шкали є умовною точкою відліку й відповідає такому тепловому стану тіла, за якого припинився б тепловий рух атомів і молекул. Теоретично доведено, що це було б можливо за температури −273,15 °С. Цю температуру називають *абсолютним нулем*

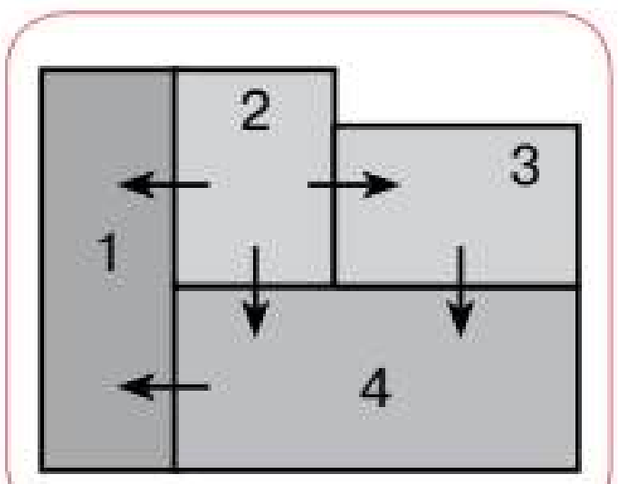
(*absolute zero*). Одиницею такої шкали є 1 К (кельвін). Міжнародною системою одиниць 1 К визнано основною одиницею температури. Зауважимо, що зміна температури, виміряна за шкалою Цельсія і шкалою Кельвіна, є однаковою, бо в них однакова ціна поділки. Наприклад, кімнатна температура $t = 20\ ^\circ\text{C}$. За абсолютною шкалою температур це значення відповідає 293,15 К. Переведення температури з однієї шкали в іншу здійснюється за формулою: $T = t + 273{,}15$. Якщо температура в кімнаті підвищилась на $5\ ^\circ\text{C}$ і становить $25\ ^\circ\text{C}$, то за абсолютною шкалою температур це значення відповідатиме 298,15 К, тобто збільшилось на 5 К. У побуті ми, як правило, користуємось температурною шкалою Цельсія, оскільки вона зручніша для вимірювання температури в межах значень, що є звичними для життєдіяльності людини (погодні умови, температура людського тіла тощо). У фізичних дослідженнях частіше користуються шкалою Кельвіна. Існують й інші температурні шкали, наприклад, шкала Фаренгейта. За шкалою Фаренгейта температура танення льоду становить $32\ ^\circ\text{F}$, а її температура кипіння — $212\ ^\circ\text{F}$. Отже, різниця між цими двома температурами становить $180\ ^\circ\text{F}$, а за шкалою Цельсія ця сама різниця складає $100\ ^\circ\text{C}$. З цього можна зробити висновок, що $1\ ^\circ\text{F} = \frac{5}{9}\ ^\circ\text{C}$.

Мал. 3.4



ДУМАЙ

1. Чому хаотичний рух молекул називають тепловим?
2. Що відрізняє тепловий рух від механічного?
3. На малюнку 3.5 показано напрям обміну теплотою між тілами. Температура якого тіла найбільша? Найнижча?



Мал. 3.5

4 Доведи або спростуй твердження: якщо дві системи одночасно знаходяться в тепловій рівновазі з третьою системою, вони перебувають у тепловій рівновазі одна з одною. Схематично проілюструй твердження.

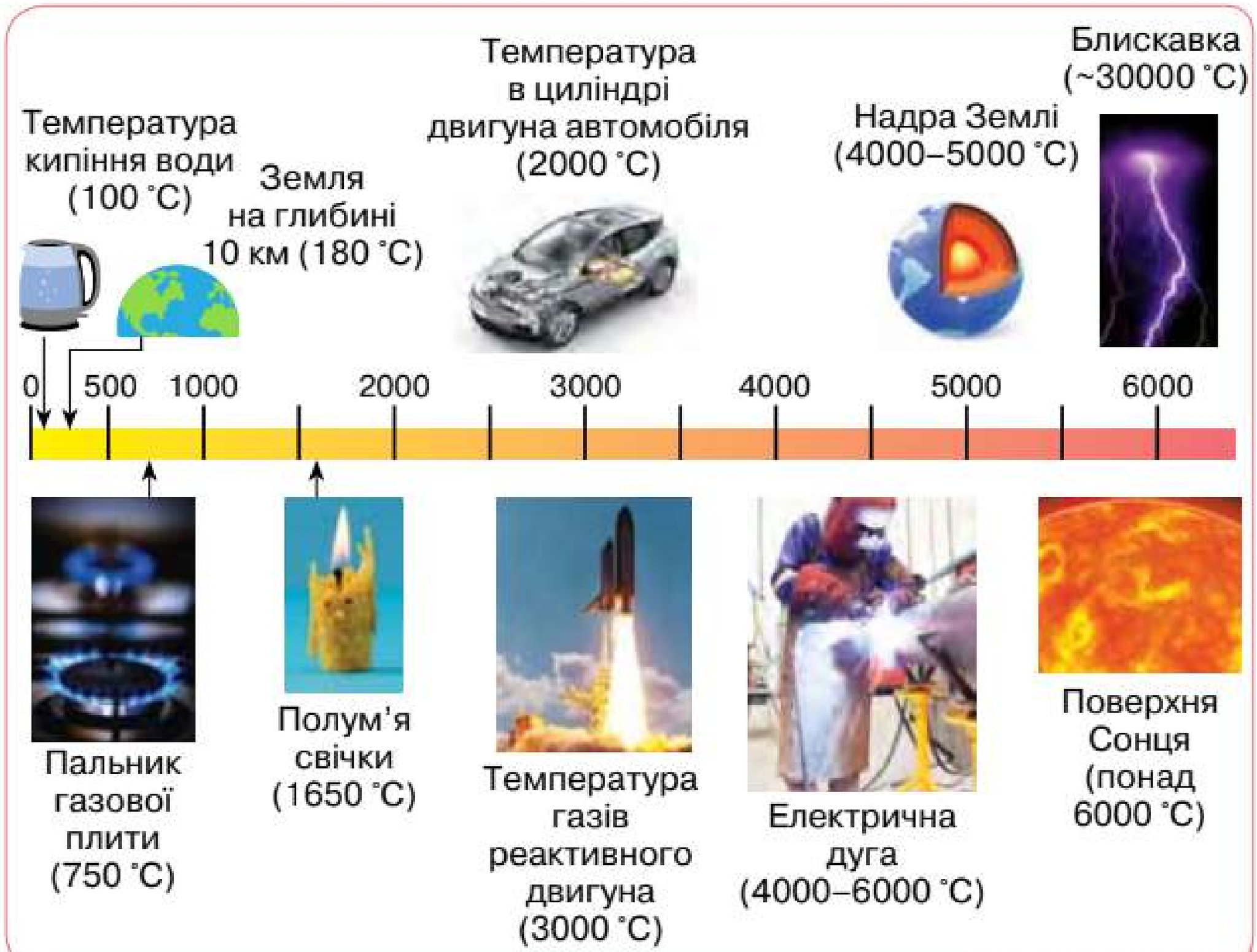
5 Дано три однакові мідні куби, температура яких дорівнює відповідно 200 °С, 0 °С, 0 °С. Запропонуй спосіб, як за допомогою лише теплообміну між ними охолодити перший куб до 50 °С, а інші нагріти до 75 °С. Теплові втрати відсутні.

6 За якої температури і метал, і дерево здаватимуться на дотик однаково нагрітими?

7 Одна молекула кисню у повітрі рухається в заданий момент зі швидкістю 900 м/с, а інша — зі швидкістю 1200 м/с. Чи правильним буде твердження, що температура другої молекули вища?

8 Відомо, що чим більша швидкість руху молекул тіла, тим вища його температура. Чому ж не нагрівається куля під час пострілу в тирі з пневматичної рушниці, хоча всі її молекули рухаються до мішені з великою швидкістю?

9 Чи є обмеження для максимальної і мінімальної температури речовини (мал. 3.6)?



Мал. 3.6

ДІЙ

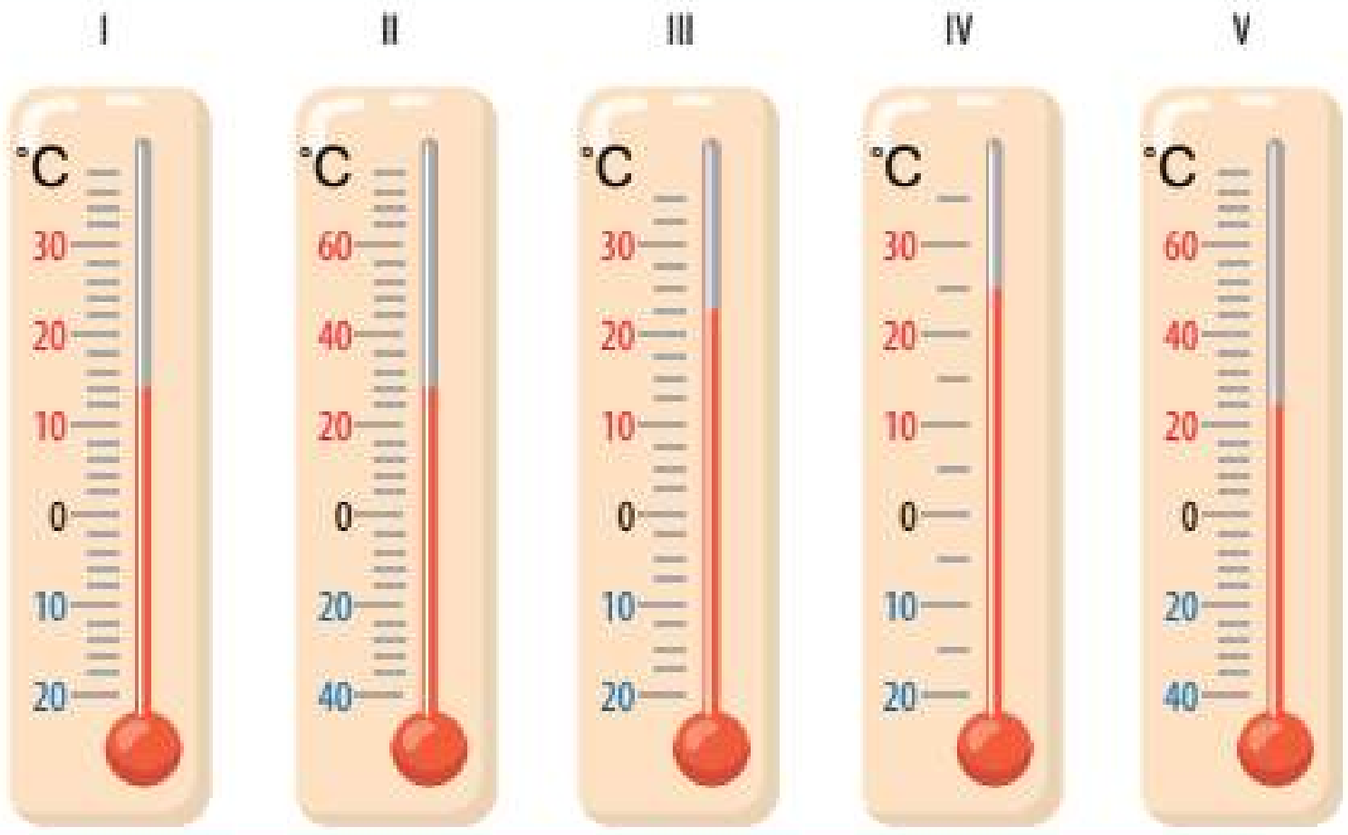
РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

1 Воду нагріли від 20 °С до 48 °С. На скільки змінилась температура води в процесі нагрівання? Дай відповідь у градусах Цельсія і в Кельвінах.

2 Накресли в зошиті і заповни таблицю, указавши відповідне значення температури в одиницях °С, К та °F. Дізнайся, що означає вираз «Fahrenheit 451».

За Цельсієм	0 °С			–10 °С
За Фаренгейтом		451 °F		
За Кельвіном			293 К	

3 Визнач ціну поділки, межі та покази термометрів (мал. 3.7).



Мал. 3.7

ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

Виконуй досліди з дотриманням правил безпеки життєдіяльності!

1 *Обладнання*: три посудини — з гарячою водою, холодною водою і водою кімнатної температури. Опусти спочатку праву руку у посудину з холодною водою, а ліву — з гарячою. Опусти згодом обидві руки у посудину із кімнатною температурою. Укажи, якою відчуватиметься вода кожною рукою. Поясни результати досліду на основі молекулярно-кінетичного учення будови речовини.

2 Виміряй температуру тіл. *Обладнання*: термометр, склянки із холодною і теплою водою.

Визнач ціну поділки термометра і межі вимірювання температури. Накресли у зошиті і заповни таблицю.

Найменування термометра	Нижня межа вимірювання	Верхня межа вимірювання	Ціна поділки

Виміряй температуру і запиши її значення у таблицю в одиницях °С та К.

Середовище	Показники термометра, °С	Показники термометра, К
Холодна вода		
Гаряча вода		
Суміш		
Повітря в класі		

3 Скористайся додатковими джерелами та сконструюй два термометри. Проведи вимірювання температури, опиши свої дії та поясни отримані результати. Порівняй дію термометрів.

ОПРАЦЮЙ ІНФОРМАЦІЮ

Візьми участь у груповій роботі

Об'єднайтесь у п'ять груп. Скористайтеся додатковими джерелами інформації та виконайте завдання під номером своєї групи.

Упорядкуйте шкали температур: 1) живих істот; 2) космічних об'єктів; 3) географічних об'єктів; 4) природних явищ; 5) технічних пристроїв.

Підготуйте повідомлення про: 1) пристосування організмів до різних температур; принцип дії термометрів різних конструкцій: 2) рідинний, 3) електричний, 4) інфрачервоний, 5) біметалевий.

Підготуйте повідомлення про: 1) Андерса Цельсія; 2) Даніеля Фаренгейта; 3) Вільяма Кельвіна; 4) Людвіга Больцмана; 5) Краковську Світлану Володимирівну.

Переглянь в е-додатку симуляції «Теплова рівновага» (3.2).

ОЦІНИ СЕБЕ

Виконай у е-додатку завдання для самооцінювання (3.3).

§ 4. ДОСЛІДЖУЄМО ТЕПЛОВЕ РОЗШИРЕННЯ ТІЛ

Вероніко, чи звернула ти увагу на те, що на уроках хімії для нагрівання рідини використовують дуже тонкостінні колби?

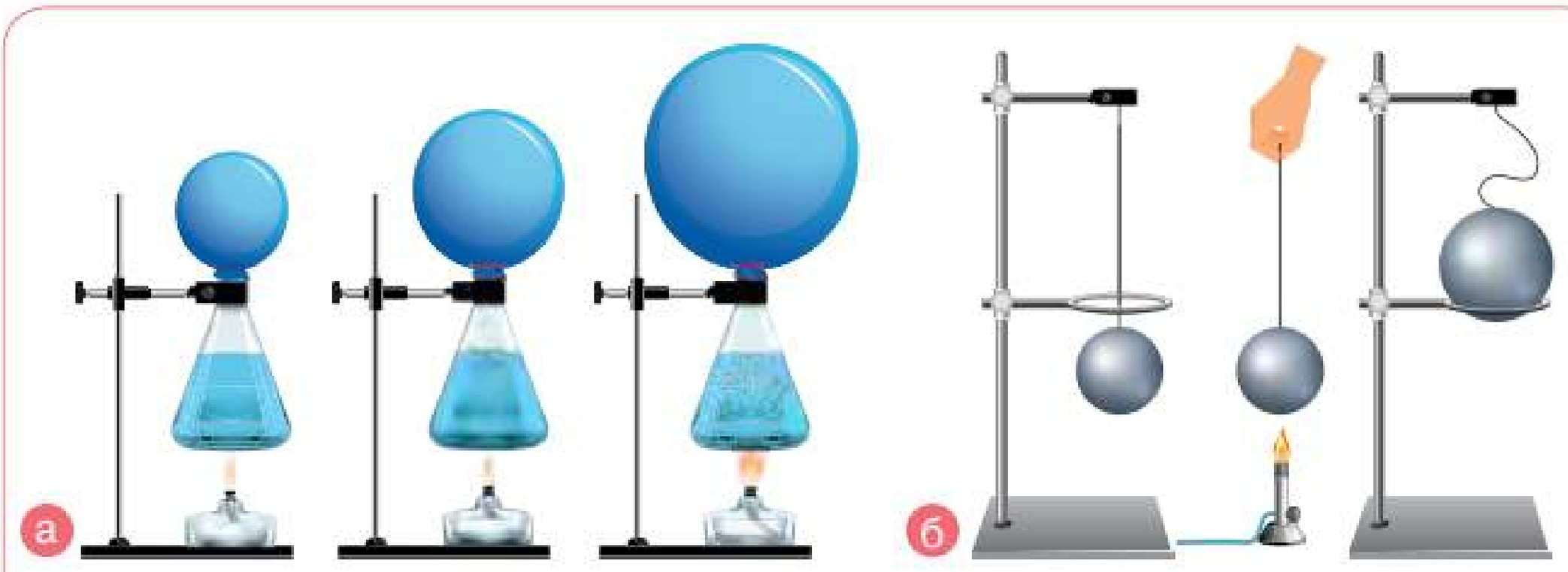
Так. Краще б вони були товстостінні. Мені здається, що так надійніше. Чи я помиляюсь?



ДОСЛІДЖУЙ

Виконуй досліди з дотриманням правил безпеки життєдіяльності!

Виконай досліди або поясни за малюнками, що відбувається із повітряною (мал. 4.1, а) та металевою (мал. 4.1, б) кульками під час їх нагрівання.



Мал. 4.1. Як змінюється об'єм кульок?

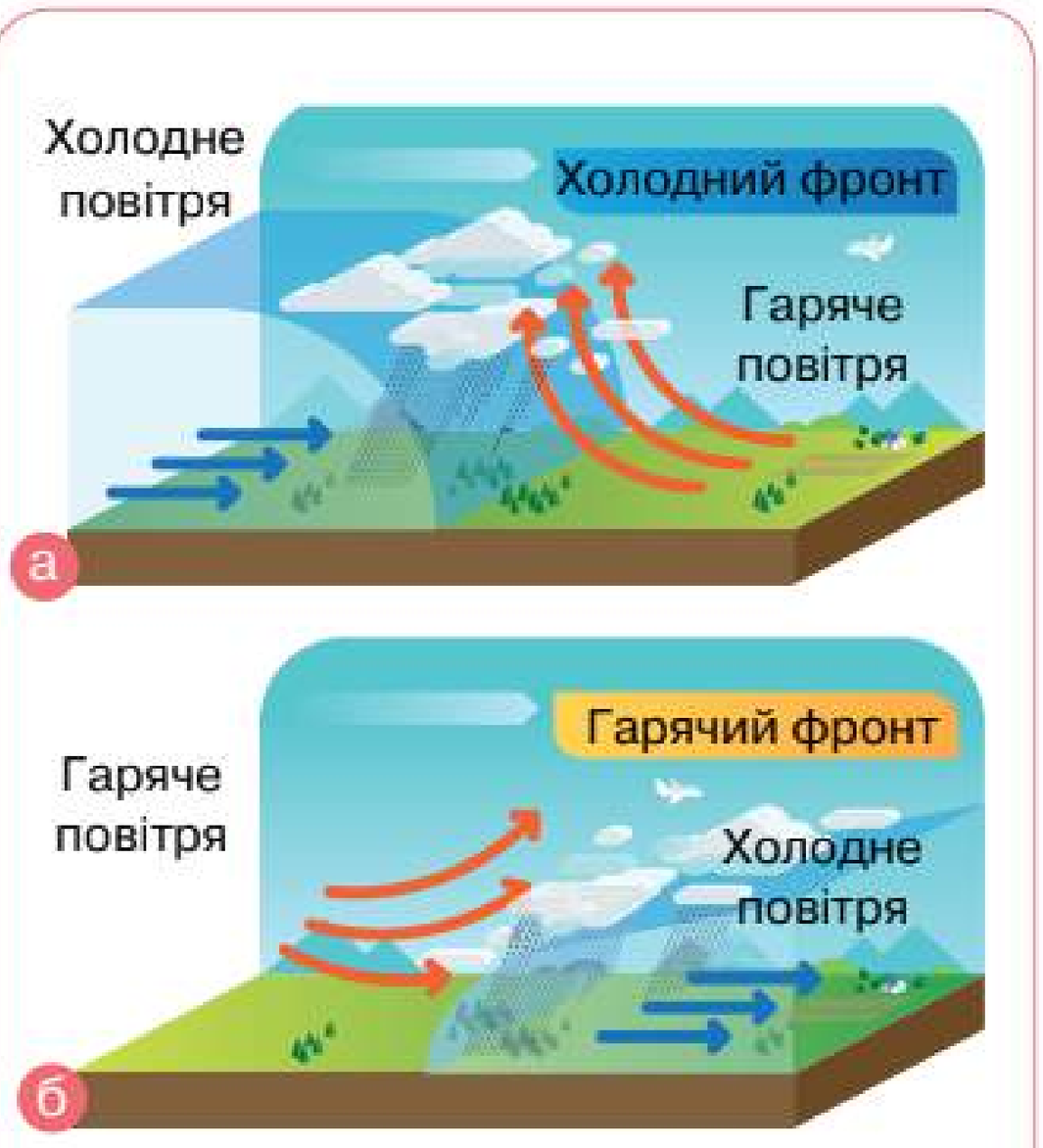
Переглянь в е-додатку анімаційну модель теплового розширення тіл (4.1).



ДІЗНАВАЙСЯ

Що відбувається з речовиною за її нагрівання? Більшість речовин, нагріваючись, розширюються. Найбільшого розширення під час нагрівання зазнають гази. Властивість газів багаторазово збільшувати свій об'єм унаслідок нагрівання широко використовується у повсякденному житті (наприклад, політ на повітряній кулі, робота двигунів внутріш-

нього згорання). Утворення вітру також є наслідком розширення повітря. Оскільки атмосферне повітря прогрівається нерівномірно, то є області, де розширення відбувається інтенсивніше, що й зумовлює переміщення повітряних мас — вітер, атмосферний фронт (мал. 4.2).



Мал. 4.2. Утворення холодного а і гарячого б атмосферного фронту

Теплове розширення характерне і для рідин та твердих тіл. Так, на залежності об'єму спирту від температури ґрунтується дія спиртових термометрів. Рідини завдяки нагріванню розширюються значно менше, аніж гази, але значно більше, ніж тверді тіла. Відмінність теплового розширення твердих тіл і рідин необхідно враховувати під час конструювання термометрів, адже під час нагрівання розширюється не тільки рідина (ртуть або спирт), а й дуже тоненька скляна трубочка, у якій вона міститься.



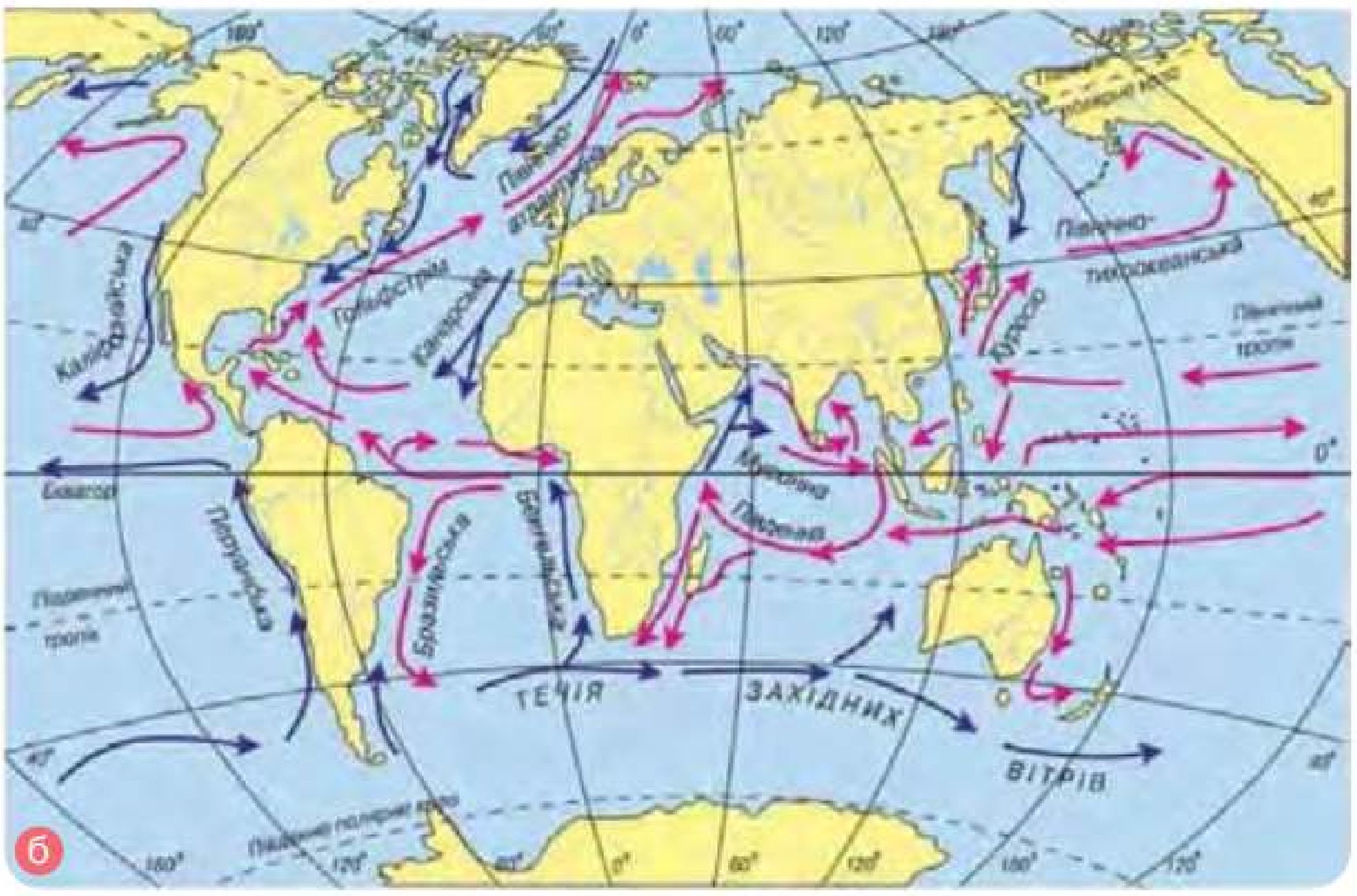
Здається, я можу пояснити, чому хімічний посуд, у якому кип'ятять воду, теж тонкостінний.

Якби стінки скляної колби були досить товсті, то вони прогрівались би не одразу по всій товщині. Спочатку прогрівається внутрішня частина стінки, внаслідок чого вона розширюється, а зовнішня частина, що ще не встигла прогрітися, «протидіє» цьому — скло тріскається. Саме тому хімічні колби тонкостінні.

Найпоширенішою рідиною є вода, яка має багато властивостей, що виділяє її з-поміж інших рідин. Зокрема, для води характерне не притаманне іншим рідинам розширення під час охолодження. Охолоджуючись, вода спочатку (як і всі рідини) стискується, досягаючи максимальної густини за температури +4 °С (точніше, за +3,98 °С), а потім починає розширюватись, хоча її температура продовжує знижуватися (мал. 4.3, а). Ця властивість зумовлена будовою молекули води (при-

гадуєш, взаємне розташування двох атомів Гідрогену й атому Оксигену утворює диполь, с. 15). Нерівномірне прогрівання (а отже, і розширення) води в морях і океанах спричинює утворення течій, які суттєво впливають на клімат відповідної місцевості (мал. 4.3, б).

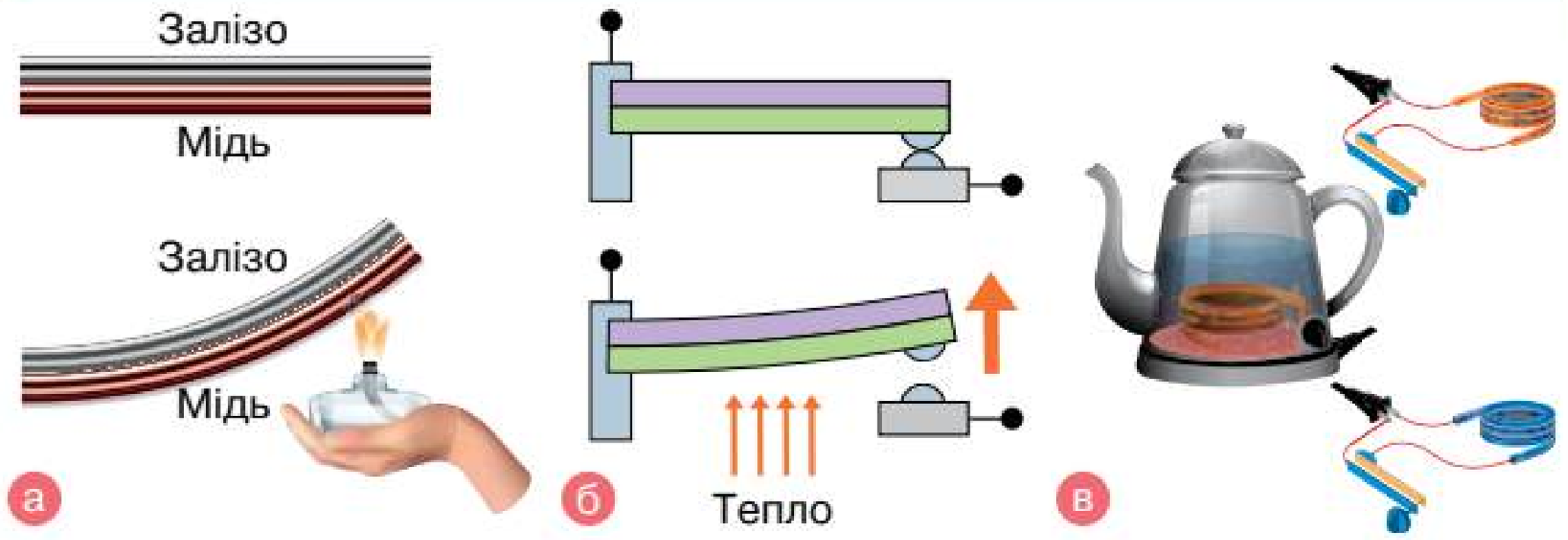




Мал. 4.3. а — розширення води при замерзанні;
б — теплі і холодні течії

Температура повітря в наших широтах протягом року може змінюватися від −30 до +30 °С. Такі зміни температури спричинюють значні видовження й стискання різних конструкцій. Щоб уникнути руйнування, споруди, мости, трубопроводи будують з окремих секцій, з'єднуючи їх так, щоб вони могли щільно притискатись у спеку й достатньо розходитись у холодну пору року.

Якщо з'єднати дві пластинки з різних металів (наприклад, заліза та міді), то в разі нагрівання вони вигинаються по-різному (мал. 4.4, а), що має корисну дію, наприклад для вмикання чи вимикання (мал. 4.4, б) електронагрівального приладу, наприклад електричного чайника (мал. 4.4, в).



Мал. 4.4. Використання біметалевих пластин

У природі розширення твердих тіл можна побачити на прикладі прогрівання гірських порід. Оскільки ступінь розширення залежить як від температури, так і від виду гірської породи, то розширення і стискання відбуваються нерівномірно. Це призводить до руйнування гір й утворення тріщин.

Як виміряти лінійне видовження тіла внаслідок його нагрівання? Нехай за початкової температури t_0 тіло має довжину l_0, внаслідок нагрівання до температури t розмір тіла збільшується до l. Тобто зі зміною температури на $\Delta t = t - t_0$ довжина тіла змінюється на $\Delta l = l - l_0$. У результаті дослідів було доведено, що відношення зміни довжини тіла Δl до його початкової довжини l_0 прямо пропорційне зміні температури Δt: $\frac{\Delta l}{l_0} = \alpha \Delta t$, де α — коефіцієнт лінійного розширення, який показує, на скільки змінюється довжина тіла внаслідок зміни його температури на 1 °С, за умови, що початкова довжина тіла становила 1 м.

Коефіцієнт лінійного розширення тіла залежить від речовини, з якої його виготовлено. Наприклад, коефіцієнт лінійного розширення сталі становить $0{,}000012 \frac{1}{°C}$. Це означає, що нагрівання стального стрижня завдовжки 1 м на 1 °С спричинить його видовження на 0,000012 м.

Тобто внаслідок такого нагрівання довжина стрижня стане 1,000012 м. На перший погляд здається, що таке незначне видовження особливо ні на що не впливає. Однак якщо інженери та будівельники не врахують

теплове розширення, то будівлі, мости, лінії електропередач, колії залізниці зазнають руйнування.

ДУМАЙ

1 Що спричинює збільшення об'єму тіл під час нагрівання?

2 Від чого, окрім температури, залежить зміна розмірів тіл під час їхнього нагрівання або охолодження?

3 Укажи, як у досліді (мал. 4.1, б) унаслідок нагрівання змінилися: об'єм кулі; маса кулі; густина кулі; середня швидкість руху атомів металу.

4 Обери всі правильні твердження.
Коли тіло охолоджується, то зменшується/зменшуються...

а) швидкість руху його частинок
б) відстань між його частинками
в) кількість частинок тіла
г) розміри частинок тіла

5 Чому стоматологи не радять їсти дуже гарячу їжу?

6 Як можна записати формулу $\frac{\Delta l}{l_0} = \alpha \Delta t$, враховуючи, що $\Delta t = t - t_0$, $\Delta l = l - l_0$?

ДІЙ

РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

1 За допомогою точних вимірювань зафіксували значення об'єму, який займає 1 кг води під час нагрівання від 0 до 8 °С. Як змінюється об'єм від 0 до 4 °С? Від 4 до 8 °С? Чому говорять про особливості теплового розширення води?

Температура, °С	Об'єм, см³
0	1000,12
1	1000,07
2	1000,03
3	1000,01
4	1000,00
5	1000,01
6	1000,03
7	1000,07
8	1000,11

2 За температури 0 °С довжина алюмінієвого дроту становила 200 м. Визнач довжину дроту за температури: а) 40 °С; б) −30 °С. Коефіцієнт лінійного розширення алюмінію $\alpha = 23 \cdot 10^{-6} \frac{1}{°C}$.

Виконай в е-додатку відеозавдання (4.2.1, 4.2.2, 4.2.3).

ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

Виконуй досліди з дотриманням правил безпеки життєдіяльності!

1 Поклади порожню пластмасову півлітрову пляшку без кришки у холодильник (можна в морозильник) на 2–3 год. Налий у прозору склянку воду, підігріту до 40–50 °С. Дістань з морозильника порожню пляшку і постав її горлом у склянку з водою. Спостерігай, що відбувається. Поясни.

2 Із вказаного переліку вибери прилади, які тобі знадобляться для визначення коефіцієнта лінійного розширення металевого стрижня (терези; лінійка; ареометр; мікрометр; термометр; барометр). Опиши твій спосіб вимірювання.

ОПРАЦЮЙ ІНФОРМАЦІЮ

Роздивись світлини (мал. 4.5). Підготуй інформацію про наведені приклади теплового розширення.



Мал. 4.5

Переглянь в е-додатку відео (4.3) застосування теплового розширення в іграшках-антистресах.

ОЦІНИ СЕБЕ

Виконай в е-додатку завдання для самооцінювання (4.4).

§ 5. ДОСЛІДЖУЄМО ВНУТРІШНЮ ЕНЕРГІЮ РЕЧОВИНИ

Оскільки ми вже говорили про середню кінетичну енергію руху частинок речовини та потенціальну енергію їх взаємодії, то саме ці енергії і утворюють внутрішню енергію речовини.

Думаю, ти маєш рацію. А от цікаво, якими способами можна змінювати, вимірювати, передавати й використовувати внутрішню енергію?



ДОСЛІДЖУЙ

Виконуй досліди з дотриманням правил безпеки життєдіяльності!

1 Налий у склянку гарячу (50–60 °С) воду. Через 1–2 хвилини охопи склянку руками. Що ти відчуваєш? Через 5 хвилин потри швидко руку об руку протягом 20 секунд. Що ти відчуваєш? Порівняй процеси в першому і другому експерименті.

2 Металеву, пластикову й дерев'яну ложки поклади на декілька хвилин у гарячу воду. Вийми їх та порівняй на дотик їхню температуру. Зроби висновок про їхню внутрішню енергію.

ДІЗНАВАЙСЯ

З чого складається внутрішня енергія речовини? Як ти вже знаєш, молекули рухаються і взаємодіють, тобто мають кінетичну і потенціальну енергії. І разом вони утворюють енергію, яку називають *внутрішньою*.

Внутрішня енергія (*internal energy*) — це енергія руху і взаємодії частинок, із яких складається речовина.

Переглянь в е-додатку анімаційну модель руху частинок газу, що визначає його внутрішню енергію (5.1).

vse.ee/cnic

Одиницею внутрішньої енергії, як і механічної, є джоуль.

Внутрішня енергія речовини залежить від її агрегатного стану. Наприклад, у газах молекули вільно переміщуються по всьому об'єму, який вони займають, і між зіткненнями практично не взаємодіють. Тому внутрішня енергія газів визначається лише середньою кінетичною енергією руху молекул, оскільки вона набагато більша, ніж потенціальна енергія взаємодії молекул.

У рідин абсолютні значення кінетичної енергії теплового руху атомів і молекул та потенціальної енергії взаємодії приблизно однакові, за рахунок теплового руху молекули досягають таких відстаней, на яких енергія взаємодії значно послаблюється.

У твердому тілі мікрочастинки взаємодіють між собою набагато сильніше. Завдяки цьому тверде тіло як завгодно довго може зберігати свою форму. Атоми, молекули або йони твердого тіла лише коливаються відносно своїх сталих положень і практично не переміщуються в його об'ємі. У твердих тілах абсолютне значення потенціальної енергії взаємодії мікрочастинок набагато більше, ніж абсолютне значення кінетичної енергії їхнього руху.



Чи може внутрішня енергія дорівнювати нулю?

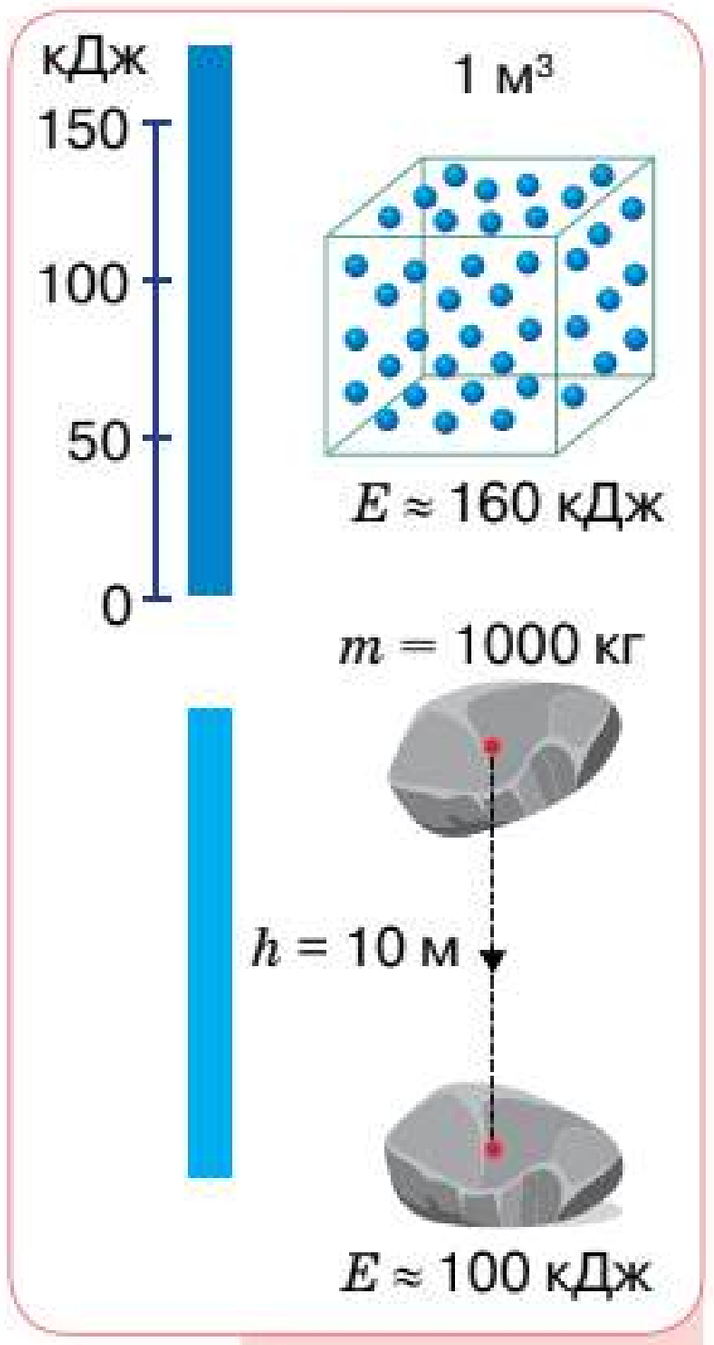


Тепловий рух молекул не припиняється ніколи, навіть за дуже низьких температур (близьких до абсолютного нуля). Отже, тіло завжди має внутрішню енергію, яку можна змінювати.



А яких значень може набувати внутрішня енергія тіла?

Розглянемо такий випадок. За температури 20 °С молекули кисню рухаються із середньою швидкістю 478 м/с. Маса однієї молекули $5{,}3 \cdot 10^{-26}$ кг. Відповідно кінетична енергія руху молекули: $E_{к_0} = \frac{m_0 v^2}{2} \approx 6 \cdot 10^{-21}$ Дж. В 1 м³ міститься приблизно $2{,}7 \cdot 10^{25}$ молекул. Тоді середня кінетична енергія руху цих молекул $E \approx 160$ кДж. Це значення досить велике. Порівняй (мал. 5.1): тіло масою 1000 кг, підняте на висоту 10 м, має потенціальну енергію $E \approx 100$ кДж.



Мал. 5.1

Які є способи зміни внутрішньої енергії? Внутрішня енергія — це змінна величина. Оскільки внутрішня енергія речовини визначається кінетичною і потенціальною енергіями частинок цієї речовини, то, змінюючи швидкість руху частинок або відстані між ними, можна змінити й внутрішню енергію речовини. Як це зробити? Можливо, ти самостійно зможеш дати відповідь на це запитання на основі проведених дослідів (дослід 1, с. 26). Виконай і порівняй ці досліди (мал. 5.2).

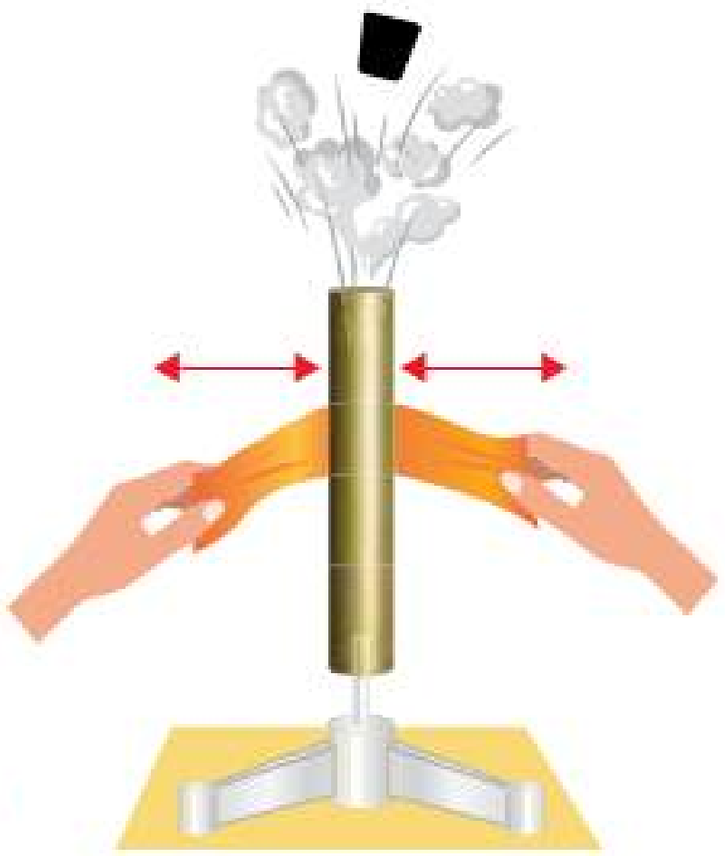
Закріпи у штативі металеву пробірку, закриту корком. Нагрівай її на вогні.

а



Закріпи на підставці тонкостінну латунну трубку. Налий в неї незначну кількість ефіру й закрий трубку корком. Інтенсивно натирай трубку.

б



Мал. 5.2. Що є причиною зміни внутрішньої енергії у кожному випадку?

У випадку а внутрішня енергія зростає внаслідок того, що під час нагрівання збільшується температура повітря в трубці через те, що збільшується кінетична енергія руху частинок повітря. Внутрішня енергія зростає настільки, що повітря, розширюючись, виштовхує корок.

У випадку б внутрішня енергія молекул ефіру зростає внаслідок збільшення температури за рахунок механічної дії — тертя. Внутрішня енергія трубки з ефіром збільшується настільки, що рідина закипає й утворені пари ефіру, розширюючись, виштовхують корок.

Внутрішня енергія тіл збільшувалася завдяки:

а передаванню тепла б виконанню механічної роботи.

Розглянь наведені приклади зміни внутрішньої енергії й самостійно згрупуй їх за способом нагрівання:
а — теплопередача; б — механічна робота.
Наведи власні приклади.
1 — каструля з водою, що нагрівається на плиті;
2 — металева ложка, опущена в склянку з гарячою водою;
3 — згинання і розгинання дроту;
4 — пісок під сонячним промінням;
5 — потирання рук.





Ми розглянули приклади збільшення внутрішньої енергії. А які є способи її зменшення?

У випадку теплопередачі, наприклад нагрівання металевої ложки у гарячій воді, внутрішня енергія ложки збільшується, а води — зменшується. Якщо опустити металеву ложку у склянку з колотим льодом, то внутрішня енергія ложки зменшуватиметься.

Отже, внутрішня енергія тіла змінюється зі зміною його температури: зі збільшенням температури тіла його внутрішня енергія збільшується, а зі зменшенням температури — зменшується. Внутрішня енергія змінюється також зі зміною агрегатного стану речовини: змінюється взаємне розташування її частинок, тобто змінюється потенціальна енергія їх взаємодії.

У випадку виконання механічної роботи відбувається збільшення внутрішньої енергії тіла, якщо робота над ним виконується сторонніми силами. Якщо ж тіло саме виконує роботу, його внутрішня енергія зменшується.

ДУМАЙ

1 Вода перебуває в трьох агрегатних станах — твердому, рідкому і газуватому. В якому із цих станів її внутрішня енергія буде найбільшою, а в якому — найменшою за однаковою масою?

2 Як внутрішня енергія тіла пов'язана з температурою?

3 Як можна змінити внутрішню енергію?

4 Температуру води в одному випадку збільшили на 30 °С, а в іншому — зменшили на 15 °С. Як змінилася внутрішня енергія води в кожному з цих випадків?

5 Чи можна змінити внутрішню енергію тіла, не змінюючи його температури?

6 На столі в кухні стоять склянка і графин з водою. Чи однакові внутрішні енергії води в цих посудинах?

7 Чому в разі швидкого ковзання вниз жердиною або канатом можна обпекти руки?

8 Уяви, що ти розтягуєш гумовий шнурок. Що треба зробити (відпустити шнурок чи розтягнути дужче), аби його внутрішня енергія збільшилась?

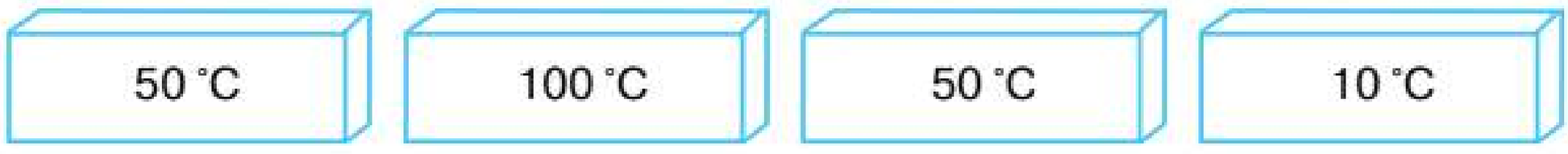
9 Під час забивання цвяха сталевим молотком цвях сильно нагрівається, а температура молотка майже не змінюється. Поясни це явище.

10 Сірник можна запалити, якщо помістити його в полум'я свічі або потерти його об коробку. Чи однакові способи зміни внутрішньої енергії сірника під час його загоряння?

ДІЙ

РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

Металеві бруски мають різну температуру (мал. 5.3). Два з них треба з'єднати торцями так, щоб їх внутрішня енергія не змінилася. Які це мають бути бруски? У контакт з яким бруском слід привести брусок № 1, щоб виникла теплопередача, за якої його внутрішня енергія зменшиться? За якого з'єднання виникне процес теплопередачі, при якому внутрішня енергія бруска № 2 зростатиме?



Мал. 5.3

Виконай в е-додатку відеозавдання (5.2).
Переглянь в е-додатку (5.3) відеодосліди зміни внутрішньої енергії унаслідок тертя. Виконай завдання.

ОЦІНИ СЕБЕ

Виконай в е-додатку завдання для самооцінювання (5.4).

§ 6. ДОСЛІДЖУЄМО ВИДИ ТЕПЛОПЕРЕДАЧІ

Ми весь час досліджуємо речовини в різних агрегатних станах. Можливо, і механізми передачі тепла будуть різними залежно від стану речовини?



ДОСЛІДЖУЙ

Роздивись малюнок (мал. 6.1) і спробуй установити відповідність між зображеннями (1–3) та способами передачі тепла (А–В).



Мал. 6.1

А тепло передається без участі речовини — тепловим випромінюванням
Б тепло передається за рахунок циркуляції теплих і холодних шарів речовини
В тепло передається за рахунок взаємодії частинок речовини

Визнач, яким номером (1–3) позначено вид теплопередачі (А–В): А — теплопровідність; Б — теплове випромінювання; В — конвекція. Перевір свої припущення за матеріалом параграфа.

ДІЗНАВАЙСЯ

Якими бувають види теплопередачі? Як ти вже знаєш, теплопередача — це один зі способів зміни внутрішньої енергії речовини. Теплопередача відбувається, якщо є різниця температур між тілами або частинами одного і того ж тіла. Самовільно тепло може передаватися тільки від тіла (частини тіла) з більшою температурою до тіла (частини тіла) з меншою температурою.

Теплопередача (*heat transfer*) — це процес зміни внутрішньої енергії тіла без виконання роботи.

Теплопередача може здійснюватися різними способами: теплопровідністю, конвекцією і випромінюванням.

Досліджуємо теплопровідність. Виконай дослід (мал. 6.2). Для цього візьми посудину з гарячою водою, три предмети (металеву, пластмасову, дерев'яну лінійки або ложки), маргарин, маленькі ґудзики. Нанеси невелику кількість маргарину на предмети так, щоб він був на однаковій висоті від краю кожного предмета. Поклади на маргарин ґудзики. Опусти предмети у гарячу воду, як зображено на малюнку. Спостерігай, що відбуватиметься. Спрогнозуй, на якому предметі ґудзик упаде швидше.



Мал. 6.2

Розглянемо механізм передачі теплоти з погляду атомно-молекулярного вчення. Молекули гарячої води мають значно більшу кінетичну енергію, ніж частинки, із яких складаються предмети, опущені в неї. Унаслідок зіткнення молекули води передають частину своєї енергії мікрочастинкам речовин, що містяться безпосередньо у воді. Згодом мікрочастинки речовин передають деяку кількість своєї енергії сусіднім частинкам, збільшуючи їх кінетичну енергію (звісно, і температуру тіла). Така передача енергії в результаті безпосередньої взаємодії частинок здійснюється шар за шаром. Зрозуміло, що ніякого перенесення самої речовини не відбувається. Такий процес передачі теплоти називають *теплопровідністю.*

Теплопровідність (*thermal conductivity*) — вид теплопередачі, який полягає у процесі передачі теплоти від більш нагрітої до менш нагрітої частини тіла (або від одного тіла до іншого при їх контакті) внаслідок теплового руху частинок.

Теплопровідність різних речовин залежить від їх внутрішньої будови. Зрозуміло, що найкращу теплопровідність мають тверді тіла, оскільки їх частинки щільно прилягають одна до одної. Рідини мають меншу теплопровідність, а найменшу — гази. Для порівняння: теплопровідність повітря майже в 10 000 разів менша від теплопровідності міді. Теплопровідність води приблизно у 25 разів більша, ніж у повітря, але приблизно у 330 разів менша, ніж у міді.

Переглянь в е-додатку анімаційну модель процесу теплопровідності (6.1).

vse.ee/cnid

І серед твердих тіл є ті, що мають більшу або меншу теплопровідність. У цьому в тебе була можливість переконатися під час виконання досліду.

Висока теплопровідність металів пов'язана з особливостями їх будови. З попередніх параграфів тобі відомо, що частинки твердих тіл здійснюють хаотичні теплові коливання у вузлах кристалічних ґрат. Якби

теплопровідність металів зумовлювалася лише цими коливаннями, то вона б не відрізнялася від теплопровідності інших твердих тіл. Але в металах є багато вільних електронів, які можуть вільно переміщуватися між вузлами кристалічних ґрат, що й забезпечує високу теплопровідність металів.

Вовна, пух, хутро й інші пористі тіла мають погану теплопровідність, бо в них між волокнами є повітря. Ось чому вовна, хутро й пух захищають тварин від переохолодження взимку і перегрівання влітку. Для утеплення будівель також застосовують пористі матеріали: пінопласт, хімічну вату. Малу теплопровідність мають пластмаса, деревина, скло.

Речовини й матеріали, що погано проводять тепло, називають теплоізоляторами.

Досліджуємо конвекцію. Піднеси запалену свічку знизу і вгорі до відчинених дверей (мал. 6.3). Дотримуйся правил безпечної поведінки із відкритим вогнем! Спрогнозуй, чи однаковою буде поведінка полум'я свічки знизу і вгорі? Чи можеш визначити за результатами досліду, де температура більша: в кімнаті чи в коридорі?



Мал. 6.3

Рідини і гази, окрім теплопровідності мають ще один механізм передачі тепла. Цей механізм називають конвекцією, яка супроводжується перенесенням речовини.

Зрозуміло, що конвекція не може відбуватись у твердих тілах, оскільки в них не можуть виникнути потоки речовини.

Конвекція (*convection*) — це вид теплопередачі, який здійснюється шляхом перенесення енергії потоками рідини або газу.

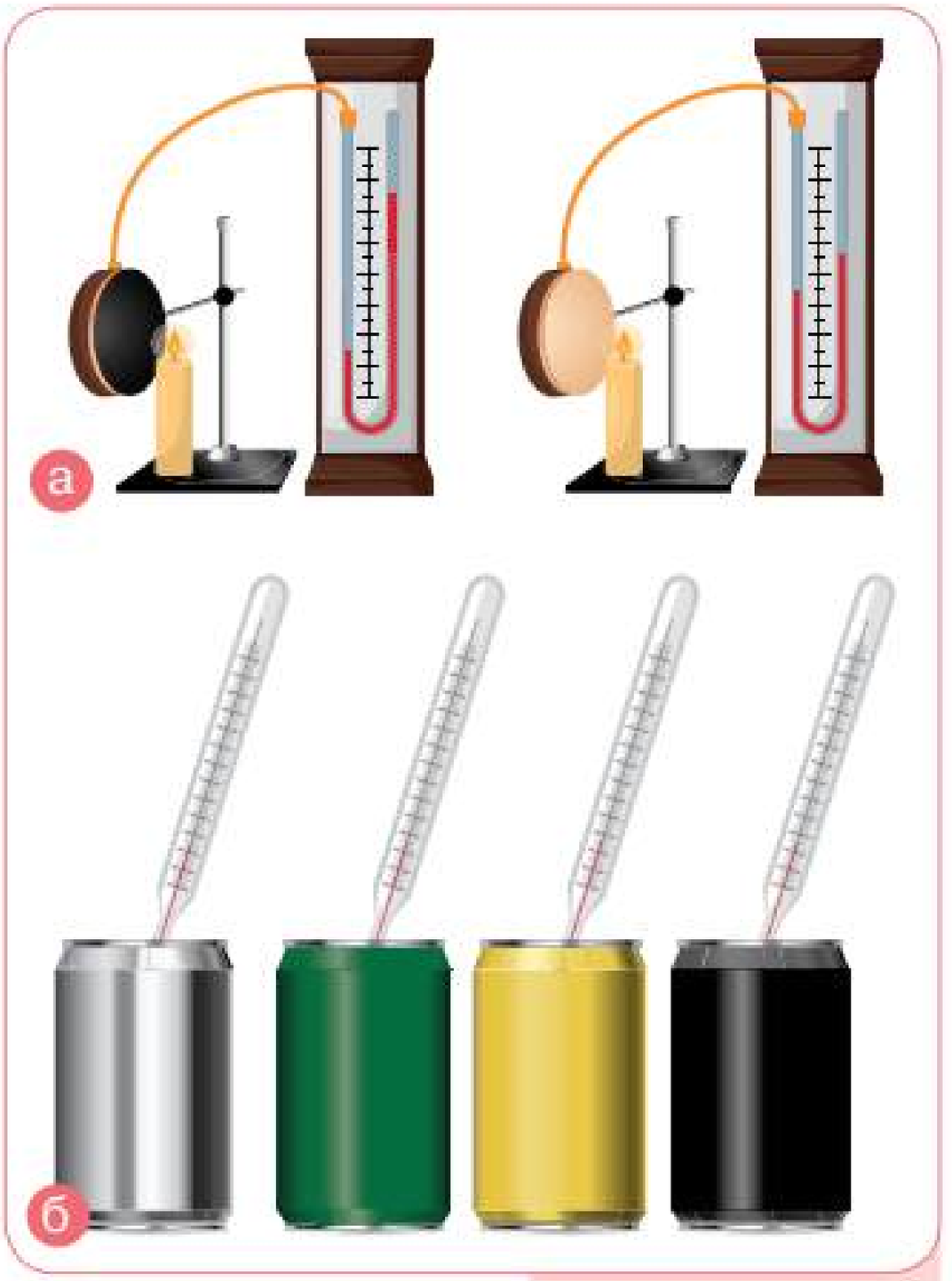
Переглянь в е-додатку анімаційну модель процесу конвекції (6.2).

vse.ee/cnie

У кімнаті у холодні пори року повітря прогрівається батареєю опалення. Унаслідок нагрівання виникає різниця температур між нижніми й верхніми шарами повітря. Як відомо, в разі підвищення температури гази розширюються, їх густина зменшується, й архімедова сила, що діє на нижній шар повітря, стає більшою, ніж сила тяжіння. Унаслідок цього нагріте повітря (що має меншу густину) виштовхується знизу струменями холодного повітря й піднімається вгору під дією архімедової сили, а холодне (що має більшу густину) опускається. Холодне повітря, що надходить на заміну теплому, поступово прогрівається й рухається вгору.

Аналогічні міркування справджуються й для рідин.

Явище конвекції відіграє важливу роль у природі й техніці. Завдяки *природній* конвекції відбувається постійне перемішування повітряних мас — виникають конвекційні потоки в атмосфері — вітри. Через нерівномірне нагрівання води виникають постійні течії у водах річок, морів, океанів. Океанські течії, як і вітри, відіграють значну роль у формуванні клімату на нашій планеті. Щоб краще пропікалося тісто в духовій шафі, прогрівалися продукти в мікрохвильовій печі або охолоджувалися робочі деталі комп'ютера, двигуна автомобіля, використовують вентилятори, які зумовлюють *вимушену* конвекцію.



Мал. 6.4

Досліджуємо теплове випромінювання. З'ясуй, яку поверхню — світлу чи темну — сильніше нагрівають теплові промені (мал. 6.4, а); чи впливає колір поверхні на поглинання тепла й значення температури (мал. 6.4, б).

Існує ще один вид теплопередачі — *теплове випромінювання*, яке на відміну від теплопровідності та конвекції здійснюється без речовинних «посередників» (частинок або потоків речовини). Частина внутрішньої енергії тіла може випромінюватись і поширюватись у вигляді електромагнітних хвиль. (Детальніше механізм утворення і поширення електромагнітних хвиль ти вивчатимеш у 9 класі.)

Випромінювання (*radiation*) — це вид теплопередачі, під час якої енергія передається за допомогою променів (електромагнітних хвиль).

Усі без винятку тіла випромінюють теплову енергію (інфрачервоні промені). Не є винятком і Сонце, багаття, людина, тварини. Лід також випромінює теплову енергію, але нам здається, що від нього «віє холодом». Це відчуття виникає тому, що рука отримує від льоду менше теплової енергії, ніж сама випромінює. Саме тому ми відчуваємо холод.

Існують прилади, які «бачать» теплове випромінювання. Такі прилади називають тепловізорами. За їх допомогою можна виявити холодні й гарячі об'єкти, а також визначити їхню температуру.

Енергія, яку випромінює тіло, залежить від його температури: що вищою є температура тіла, то більше енергії воно випромінює. Температура деяких тіл може бути настільки великою, що атоми речовини, перебуваючи, як кажуть фізики, у збудженому стані, мають «надлишок енергії». Він і випромінюється у вигляді електромагнітних хвиль (деякі з цих хвиль людина відчуває у вигляді тепла, а деякі — у вигляді світла).

Теплове випромінювання також залежить від кольору поверхні тіла та її стану: шорсткі й темні поверхні випромінюють і поглинають теплоту краще, ніж гладенькі та блискучі. Тому влітку, в спекотні дні, краще не носити темний одяг, який інтенсивно поглинатиме теплоту, що може стати причиною теплового удару.

ДУМАЙ

1. Чим відрізняється механізм теплопровідності у твердих тіл, рідин і газів?
2. Чому метали мають найкращу теплопровідність?
3. Чому тварини не замерзають навіть у сильний холод?
4. Які матеріали добре проводять тепло? Де їх застосовують?
5. Чому жителі південних країн під час сильної спеки носять хутряні шапки, ватні халати?
6. Шуба гріє людину чи людина — шубу?
7. Чи буде змінюватися теплопровідність повітря, якщо його стискати?
8. Чи можлива теплопровідність у дуже розріджених газах, космічному просторі?
9. Опиши механізм конвекції на прикладі нагрівання рідини.
10. Чи охолоджує працюючий вентилятор повітря у приміщенні?
11. Чому енергія від Сонця до Землі не може передаватись ані конвекцією, ані теплопровідністю?
12. Де швидше розтане сніг: на шкільному подвір'ї, у лісі, у полі? Чому?

ДІЙ

ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

Виконуй досліди з дотриманням правил безпеки життєдіяльності!

1. Візьми два шматочки льоду, кожний поклади в окремий поліетиленовий пакет. Ретельно обмотай один із пакетів ватою або махровим

рушником. Поклади пакети на тарілки на деякий час. Розгорни пакети і поясни результат.

2 Запропонуй способи збереження продуктів, що швидко псуються, в умовах туристичних походів, на рибалці або в разі відключення електроенергії (відповідь «усе швидко з'їсти» не приймається).

3 Виконай і пояснити такий дослід. У пробірку з водою поклади лід (на лід — металеву гайку, щоб він не спливав). Пробірку розташуй над полум'ям спиртівки так, як показано на малюнку 6.5. Чому у верхній частині пробірки кипить вода, а на дні пробірки ще лежить лід?



Мал. 6.5

4 Змоделюй природну конвекцію води. Тобі знадобляться: харчові барвники (синій і червоний), маленька пляшка з вузьким горлом і широка прозора посудина. Синій барвник розчини у воді, розлий у форми для приготування льоду й постав у морозильну камеру. Пляшку наповни теплою водою й розчини в ній червоний барвник. У прозору посудину налий холодну воду (рівень має бути вище за висоту пляшки). Затуливши горло пальцем, постав пляшку на дно посудини. Прибери руку, аби не збурити води. Додай синій кубик льоду в посудину з водою. Спостерігай, що відбуватиметься. Поясни, чому кольори не змішуються одразу. У якої води густина більша: у холодної чи гарячої? Якщо взяти велику посудину за модель Світового океану, моделями чого тоді будуть пляшка із червоним барвником та синій лід? Яке глобальне явище нагадує процес перемішування вод у такому «океані»?

ОПРАЦЮЙ ІНФОРМАЦІЮ

Виконай в е-додатку відеозавдання (6.3, 6.4).

ОЦІНИ СЕБЕ

Виконай в е-додатку завдання для самооцінювання (6.5).

§ 7. ДОСЛІДЖУЄМО НАГРІВАННЯ РЕЧОВИН

Ми дослідили теплові процеси: спостерігали, пояснювали, проводили досліди. Тепер настав час навчитися обчислювати кількість тепла, що передається.



ДОСЛІДЖУЙ

Виконуй досліди з дотриманням правил безпеки життєдіяльності!

Візьми три склянки. В одну налий 100 мл холодної води. Вимеряй її температуру. У другу — 100 мл гарячої води. Вимеряй її температуру. Спрогнозуй, якою буде температура води, якщо змішати холодну і гарячу воду. Перевір це на досліді. Повтори дослід, але цього разу візьми 200 мл холодної води. Слідкуй, щоб температури холодної і гарячої води були такі ж, як і на початку досліду. Якою буде температура суміші у цьому випадку?

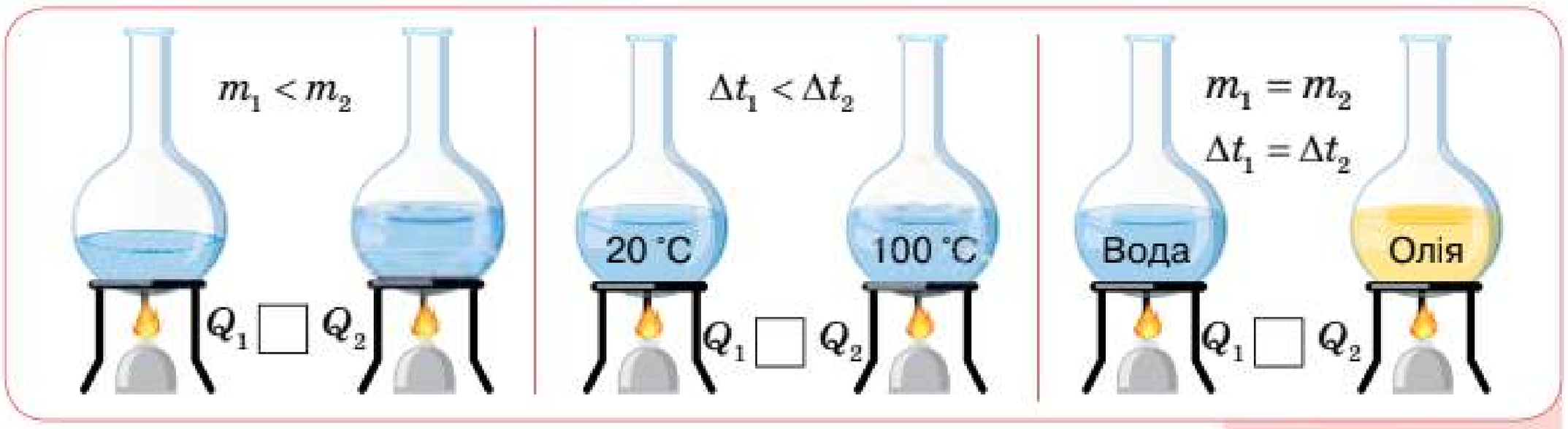
ДІЗНАВАЙСЯ

Як обчислити кількість теплоти? Ти вже знаєш, що тепло передається від гарячих тіл до холодних, поки їхні температури стануть однаковими — настане теплова рівновага. Для кількісного опису властивостей теплопередачі та теплообміну застосовують спеціальні фізичні величини, однією з яких є *кількість теплоти*.

Кількість теплоти позначається літерою Q, читається «кю». Одиницею кількості теплоти є 1 Дж (джоуль).

Кількість теплоти (*amount of heat*) — це та частина внутрішньої енергії, яку отримує чи втрачає тіло під час теплових процесів.

Щоб навчитись обчислювати кількість теплоти, з'ясуй, від яких величин вона залежить. Порівняй (за малюнком 7.1) кількість теплоти, яка необхідна для: а) нагрівання води різної маси до температури кипіння; б) нагрівання однакової кількості води, взятої за температури 10 °С, до температури 20 °С та 100 °С; в) нагрівання однакової кількості різних рідин (води й олії) до однакового значення температури. Перевір припущення дослідами (за можливості).



Мал. 7.1

Із життєвого досвіду та цього досліду ти бачиш, що для нагрівання води більшої маси потрібна більша кількість теплоти. Отже, *кількість теплоти, передана тілу під час нагрівання* (чи віддана тілом під час його охолодження), пропорційна масі цього тіла: $Q \sim m$.

Якщо треба підігріти воду так, щоб вона стала лише теплою, то нагрівають її недовго, надаючи тим самим їй невелику кількість теплоти. А щоб вода стала гарячою, потрібно передати їй більшу кількість теплоти.

Отже, що до вищої температури потрібно нагріти воду, то більшу кількість теплоти треба їй передати. Звідси можна записати: $Q \sim \Delta t$ — кількість теплоти, надана тілу, пропорційна зміні температури цього тіла.

Кількість теплоти, передана тілу під час його нагрівання, залежить ще й від того, з якої речовини виготовлене тіло. Так, для збільшення температури однакових мас води й олії на ту саму кількість градусів потрібна різна кількість теплоти: для води вона більша, для олії — менша.

Особливості речовин до нагрівання характеризують фізичною величиною, яку називають *питомою теплоємністю речовини*.

Питому теплоємність речовини позначають буквою c.

Одиниця питомої теплоємності — $1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$.

Установлено, що різні речовини мають різну питому теплоємність. У таблиці на форзаці наведено значення питомої теплоємності деяких речовин. Наприклад, питома теплоємність золота — $130 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$. Це означає, що для нагрівання 1 кг золота на 1 °C потрібна кількість теплоти, що дорівнює 130 Дж (або внаслідок охолодження 1 кг золота на 1 °C виділяється кількість теплоти, що дорівнює 130 Дж).

Питома теплоємність речовини (*specific heat capacity of a substance*) — фізична величина, що показує, яка кількість теплоти потрібна для збільшення температури речовини масою 1 кг на 1 °C (або яка кількість теплоти виділяється речовиною масою 1 кг під час охолодження на 1 °C).

Отже, кількість теплоти, передана тілу під час нагрівання (чи віддана тілом під час його охолодження), пропорційна питомій теплоємності речовини, із якої виготовлене тіло: $Q \sim c$.

Таким чином, щоб обчислити кількість теплоти, яка потрібна для нагрівання тіла, або кількість теплоти, яку виділяє тіло, охолоджуючись, треба питому теплоємність речовини, з якої виготовлене тіло, помножити на масу цього тіла й різницю між його початковою і кінцевою температурами: $Q = cm(t - t_0)$ або $Q_1 = cm\Delta t$.

Оскільки під час отримання теплоти внутрішня енергія тіла збільшується і, відповідно, збільшується його температура, то різниця температур Δt буде додатною, і кількість теплоти, одержана тілом, також додатна: $Q > 0$. У процесі охолодження кінцева температура тіла (t) менша від початкової (t_0), тому розрахована кількість теплоти матиме від'ємне значення: $Q < 0$.

ДУМАЙ

1 Як відомо, $c = \frac{Q}{m\Delta t}$. Чи можна стверджувати, що питома теплоємність залежить від маси речовини? Від зміни температури речовини? Від кількості переданої теплоти?

2 Яка речовина має найменшу питому теплоємність? Яка речовина має найбільшу питому теплоємність?

3 За однакових умов нагрівають 1 л води та 1 л повітря. Яка речовина швидше нагріється на 100 °С? Чим це можна пояснити?

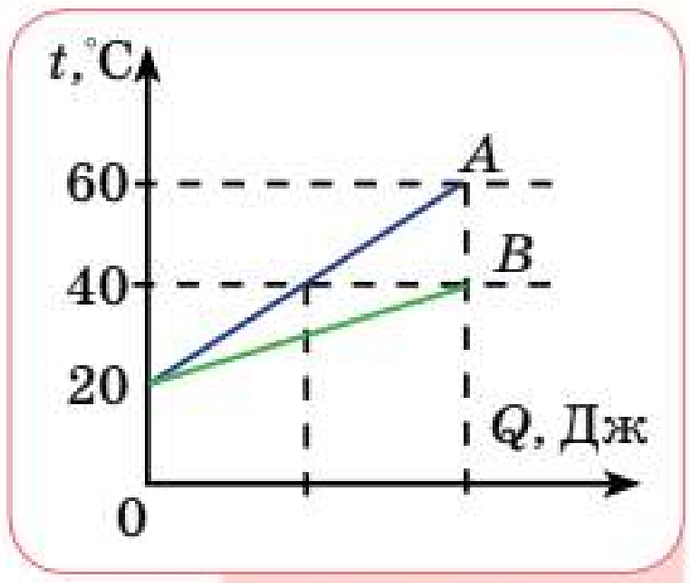
4 Два мідних бруски масами 100 г і 500 г на деякий час занурили в окріп. Поясни, чи однаково змінилася їх внутрішня енергія.

5 У якій посудині (мал. 7.2, а) міститься рідина із найменшою теплоємністю, якщо відомо, що електронним термометром зафіксували температуру трьох рідин, після того як їм надали однакову кількість теплоти (початкові температури й маси рідин однакові)? У якій посудині (мал. 7.2, б) міститься найменше рідини, якщо відомо, що електронним термометром зафіксували температуру рідин, після того як їм надали однакову кількість теплоти (початкові температури рідин однакові, рідина в усіх посудинах також однакова)?



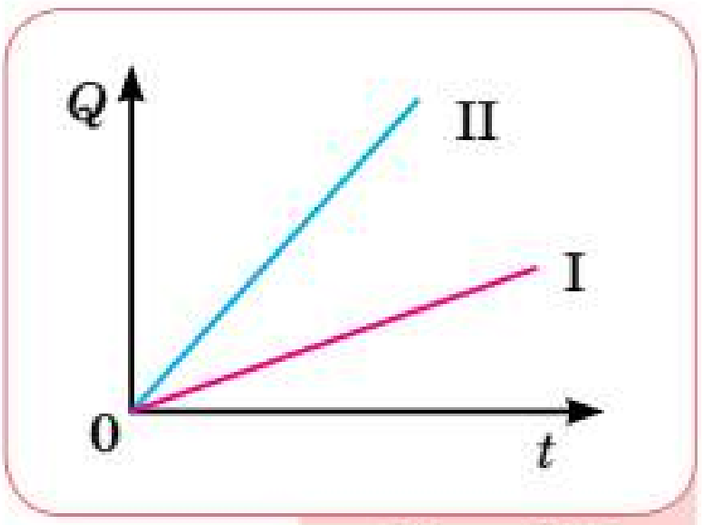
Мал. 7.2

6 Учень та учениця побудували графіки залежності температури води від кількості теплоти, отриманої нею від нагрівача. Ці графіки зображено на малюнку 7.3. Поясни, чому графіки виявилися різними? Який із графіків відповідає нагріванню більшої маси води? У скільки разів відрізнялися маси води в дослідах учня та учениці?



Мал. 7.3

7 В алюмінієвому чайнику нагрівали воду і, нехтуючи втратами кількості теплоти в навколишній простір, побудували графіки залежності кількості теплоти, отриманої чайником і водою, від часу нагрівання (мал. 7.4). Який графік побудований для води, а який — для чайника?



Мал. 7.4

ДІЙ

УЧИСЬ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ЗАДАЧІ

У залізну каструлю масою 1 кг налили воду масою 2 кг. Яку кількість теплоти треба надати каструлі з водою, щоб їх температура змінилась від 10 до 100 °С?

Дано:

$m_1 = 1$ кг

$c_1 = 460 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$

$m_2 = 2$ кг

$c_2 = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$

$t_0 = 10\ ^\circ\text{C}$

$t = 100\ ^\circ\text{C}$

Q — ?

Розв'язання:

Обидва тіла — каструля і вода — нагріваються разом на одну і ту саму температуру: $\Delta t = 100\ ^\circ\text{C} - 10\ ^\circ\text{C} = 90\ ^\circ\text{C}$. Але кількість теплоти, яку отримали каструля і вода, різні, бо маси й питомі теплоємності цих тіл різні.

Кількість теплоти, яку отримала каструля:

$$Q_1 = c_1 m_1 \Delta t,\ Q_1 = 460 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 1\ \text{кг} \cdot 90\ ^\circ\text{C} = 41400\ \text{Дж}.$$

Кількість теплоти, що дістала вода: $Q_2 = c_2 m_2 \Delta t$,

$$Q_2 = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 2\ \text{кг} \cdot 90\ ^\circ\text{C} = 756000\ \text{Дж}.$$

Для нагрівання каструлі й води надано кількість теплоти:

$Q = Q_1 + Q_2$, $Q = 41{,}4\ \text{кДж} + 756\ \text{кДж} = 797{,}4\ \text{кДж}$.

Відповідь: $Q = 797{,}4$ кДж.

РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

1 Яка кількість теплоти потрібна для нагрівання латунної гирі масою 200 г від 20 °С до 28 °С?

2 Яка маса залізної деталі, якщо на її нагрівання від 20 °С до 200 °С пішло 20,7 кДж теплоти?

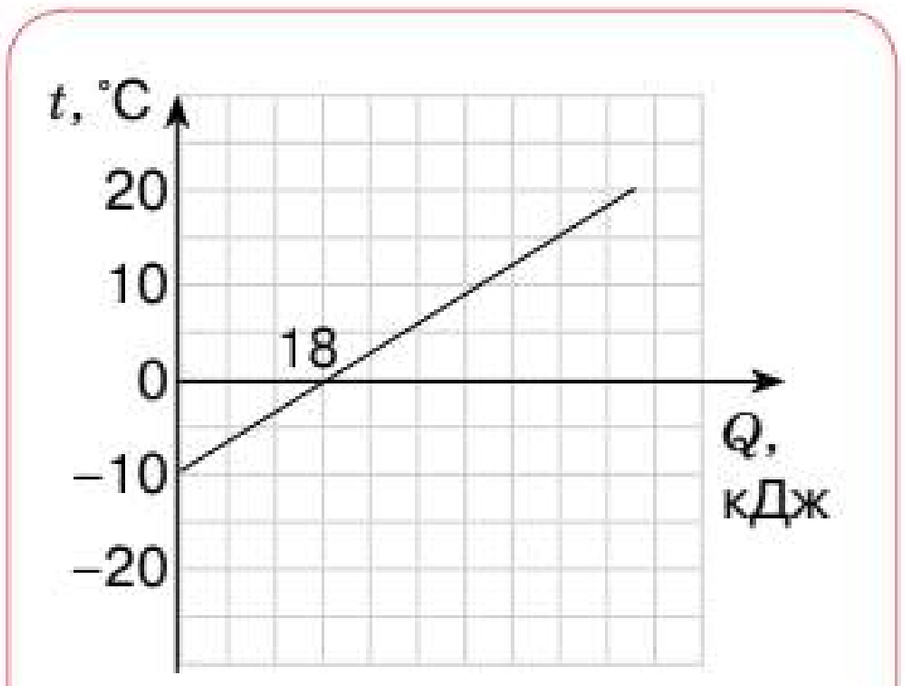
3 Якою кількістю теплоти можна нагріти 0,3 кг води від 12 °С до 20 °С?

4 Яку масу води можна нагріти на 10 °С 1 кДж теплоти?

5 Щоб нагріти 110 г алюмінію на 90 °С, потрібно 9,1 кДж. Обчисли питому теплоємність алюмінію.

6 Молоко під час доїння корів має температуру 37 °С. Для транспортування його охолоджують до 4 °С. Скільки тепла виділяється при цьому, якщо середній надій на фермі 800 л, питома теплоємність молока — 3,9 кДж/кг · °С, густина — 1028 кг/м^3?

7* На графіку (мал. 7.5) зображено процес нагрівання деталі масою 2 кг. Яка питома теплоємність речовини, з якої виготовлена деталь? Яка кількість теплоти необхідна для нагрівання цієї деталі від −10 °С до 20 °С?



Мал. 7.5

ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

Виконуй досліди з дотриманням правил безпеки життєдіяльності!

Нагріваючи 1 л води на газовій або електричній плиті (необхідно, щоб потужність нагрівника в досліді не змінювалась), вимірюй час, протягом якого температура підвищується на кожні 5 °С (вимірювання проводь в інтервалі від 20 до 60 °С). За отриманими значеннями побудуй графік процесу нагрівання. Оскільки в досліді потужність нагрівника є сталою, то кількість отриманої водою кількості теплоти пропорційна часу. Поясни, чи відображає графік це твердження. У чому причина відхилень?

§ 8. ДОСЛІДЖУЄМО ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС



А ви знали, що слово *баланс* походить від французького слова *balance* — терези, тобто означає рівновагу, урівноваження?

Значить, тепловий баланс — це урівноваження між процесами нагрівання й охолодження: скільки гаряче тіло віддає тепла, стільки ж отримує холодне.



А я думаю, що тепловий баланс неможливий. Обов'язково будуть втрати тепла.

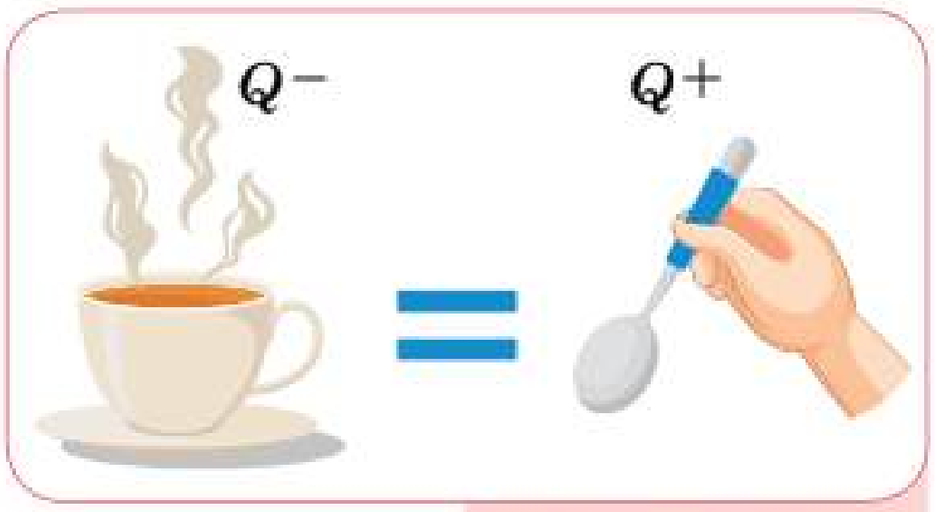


ДОСЛІДЖУЙ

Досліди теплообмін за малюнком 8.1. Які тіла, на твою думку, отримують тепло, а які віддають? Що на малюнку свідчить про:

а) відсутність/наявність теплових втрат;

б) тепловий баланс: під час теплообміну одні тіла віддають таку саму кількість теплоти, яку отримують інші тіла?



Мал. 8.1

ДІЗНАВАЙСЯ

За яких умов забезпечується тепловий баланс? Пригадай: у 7 класі ти вивчав/вивчала закон збереження і перетворення механічної енергії. Він є окремим проявом фундаментального закону збереження енергії, який справджується для всіх процесів у природі. Відповідно, закон збереження енергії справджується і для теплових процесів.

Математичним вираженням закону збереження енергії в процесі теплопередачі є рівняння теплового балансу.

Нагадуємо, що рівність втраченої й отриманої енергії справджується за умови відсутності її втрат, тобто взаємодіючі тіла мають утворювати теплоізольовану систему тіл. Для цього, виконуючи досліди, ти будеш використовувати калориметр (мал. 8.2).

$$Q_1^+ + Q_2^+ + \ldots + Q_n^+ = Q_1^- + Q_2^- + \ldots + Q_k^-,$$

де n — кількість тіл ізольованої системи, які отримують енергію; k — кількість тіл, що віддають енергію.



Мал. 8.2. Калориметр:
а — зовнішній вигляд;
б — схематичне зображення

Калориметр складається з двох посудин циліндричної форми, умі-щених одна в одну. Між посудинами розташовується шар теплоізолятора (повітря, пінопласту тощо). Посудину більших розмірів прикривають кришкою, до якої можна прикріпити термометр і пристрій для перемішування рідини. Усі ці заходи допомагають зменшити втрати теплоти під час теплообміну. Отже, таку систему з певною точністю можна вважати теплоізольованою.

При розв'язуванні задач втратами тепла будеш нехтувати.

Для чого потрібне рівняння теплового балансу? На практиці досить часто виникає потреба у визначенні значень фізичних величин, що характеризують теплообмінні процеси, після встановлення теплової рівноваги. Наприклад, визначити температуру суміші внаслідок змішування гарячої і холодної води, або обчислити кількість теплоти, отриманої тілом під час теплообміну, або визначити температуру тіла, яку воно матиме в результаті досліду.

В усіх цих випадках треба *складати рівняння відносно кількості теплоти, яку втрачають і якої набувають усі тіла, що перебувають у теплообмінному процесі.*

Під час розрахунку теплообмінних процесів застосовують певні правила, що дають змогу встановити умови перебігу теплових явищ і процесів й обчислити шукану величину. А саме:

- з'ясувати, які тіла беруть участь у теплообміні;
- установити, якої температури досягають тіла у стані теплової рівноваги. Якщо за умовою задачі її не задано, позначити її літерою t;
- з'ясувати, які з тіл віддають теплоту, а які — отримують її. Записати формулу кількості теплоти для кожного з тіл, що перебувають у теплообмінному процесі (до того ж слід завжди від більшого значення температури віднімати менше);

- ✔ скласти рівняння теплового балансу, у лівій частині якого записати суму кількостей теплоти, яку отримали тіла внаслідок теплообміну, у правій частині — суму кількості теплоти, що віддали тіла під час теплообміну;
- ✔ розв'язати рівняння відносно шуканої величини та визначити її числове значення.

ДУМАЙ

1. Наведи приклади теплоізольованої системи.
2. За яких умов рівняння теплового балансу є справедливим?
3. Чи можна передати деяку кількість теплоти речовині, не підвищуючи цим її температури?

ДІЙ

УЧИСЬ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ЗАДАЧІ

Алюмінієвий калориметр, маса якого дорівнює 100 г, містить 100 г води кімнатної температури 20 °С. У калориметр поклали тіло масою 150 г, температура якого становить 80 °С. Через деякий час, після встановлення теплової рівноваги, температура в калориметрі дорівнювала 27 °С. Визнач питому теплоємність тіла, яке поклали в калориметр.

Дано:

$m_1 = 0{,}1$ кг

$c_1 = 900 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot °\text{C}}$

$m_2 = 0{,}1$ кг

$c_2 = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot °\text{C}}$

$m_3 = 0{,}15$ кг

$t_1 = t_2 = 20$ °С

$t_3 = 80$ °С

$t = 27$ °С

c_3 — ?

Розв'язання:

У процесі передавання тепла беруть участь калориметр, вода і тіло.

Температура води і калориметра підвищилась від 20 до 27 °С, тіло при цьому охолонуло від 80 до 27 °С.

Кількість теплоти, яку отримав калориметр:

$Q_1 = c_1 m_1 \cdot (t - t_1)$.

Кількість теплоти, яку отримала вода:

$Q_2 = c_2 m_2 \cdot (t - t_2)$.

Кількість теплоти, яку віддало тіло: $Q_3 = c_3 m_3 \cdot (t - t_3)$.

Умова теплового балансу: $Q_1 + Q_2 = Q_3$,

$c_1 m_1 \cdot (t - t_1) + c_2 m_2 \cdot (t - t_2) = c_3 m_3 \cdot (t - t_3)$.

Звідки $c_3 = \frac{c_1 m_1 \cdot (t - t_1) + c_2 m_2 \cdot (t - t_2)}{m_3 \cdot (t_3 - t)}$.

$$c_3 = \frac{900 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot °\text{C}} \cdot 0{,}1\,\text{кг} \cdot 7\,°\text{C} + 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot °\text{C}} \cdot 0{,}1\,\text{кг} \cdot 7\,°\text{C}}{0{,}15\,\text{кг} \cdot 53\,°\text{C}} = 450 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot °\text{C}}.$$

Відповідь: $c_3 = 450 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot °\text{C}}$.

РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

1 Змішали 39 л води при 20 °С і 21 л води при 60 °С. Визнач температуру суміші.

2 У ванні місткістю 200 л змішали холодну воду за температури 10 °С з гарячою при температурі 60 °С. Які об'єми тієї й іншої води треба взяти, аби встановилася температура 40 °С?

3 В алюмінієвий калориметр масою 140 г налили 250 г води при температурі 15 °С. Після того як брусок зі свинцю масою 100 г, нагрітий до 100 °С, помістили в калориметр з водою, там установилася температура 16 °С. Склади рівняння теплового балансу і визнач питому теплоємність свинцю.

4 Визнач, на скільки підвищиться температура тіла людини масою 60 кг, якщо вона занурюється у ванну з температурою води 42 °С. Середня температура тіла людини 37 °С, середня питома теплоємність тіла людини — 3350 Дж/(кг · °С). Об'єм води у ванні — 220 л. Втрату теплоти на нагрівання ванни і навколишнього простору вважай рівною 40 %.

5 Сталевий виріб загартовувався нагріванням до температури 800 °С з наступним опусканням у масло масою 2 кг, взяте при температурі 10 °С. При цьому масло нагрілося до температури 40 °С. Знайди масу сталевого виробу, якщо при переносі в масло виріб охолодився на 20 °С. Питома теплоємність масла — 2100 Дж/(кг · °С).

6 Щоб охолодити виточену з міді деталь, яка має температуру 100 °С, її занурили у 420 г води з температурою 15 °С. Визнач масу деталі, якщо відомо, що у процесі теплообміну вода нагрілася до 18 °С.

7 Сталеву деталь масою 300 г нагріли до високої температури, а потім занурили для загартовування в 3 кг машинного масла, що має температуру 10 °С. Визнач початкову температуру деталі, якщо температура при усталеній тепловій рівновазі була 30 °С.

8 Вода масою 150 г, налита в латунний калориметр масою 200 г, має температуру 12 °С. Знайди температуру, котра встановиться в калориметрі, якщо у воду опустити залізну гирю масою 0,5 кг, нагріту до 100 °С.

9 До алюмінієвої посудини масою 45 г налили 150 г води при температурі 20 °С. У посудину опустили циліндр масою 200 г, температура якого 95 °С, при цьому температура води підвищилась до 30 °С. Визнач питому теплоємність речовини, з якої виготовлено циліндр.

10* За даними малюнка 8.3 склади і розв'яжи задачі.



Мал. 8.3

ОЦІНИ СЕБЕ

Виконай у е-додатку завдання для самооцінювання (8.1).

ВИКОНАЙ ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ № 1, 2

Виконуй роботу із дотриманням правил безпеки життєдіяльності.

1. Об'єднайтесь у групи і виконайте дослідження теплового балансу за змішування води різної температури.
   Обладнання: термометр, посудина з теплою водою (40–50 °С), посудина з холодною водою, калориметр, мензурка.

- ✔ За допомогою термометра виміряйте температуру холодної води t_1 у посудині. Запишіть значення температури у таблицю.
- ✔ Налийте в калориметр 100 г теплої води. Виміряйте й запишіть у таблицю значення її температури t_2.
- ✔ Не виймаючи термометр, налийте у калориметр 100 г холодної води.
- ✔ Обережно помішуючи термометром воду, стежте за його показаннями. Тільки-но температура перестане змінюватись, запишіть показання термометра t у таблицю.
- ✔ Обчисліть зміну температури холодної води $\Delta t_1 = t - t_1$ та теплої $\Delta t_2 = t - t_2$.
- ✔ Обчисліть кількість теплоти, яку отримала холодна вода: $Q_1 = c_1 m_1 \cdot (t - t_1)$.
- ✔ Обчисліть кількість теплоти, яку віддала гаряча вода: $Q_2 = c_2 m_2 \cdot (t - t_2)$.
- ✔ Порівняйте їх і зробіть висновок.

Маса холодної води, m_1, кг	Маса теплої води, m_2, кг	Температура холодної води, t_1, °С	Температура теплої води, t_2, °С	Температура суміші, t, °С	Кількість теплоти, що отримала холодна вода Q_1, Дж	Кількість теплоти, що віддала тепла вода, Q_2, Дж

2. Об'єднайтесь у групи і визначте дослідним шляхом питому теплоємність речовини.

Обладнання: калориметр, термометр, мензурка, посудина з водою, важільні терези з набором важків, циліндр металевий (на нитці), фільтрувальний папір, посудина з окропом.

- Налийте в калориметр 100–150 мл води кімнатної температури. Виміряйте та запишіть температуру t_1 і масу m_1 цієї води.
- З дозволу вчителя підійдіть з калориметром до посудини, в якій у киплячій воді містяться гарячі металеві циліндри. Вчитель акуратно покладе циліндр у ваш калориметр.
- На робочому місці обережно опустіть термометр у калориметр і стежте за його показаннями. Після досягнення теплової рівноваги виміряйте температуру води в калориметрі t.
- Вийміть циліндр із води, промокніть його фільтрувальним папером. За допомогою важільних терезів визначте його масу m_2.
- Обчисліть кількість теплоти, яку отримує вода в калориметрі: $Q_1 = c_1 m_1 \cdot (t - t_1)$.
- Обчисліть кількість теплоти, яку віддає гарячий циліндр: $Q_2 = c_2 m_2 \cdot (100\ ^\circ\text{C} - t)$.
- Складіть рівняння теплового балансу. Із співвідношення визначте питому теплоємність речовини циліндра c_2.
- За таблицею питомих теплоємностей визначте речовину, із якої виготовлено циліндр.

Початкова температура води t_1, °C	Кінцева температура води t, °C	Маса води m_1, кг	Маса тіла m_2, кг	Кількість теплоти, що отримує вода Q_1, Дж	Кількість теплоти, що віддає тіло Q_2, Дж	Питома теплоємність тіла c_2, Дж/(кг · °C)

ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

Запропонуй метод визначення питомої теплоємності рідини.

Виконай в е-додатку віртуальну лабораторну роботу 1.

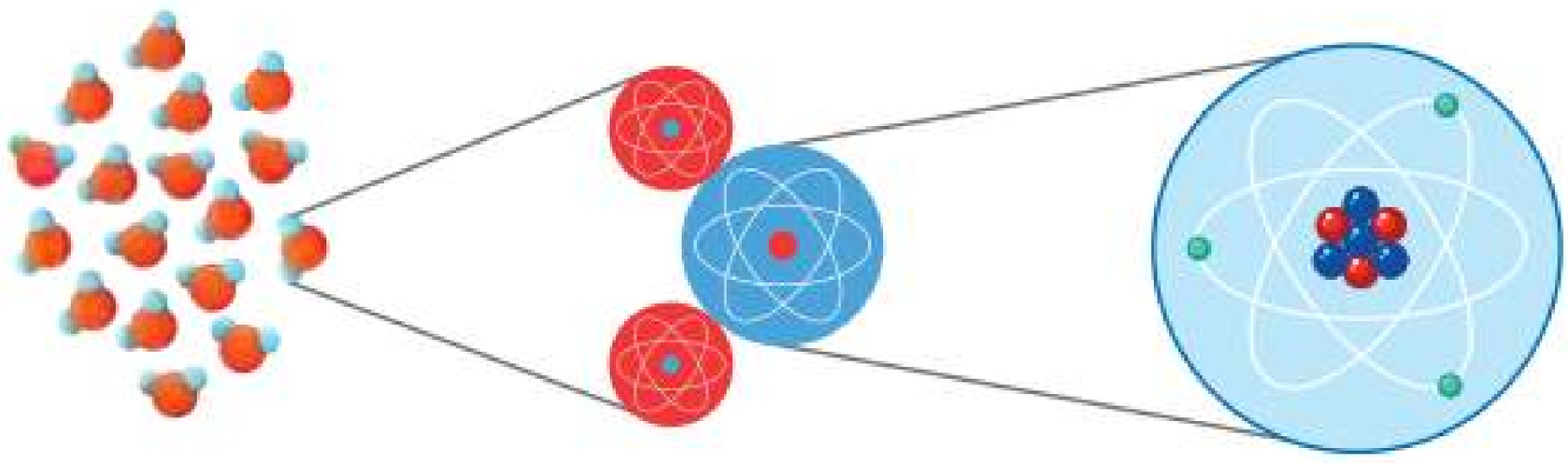
ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ



Ти дізнався/дізналася, що внутрішню будову речовини описує молекулярно-кінетична теорія (МКТ). На основі її положень можна пояснити особливості агрегатних станів речовини, температуру тіл, процеси передачі тепла.

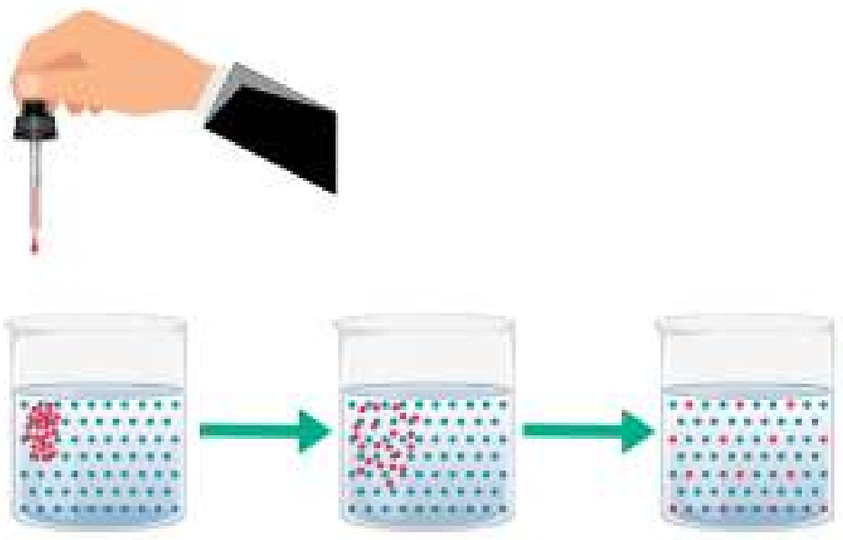
Ти можеш сформулювати основні положення МКТ.

1. Речовина складається із частинок (молекул, атомів, інших частинок).

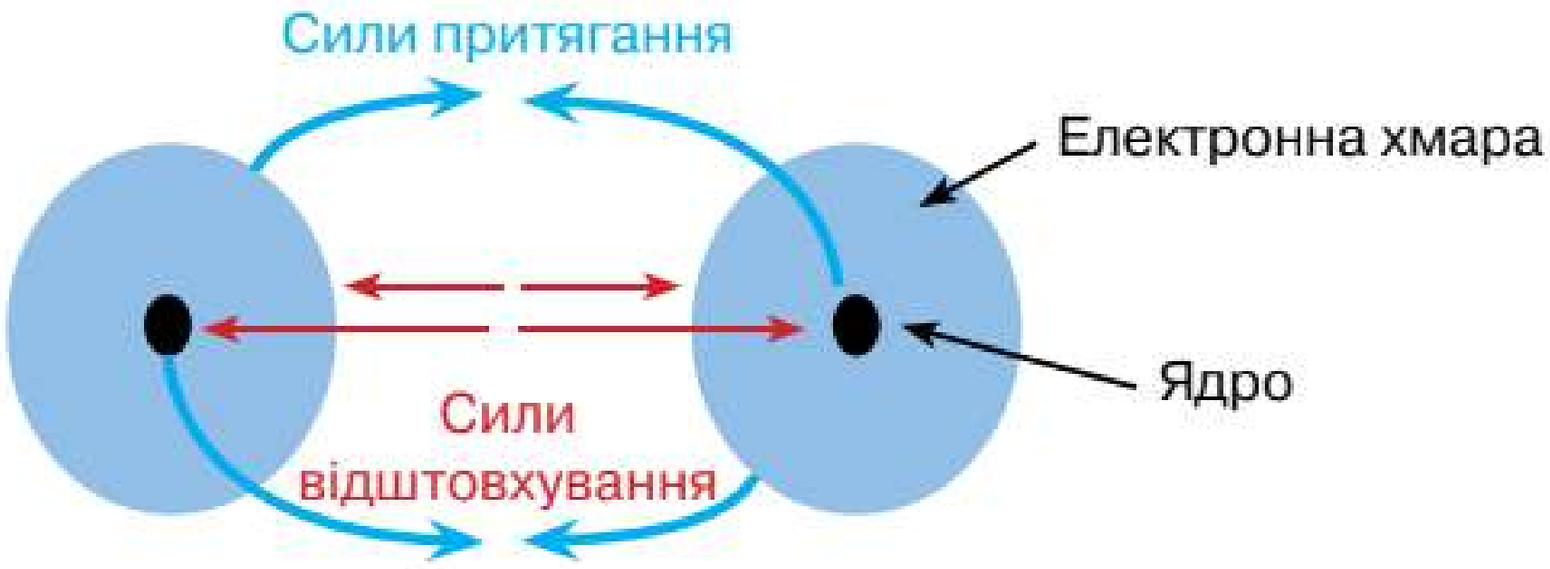


2. Частинки речовини перебувають у безперервному хаотичному (безладному) русі.

Підтвердженням цьому є явище *дифузії*.

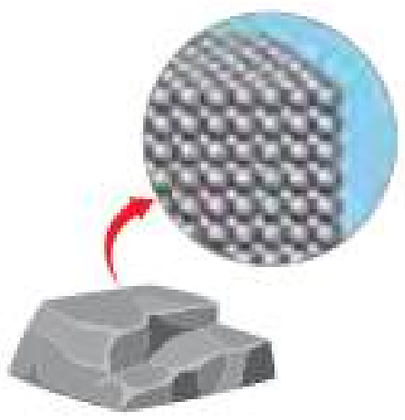
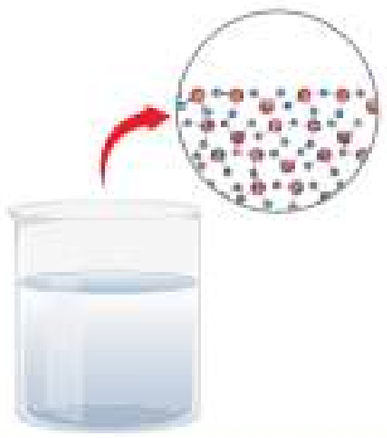
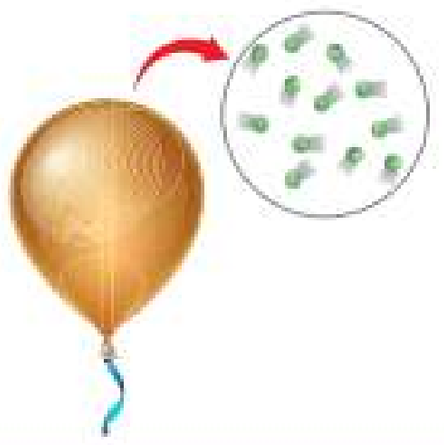


3. Частинки речовини взаємодіють між собою — притягуються і відштовхуються.



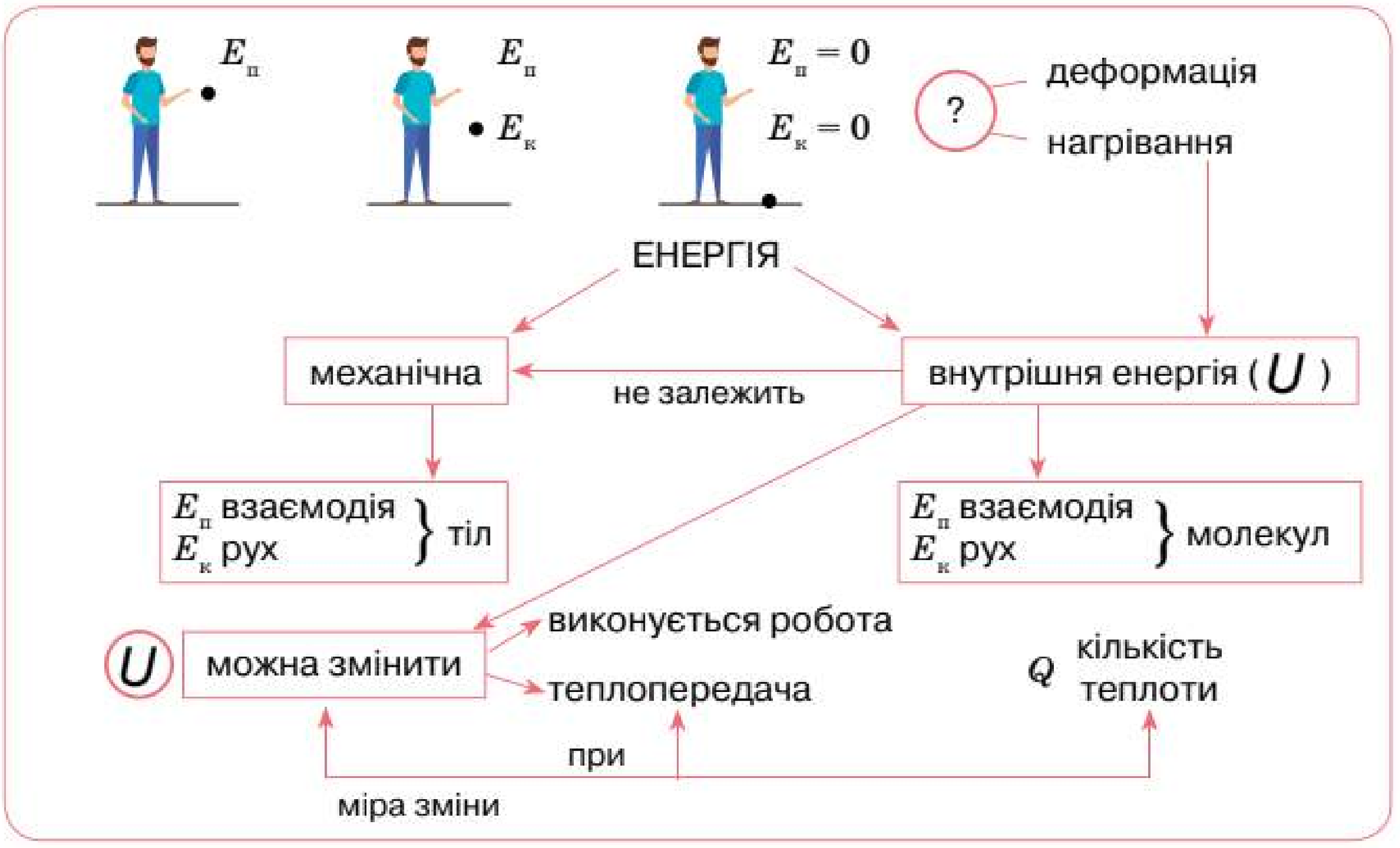
Підтвердженням цьому є виникнення сил пружності, зміна агрегатного стану речовини, склеювання тощо.

Ти можеш описати особливості агрегатного стану речовини.

Ознака порівняння	Агрегатний стан речовини		
	Твердий (кристалічний)	**Рідкий**	**Газуватий**
Збереження форми й об'єму	Зберігають форму й об'єм	Зберігають об'єм, але змінюють форму	Не мають власної форми й об'єму
Особливості взаємного розташування частинок	Частинки розташовано впритул одна до одної (у чіткому порядку)	Частинки розташовано впритул одна до одної, але порядку у розташуванні немає	Порядку в розташуванні немає, відстані між частинками значно більші за розміри частинок
Притягання між частинками	Сильне	Достатнє для того, щоб вони трималися разом як єдине ціле, але недостатнє для підтримування форми — рідини течуть	Немає
Характер руху частинок	Лише злегка коливаються відносно фіксованого положення	Рухаються невпорядковано, стикаються і відштовхуються	Частинки дуже швидко хаотично рухаються, періодично стикаються одна з одною
Співвідношення між середньою кінетичною та потенціальною енергіями частинок речовини	$E_п >> E_к$	$E_п \approx E_к$	$E_п \to 0$ $E_к$
Схематичне зображення розташування частинок			

Ти розумієш, що рух — основна властивість матерії. Рух частинок речовини називають тепловим. Середня кінетична енергія руху частинок речовини визначає *температуру* тіла.

Ти дізнався/дізналася, що *внутрішня енергія речовини* — це сума середньої кінетичної енергії руху частинок речовини та середньої потенціальної енергії їх взаємодії.



Ти можеш пояснити способи зміни внутрішньої енергії та схарактеризувати види теплопередачі.

Два способи зміни внутрішньої енергії

Теплопередача — зміна внутрішньої енергії, за рахунок передавання її від одного тіла до іншого без виконання роботи

Виконання механічної роботи, зокрема: нагрівання тіл при їх деформаціях; нагрівання, яким супроводжується виконання роботи проти сили тертя

Теплопровідність — обмін енергією між тілами, що перебувають у безпосередньому контакті (за рахунок взаємодій між частинками речовини



Конвекція — перенесення енергії потоками рідин або газів (можливий тільки у полі тяжіння за рахунок сил Архімеда, що діють на нагріту рідину, яка має меншу густину внаслідок теплового розширення)



Випромінювання — перенесення енергії електромагнітними хвилями, видимим світлом, інфрачервоним випромінюванням; може відбуватися у вакуумі



Ти вмієш описувати теплові процеси, що супроводжують нагрівання за допомогою відповідних фізичних величин.

Кількість теплоти (Q) — це та частина внутрішньої енергії, яку отримує чи втрачає тіло під час теплових процесів.

Кількість теплоти, яка потрібна для нагрівання тіла, або кількість теплоти, яку виділяє тіло, охолоджуючись, визначають за формулою:

$Q = cm(t - t_0)$ або $Q_1 = cm\Delta t$ кг,

де c — питома теплоємність речовини, з якої виготовлене тіло;
m — маса тіла;
Δt — різниця між його початковою і кінцевою температурами.

Математичним вираженням закону збереження енергії в процесі теплопередачі є 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.

ПЕРЕВІР СЕБЕ

1. (0,5 б.) Укажи агрегатний стан речовини, у якому структурні частинки здійснюють коливання на одному місці.

А рідкий **В** твердий

Б газоподібний **Г** рідкокристалічний



2. (0,5 б.) Обери рядок, у якому наведено приклад вимушеної дифузії.

А у водоймах циркулює повітря, розчинене у воді

Б у склянці з чаєм розмішують цукор

В крапля фарби, додана в склянку з водою, надає воді забарвлення

Г запах бензину з відкритого бака відчувається поблизу автомобіля

3. (1 б.) На малюнку показано напрям обміну теплотою між тілами. Укажи номер тіла з найнижчою температурою.



4. (1 б.) Обери правильне співвідношення між масами води в посудинах, якщо їх поставили на один і той же нагрівник й через деякий час виміряли температуру води.

Початкова температура води в посудинах була однаковою.

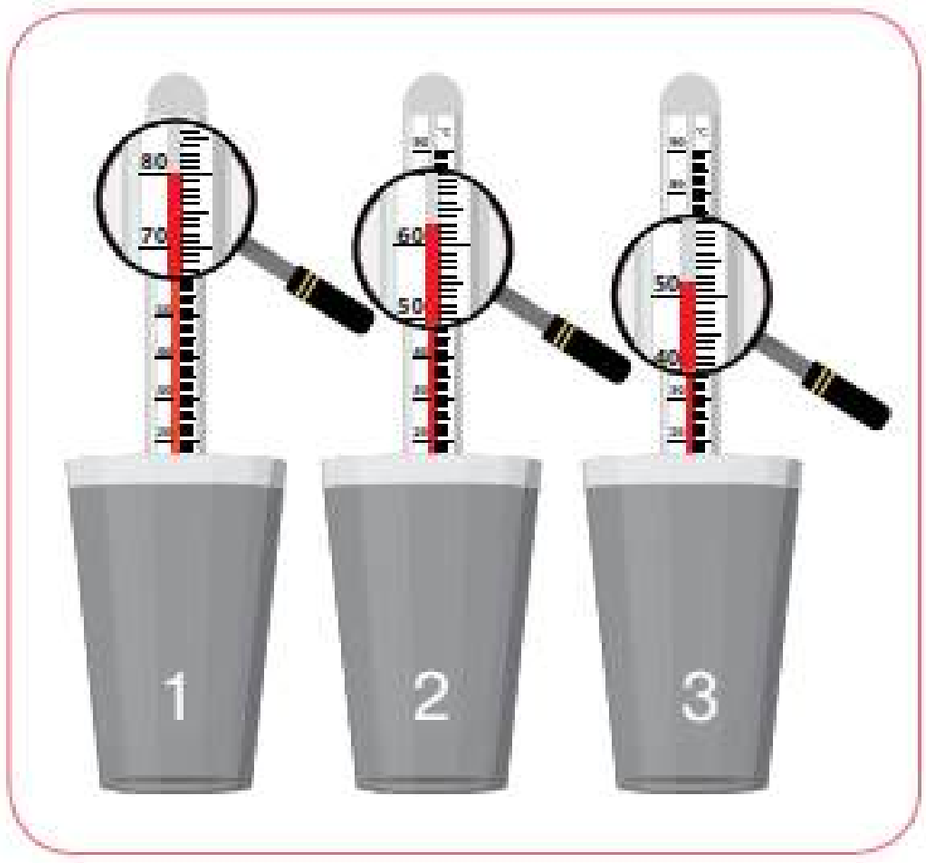
А $m_1 > m_2 > m_3$ **Б** $m_1 > m_2 < m_3$

В $m_1 < m_2 < m_3$ **Г** $m_1 < m_2 > m_3$

5. (1 б.) Для нагрівання 2 кг води (c = 4200 Дж/(кг · °С)) від 20 до 70 °С витрачають кількість теплоти …

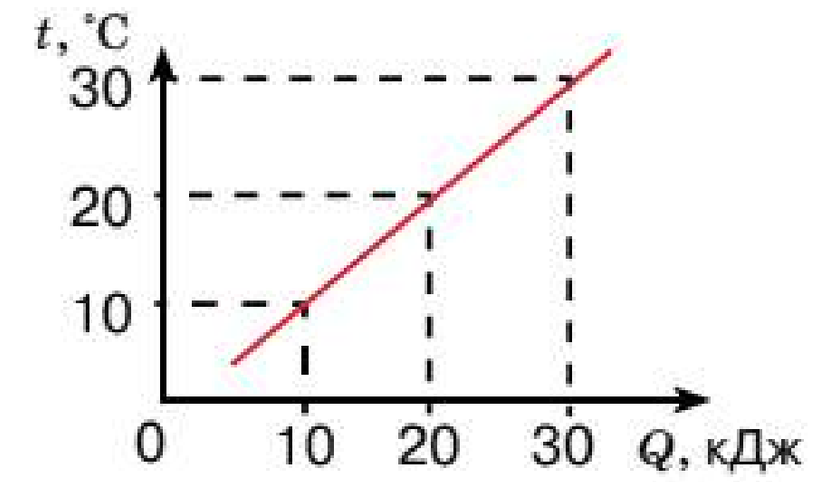
А 9200 Дж **Б** 920 Дж

В 4200 Дж **Г** 420 кДж

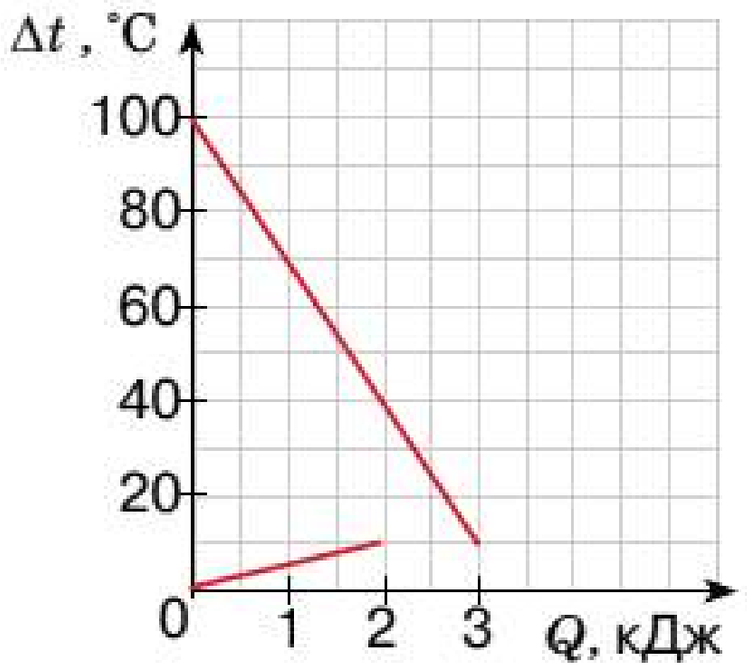


6. (2 б.) Які об'єми холодної і гарячої води треба взяти, щоб у ванні, місткість якої 200 л, встановилася температура 40 °С? Змішували холодну воду температури 10 °С з гарячою температури 60 °С.

7. (3 б.) Експериментально досліджувалась зміна температури 0,5 кг рідини внаслідок її нагрівання. За отриманим графіком визнач питому теплоємність цієї рідини.



8. (3 б.) В алюмінієвий калориметр, у якому міститься холодна вода, вливають гарячу воду. Використовуючи графіки зміни температури води під час теплообміну, визнач масу калориметра.





ТЕМА 2. ЗМІНА АГРЕГАТНОГО СТАНУ. ТЕПЛОВІ МАШИНИ

ТИ НАВЧИШСЯ:

- вибирати пізнавальну ситуацію, яку можна розв'язати дослідницьким способом, формулювати висновки, презентувати результати, здійснювати самоаналіз дослідницької діяльності;
- опрацьовувати, систематизувати та представляти інформацію природничого змісту;
- формулювати проблему й обирати стратегії її розв'язання;
- досліджувати процеси, що супроводжуються перетворенням агрегатного стану речовини;
- складати рівняння теплового балансу;
- розв'язувати фізичні задачі на визначення величин, що описують поглинання/виділення тепла у процесах кипіння/конденсації, плавлення/твердnення та на ККД теплових машин.

ТИ ЗРОЗУМІЄШ:

- властивості рідин (поверхневий натяг, капілярність, змочування), пари (вологість), твердих тіл (аморфних і кристалічних);
- які зміни відбуваються у внутрішній будові речовини під час переходу її з одного агрегатного стану в інший;
- принцип дії теплових машин;
- переваги і недоліки впливу теплових машин та інших засобів теплотехніки на довкілля;
- чому важливі енергоощадні заходи для родини, громади, країни;
- які є способи подолання екологічних проблем, пов'язаних із використанням теплових машин.

ТИ ЗМОЖЕШ:

- описувати будову і властивості речовини при переході її з одного агрегатного стану в інший, використовуючи поняття: питома теплота плавлення, питома теплота пароутворення, питома теплота згорання палива;
- пояснювати процеси змочування, підняття рідини в капілярах, пароутворення і конденсації, плавлення і тверднення, згорання.

§ 9. ДОСЛІДЖУЄМО ПОВЕРХНЕВИЙ НАТЯГ РІДИН, ЗМОЧУВАННЯ І КАПІЛЯРНІ ЯВИЩА

Ми детальніше вивчатимемо рідини. Варто пригадати все, що вчили, про рідкий стан. Як це краще зробити? Повторити параграфи 1–3? Переглянути відео в е-додатку? О, зроблю плакат чи презентацію!



ДОСЛІДЖУЙ

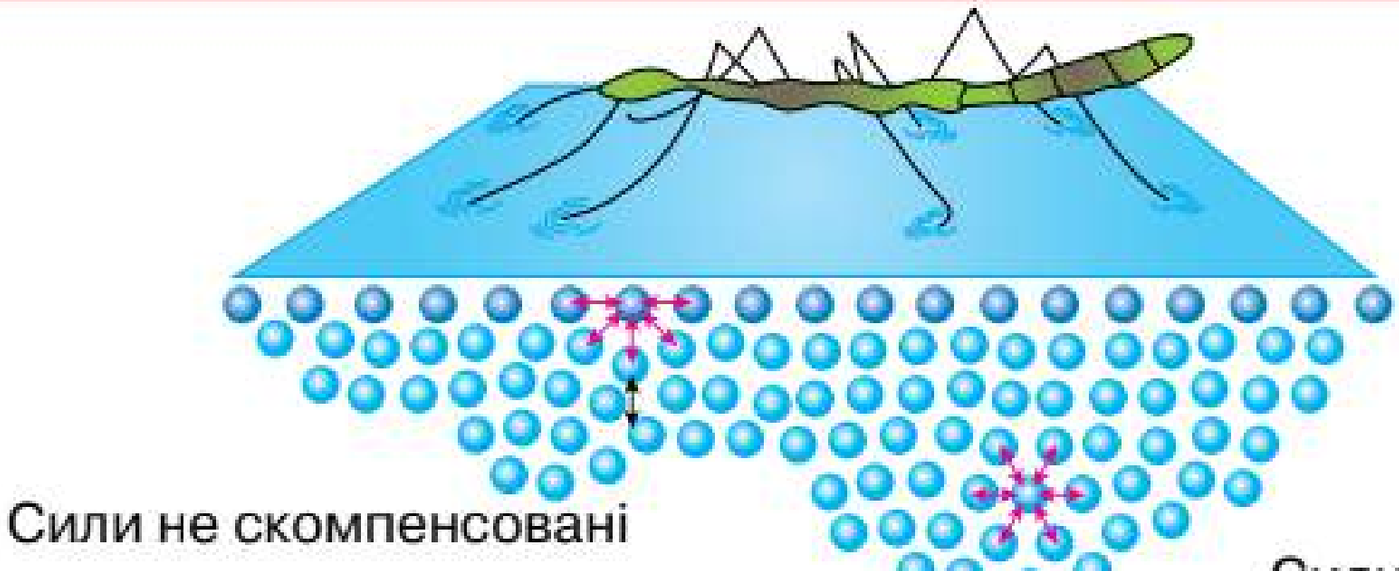
Виконай досліди (мал. 9.1) і переконайся, що вода може: а) утримувати на поверхні легкі предмети; б) підніматися тоненькими капілярами (порами); в) розтікатись по поверхні або збиратись у краплини.



Мал. 9.1

ДІЗНАВАЙСЯ

Чому виникає поверхневий натяг? Характерною властивістю рідини є те, що на межі з газом рідина утворює вільну поверхню. Такі явища, як поверхневий натяг, змочування поверхонь, утворення крапель, капілярні явища зумовлені саме особливостями взаємодії молекул, що містяться в поверхневому шарі рідини (мал. 9.2).



Мал. 9.2

Усередині рідини кожна молекула рівномірно оточена іншими молекулами, і сили взаємодії між ними скомпенсовані. Молекули ж поверхневого шару лише з одного боку оточені молекулами рідини, з іншого — молекулами газу. Відповідно, сили взаємодії між молекулами на поверхні рідини не скомпенсовані. Виникає сила, напрямлена вглиб рідини та вздовж її поверхні. Тому поверхня води стягується й стає як еластична плівка, що дозволяє утримувати легкі предмети. Це явище називають *поверхневим натягом*.

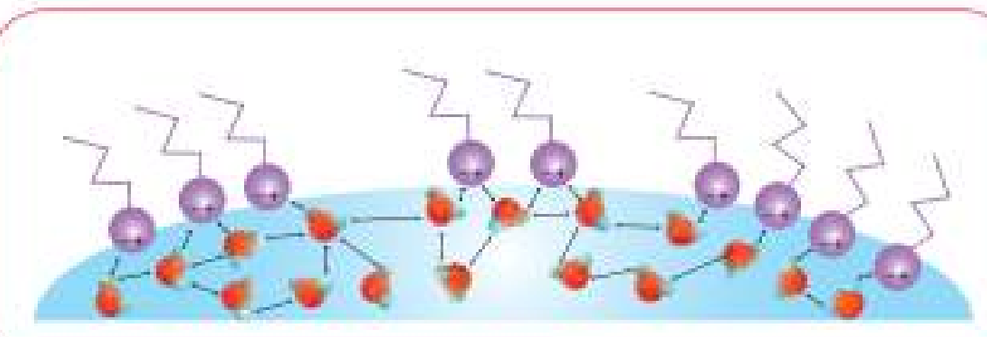
Переглянь в е-додатку відео поверхневого натягу рідин (9.1).

Поверхневий натяг (*surface tension*) — фізичне явище, зміст якого полягає в прагненні рідини скоротити площу своєї поверхні при незмінному об'ємі.

Поверхневий натяг рідини визначається силами міжмолекулярної взаємодії, тому він залежить від:

- природи рідини: у летких рідин, які швидко випаровуються (ефір, спирт, бензин) поверхневий натяг менший, ніж у нелетких (ртуть, рідкі метали);
- температури рідини: що вищою є температура рідини, тим меншим є її поверхневий натяг;
- наявності в складі рідини *поверхнево-активних речовин*; їх наявність значно зменшує поверхневий натяг рідини;
- властивостей газу (або іншої рідини), з яким межує дана рідина.

Мило та миючий засіб називають *поверхнево-активними речовинами* (*surfactants*). Їхні молекули містять частину, яка сильно притягується до молекул води, і частину («хвіст»), яка не взаємодіє з молекулами води. Унаслідок чого молекули поверхнево-активної речовини мігрують на поверхню води і стирчать догори «хвостами», створюючи нову поверхню, яка має значно менший поверхневий натяг (мал. 9.3).

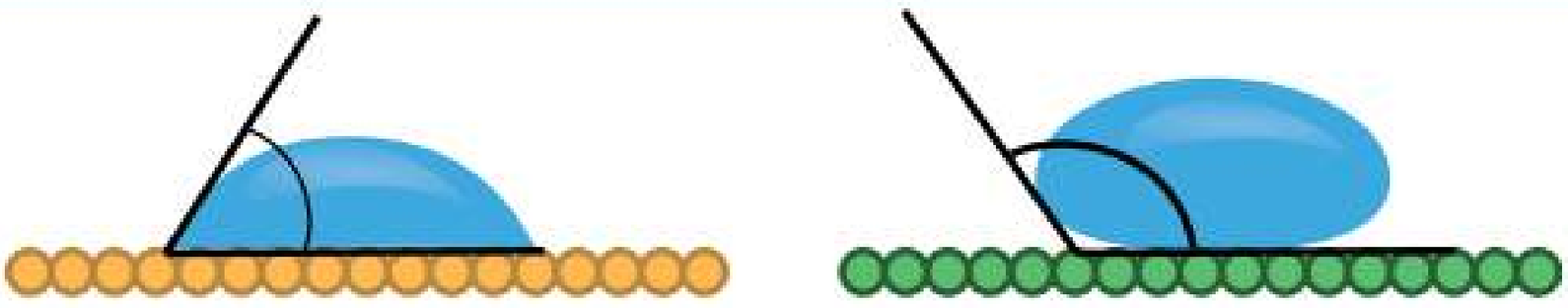


Мал. 9.3



Так, з милом краще відмивається бруд. Але якщо мило та інші миючі засоби так впливають на поверхневий натяг води, то чи не створюють вони небезпеку для природних водойм? Дізнаюсь сам і поділюсь інформацією з однокласниками й однокласницями.

Чому вода змочує одні поверхні й не змочує інші? Відомо, що за однакової маси найменшу площу поверхні має тіло сферичної форми. Саме такої форми і намагається надати рідині поверхневий натяг. При контакті з будь-якою поверхнею до формування поверхні долучається взаємодія з молекулами цієї поверхні, і все це відбувається під дією сили тяжіння. Тому краплі, розташовані на поверхні, сплющені згори силою тяжіння і спотворені на межі дотику рідини з поверхнею. Якщо молекули рідини притягуються одна до одної слабше, ніж до молекул твердого тіла, то рідина розтікається (змочує поверхню) (мал. 9.4, а). А якщо сили притягання між частинками самої рідини більші, ніж сили притягання цих молекул до молекул твердого тіла, то рідина набуває сферичної форми (не змочує поверхню) (мал. 9.4, б).

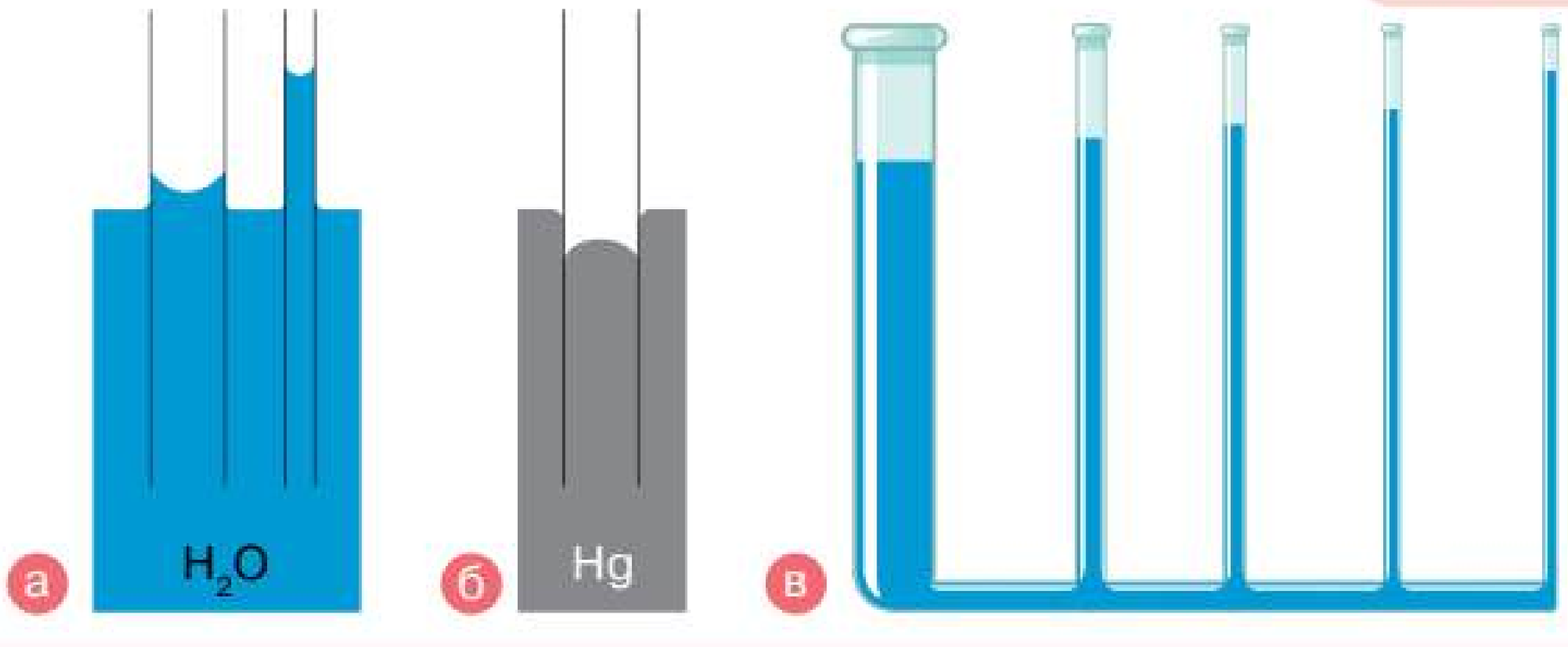


Мал. 9.4. а — рідина змочує поверхню, б — рідина не змочує поверхню

Оскільки явища змочування і незмочування зумовлено властивостями речовин рідини й твердого тіла, то та сама рідина може бути змочувальною для одного твердого тіла й незмочувальною для іншого. Вода, наприклад, змочує скло й не змочує парафін. Щоб виміряти ступінь змочування певної поверхні, вчені вимірюють крайовий кут. Якщо кут менший від 90°, то матеріал поверхні є *гідрофільним* (любить воду) і змочується. Якщо кут більший за 90°, то матеріал *гідрофобний* (боїться води) — не змочується.

Переглянь в е-додатку відео змочування і незмочування тіл (9.2).

Чому вода піднімається в капілярах? У природі часто зустрічаються тіла, пронизані численними дрібними капілярами (від лат. *capillaris* — волосяний) — вузькими каналами довільної форми. Таку структуру мають папір, дерево, ґрунт, багато тканин і будівельних матеріалів. Рідина, яка змочує капіляр, втягується в нього, піднімаючись на досить велику висоту (мал. 9.5, а). У вузеньких капілярах сила викривлення поверхні на межі дотику рідини і стінки поширюється на всю поверхню рідини. За рахунок цього викривлення створюється додаткова сила, яка діє на рідину. Так піднімаються волога та поживні речовини в стеблах рослин, волога у ґрунтових капілярах. Якщо рідина не змочує капіляр, то вона в капілярі опускається (мал. 9.5, б). Чим меншим є радіус капіляра, тим більша висота підняття (або опускання) рідини (мал. 9.5, в).



Мал. 9.5

Переглянь в е-додатку анімаційну модель підняття рідини в капілярах (9.3).

vse.ee/cnif

ДУМАЙ

1 Які властивості має поверхневий шар рідини?

2 Що змушує рідину зменшити свою площу вільної поверхні?

3 Прокоментуй прислів'я: як з гусака вода, вийти сухим з води, носити воду в решеті. Чи дійсно можна вийти з води сухим? Що для цього потрібно?

4 Чому волоски пензлика злипаються після того, як його виймають із води?

5 Де капілярні явища зустрічаються в природі та техніці?

6 Чому розплавлений жир плаває на поверхні води у вигляді сплюснутих кульок?

ДІЙ

ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

Виконуй досліди з дотриманням правил безпеки життєдіяльності!

1 Дослідúй поверхневий натяг рідини. *Обладнання*: склянка з водою, пластикова картка, монети. Перевір, чи справді можна утримати монети (мал. 9.6). Запропонуй спосіб визначення сили поверхневого натягу.



Мал. 9.6

2 **З'ясуй, яка рідина має більший поверхневий натяг — вода чи спирт (мал. 9.7). *Обладнання*: дві монети, піпетка, вода та спирт.**

Перевір свій результат за відео в е-додатку (9.4).

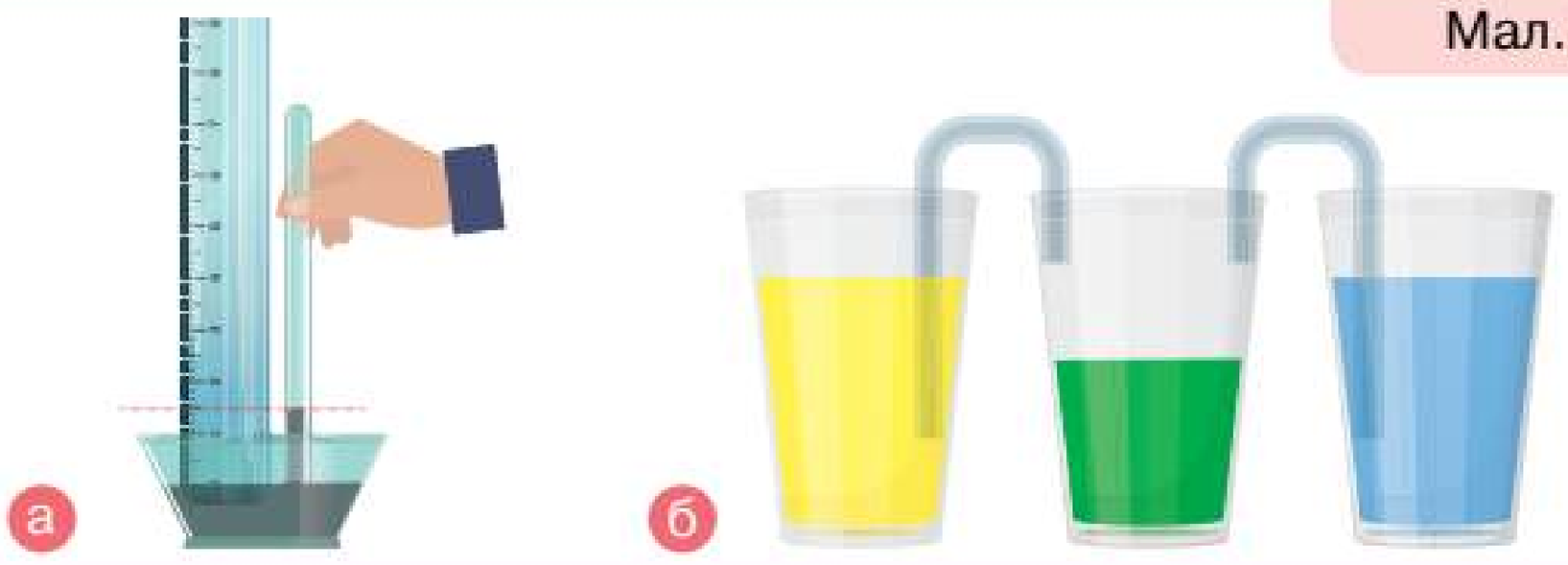
3 **Дослід́и вплив мила на поверхневий натяг. *Обладнання*: миска із водою, чорний мелений перець (або мелена кава), мило (або миючий засіб).**

4 **Дослід́и капілярні явища. *Обладнання*: а) посудина з водою, трубочки різного діаметра, лінійка (мал. 9.8, а); б) пористий папір, склянки з водою, фарба (мал. 9.8, б).**



Мал. 9.7

Мал. 9.8



ОПРАЦЮЙ ІНФОРМАЦІЮ

Візьми участь у груповій роботі

1 **Об'єднайтесь у групи та розподіліть запитання (а–в) для пошуку інформації. Запитання: а) як поверхнево-активні речовини впливають на навколишнє середовище; б) у яких випадках капілярні явища відіграють позитивну роль, а у яких — негативну; в) яке практичне використання гідрофобних і гідрофільних речовин.**

2 **Об'єднайтесь у групи. Виконайте досліди із мильними бульбашками (е-додаток, 9.5).**

ОЦІНИ СЕБЕ

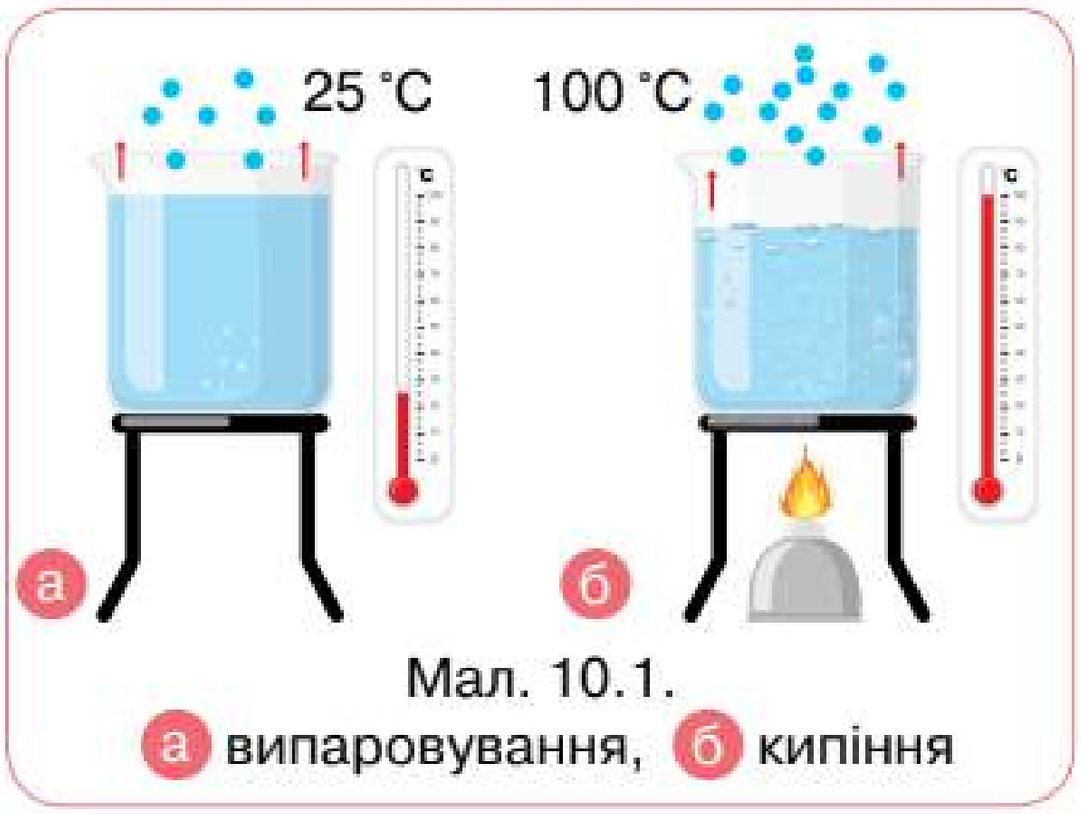
Виконай у е-додатку завдання для самооцінювання (9.6).

§ 10. ДОСЛІДЖУЄМО ПАРОУТВОРЕННЯ: ВИПАРОВУВАННЯ І КИПІННЯ



ДОСЛІДЖУЙ

Порівняй малюнки, на яких зображено процес випаровування (мал. 10.1, а) та процес кипіння (мал. 10.1, б) води. Спробуй самостійно, спираючись на свій життєвий досвід та знання, отримані на уроках природничих курсів, розподілити твердження (1–10) на ті, що описують випаровування, і ті, що стосуються кипіння.



Мал. 10.1.
а випаровування, б кипіння

1. Пара утворюється лише з вільної поверхні.
2. Пара утворюється за будь-якої температури.
3. Пара утворюється в усьому об’ємі рідини.
4. Пара утворюється лише за нагрівання до певної температури.
5. Утворюються бульбашки.
6. Пароутворення відбувається інтенсивно.
7. Пароутворення відбувається повільно.
8. Це штучний процес.
9. Це природний процес.
10. Для цього процесу потрібне зовнішнє джерело енергії.

Випаровування	Кипіння

Перевір свої відповіді за матеріалом параграфа.

ДІЗНАВАЙСЯ

У чому особливість процесу випаровування? Процес перетворення рідини на пару — це пароутворення, яке може відбуватися двома способами — випаровуванням і кипінням. Перетворення пари на рідину — це конденсація.

Хоча переважна частина молекул у рідині і газі беруть участь у локалізованих рухах — коливаннях або перескоках, і певна кількість молекул рухається вільно (поступально). Про це свідчить дифузія, бо тільки вільні молекули можуть брати у ній участь. Саме ці вільні молекули можуть подолати притягання сусідніх молекул і вилетіти з рідини (мал. 10.1, а). Молекули, що вилетіли з поверхні рідини, утворюють над нею пару — відбувається процес випаровування.

Швидкість випаровування залежить від кількох причин. У цьому ти можеш переконатися самостійно, виконавши досліди, описані в кінці параграфа. Пояснити ці особливості можна на основі молекулярно-кінетичного вчення про будову речовини (табл. 10.1).

Випаровування (*evaporation*) — перехід речовини з рідкого або твердого агрегатного стану в газоподібний (пару), який відбувається на вільній поверхні рідини.

Таблиця 10.1

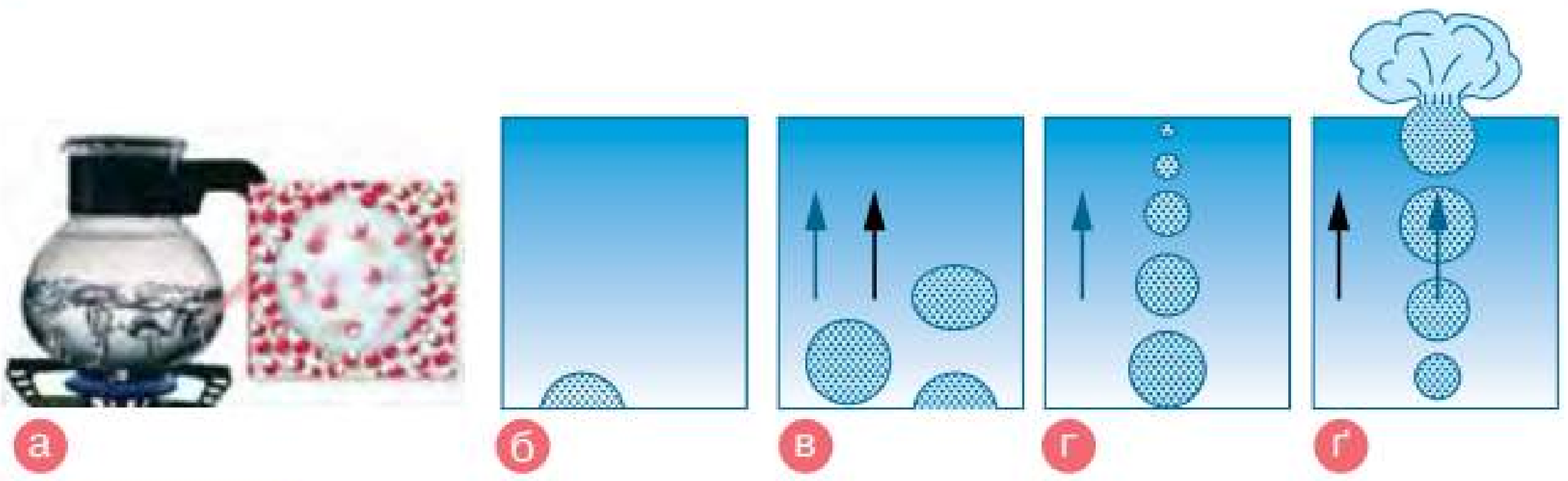
Чинники, що впливають на випаровування	Пояснення
Випаровування відбувається за будь-якої температури	Деяка кількість молекул, які рухаються швидко і мають достатню енергію, щоб подолати сили притягання, є в рідині за будь-якої температури
Рідина випаровується швидше за вищої температури	Що вища температура рідини, то більшою є кількість молекул, які швидко рухаються і можуть подолати сили притягання навколишніх молекул і вилетіти з поверхні рідини
Швидкість випаровування залежить від різновиду рідини	Швидше випаровується та рідина, молекули якої притягуються одна до одної з меншою силою. Адже в цьому разі подолати притягання і вилетіти з рідини може більша кількість молекул
Швидкість випаровування рідини залежить від площі її вільної поверхні	Це пояснюється тим, що рідина випаровується з вільної поверхні речовини, і що більша площа вільної поверхні рідини, тим більше молекул одночасно вилітає з неї в повітря
Швидкість випаровування залежить від наявності й швидкості потоків повітря та його вологості	З переходом молекул із рідини в пару одночасно відбувається і зворотний процес. Безладно рухаючись над поверхнею рідини, частина молекул, що її залишили, знову в неї повертаються. Тому рідина випаровується швидше під час вітру, який відносить молекули пари, і поверхня над рідиною не насичена великою кількістю водяної пари

Внутрішня енергія рідини, яка випаровується, зменшується. Це пояснюється тим, що під час випаровування з рідини вилітають найшвидші молекули, і середня швидкість решти молекул рідини стає меншою, отже, і середня кінетична енергія молекул, що залишаються в рідині, зменшується. Тому, якщо немає припливу енергії до рідини ззовні, то, випаровуючись, вона охолоджується. Виходячи з води навіть у спекотний день, ми відчуваємо холод. Вода, випаровуючись із поверхні нашого тіла, забирає від нього певну кількість теплоти.

Якщо процес випаровування відбувається повільно, то зниження температури майже не відбувається, бо рідина отримує тепло від навколишнього повітря.

У чому особливість процесу кипіння? За певної температури (температури кипіння) рідини починають інтенсивно випаровуватися не лише з вільної поверхні, а й в усіх їх шарах. Це явище називають *кипінням*.

Кипіння (*boiling*) — перехід рідини в пару, який характеризується інтенсивним випаровуванням рідини не тільки з її вільної поверхні, а й у шарах рідини.



Мал. 10.2

vse.ee/cnig

Переглянь в е-додатку анімаційну модель процесу кипіння (10.1).

Розглянемо процес утворення пари за кипіння рідини (мал. 10.2, а). Кипіння потребує зовнішнього джерела енергії. У природі рідина кипить лише за наявності природних джерел енергії (поблизу вулканічно-активних зон). Нагріватимемо воду в посудині. Через деякий час дно і стінки посудини вкриються бульбашками. Це — бульбашки повітря, розчиненого у воді. Під час нагрівання рідини вода випаровується вздовж поверхні бульбашки в її середину. З підвищенням температури бульбашка заповнюється не тільки повітрям, розчиненим у воді, а й водяною парою (мал. 10.2, б). Зі збільшенням кількості водяної пари всередині

бульбашок їх об'єм поступово збільшується, а відповідно збільшується і виштовхувальна (архімедова) сила, що діє на бульбашку. Бульбашки відриваються від поверхні стінок і дна посудини й підіймаються до поверхні рідини. Якщо вода в посудині ще не прогріта повністю і верхні її шари залишаються холодними (мал. 10.2, В), бульбашки стискаються, створюючи характерний шум, який ми чуємо перед початком кипіння рідини. Якщо ж вода прогрілася повністю (мал. 10.2, Г), але її продовжують нагрівати, процес пароутворення всередині бульбашок відбувається інтенсивніше. Кількість пари всередині бульбашок збільшується, відповідно підвищується і тиск пари. Унаслідок цього об'єм бульбашок збільшується, і за певної температури рідини бульбашки починають спливати на поверхню і лопатися, а водяна пара, що містилася в бульбашках, виходить назовні (мал. 10.2, Ґ). Іноді до того ж можна спостерігати туман, який утворюється над посудиною: водяна пара змішується з холодним повітрям і конденсується у вигляді маленьких крапельок. Самої пари, звичайно, не видно.

Під час кипіння температура рідини залишається сталою, оскільки вся теплота, що надається рідині, витрачається на внутрішнє випаровування в шарах рідини.

ДУМАЙ

1. Чим випаровування відрізняється від кипіння?
2. Чому рідина випаровується за будь-якої температури?
3. Від чого залежить швидкість випаровування рідини?
4. Чому для виготовлення парфумів використовують спирт, а не воду?
5. Чому ґрунт просихає швидше у вітряну погоду?
6. Чому в закритій посудині рідина вихолоджується повільніше?

ДІЙ

ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

Візьми участь у груповій роботі

Виконуй досліди з дотриманням правил безпеки життєдіяльності!

Об'єднайтесь у групи і проведіть дослідження чинників, від яких і як саме залежить випаровування рідин.

Група 1. Візьміть три різні рідини — воду, етиловий спирт і рослинну олію та помістіть з піпетки по одній краплі цих рідин на три предметні

скельця. Висловіть припущення, чи одночасно випаруються ці речовини. Зафіксуйте час, за який краплини випаруються.

Рідина	Час, за який крапля випарувалася
Вода	
Етиловий спирт	
Олія	

Група 2. Нанесіть по краплині води на скельця: холодне (із холодильника) і нагріте (можна нагріти в руках або в інший спосіб). Висловіть припущення, чи одночасно випаровується вода на скельцях. Зафіксуйте час, за який краплини випаруються.

Рідина	Час, за який крапля випарувалася
Вода на холодному скельці	
Вода на нагрітому скельці	

Група 3. Нанесіть по краплині води на скельця. Утворіть над одним зі скелець потік повітря (помашіть рукою або скористайтеся вентилятором — але обережно, щоб зовсім не здути краплину). Висловіть припущення, чи одночасно випаровується вода на скельцях. Зафіксуйте час, за який краплини випаруються.

Рідина	Час, за який крапля випарувалася
Вода	
Вода під потоком повітря	

Група 4. Нанесіть по краплині води на скельця. Одну із краплин максимально розподіліть на скельці (щоб її площа була більшою). Висловіть припущення, чи одночасно випаровується вода на скельцях. Зафіксуйте час, за який краплини випаруються.

Рідина	Час, за який крапля випарувалася
Вода з меншою площею	
Вода з більшою площею	

Обміняйтесь результатами дослідів і сформулюйте висновки.

§ 11. РОЗРАХОВУЄМО КІЛЬКІСТЬ ТЕПЛОТИ ЗА КИПІННЯ, КОНДЕНСАЦІЇ

Євгене, я в одній із передач чув, що високо в горах воду можна закип'ятити, не нагріваючи її до 100 °С!

Я теж дивлюся різні передачі, але не всім довіряю. Інформацію потрібно перевіряти.



ДОСЛІДЖУЙ

Пригадай, як змінюється атмосферний тиск зі збільшенням висоти.

Роздивись малюнок 11.1 і співстав з ним інформацію:

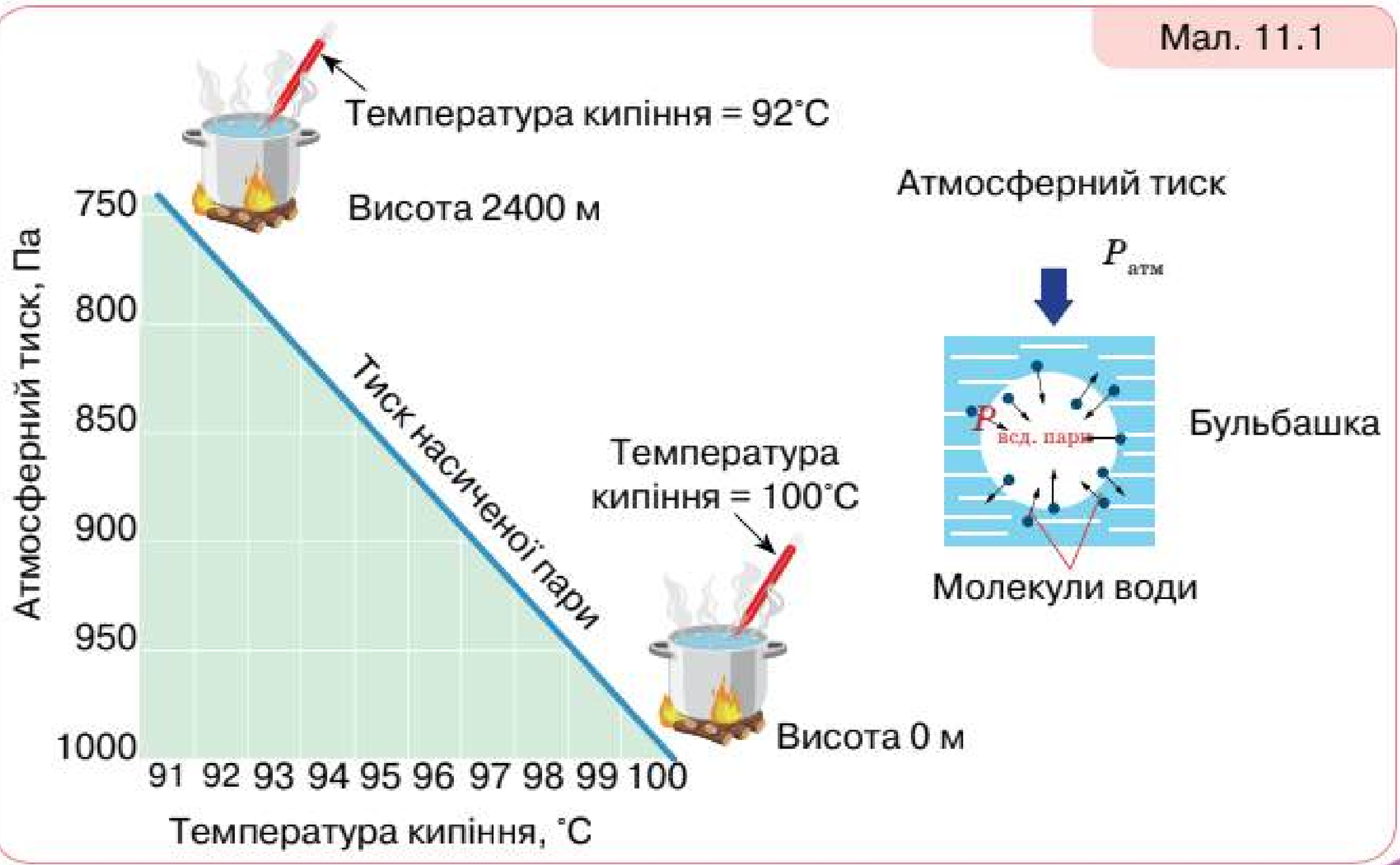
1 — на висоті 2400 м атмосферний тиск менший від нормального атмосферного тиску на 250 Па;

2 — бульбашкам із парою для виходу назовні треба подолати протидію атмосферного тиску;

3 — температура кипіння рідини — це температура, за якої тиск пари рідини дорівнює тиску навколишнього середовища.

Чи достатньо цих даних, щоб стверджувати, що високо в горах воду можна закип'ятити, не нагріваючи її до 100 °С?

Мал. 11.1



ДІЗНАВАЙСЯ

Від чого залежить температура кипіння рідини? Як було з'ясовано у попередньому параграфі, за будь-якої температури у бульбашці є водяна пара, яка чинить певний тиск на її стінки. Що вищою є температура, тим більша кількість пари знаходиться у бульбашці і тим більший тиск цієї пари. Кипіння відбувається за температури, коли тиск пари в бульбашці дорівнює атмосферному тиску.

Температура кипіння (*boiling point*) — це температура, за якої тиск пари рідини дорівнює зовнішньому тиску.

Як уже було з'ясовано, *температура кипіння залежить від зовнішнього тиску*. Зі збільшенням зовнішнього тиску температура кипіння рідини підвищується, зі зменшенням — знижується. Отже, рідину можна закип'ятити, не нагріваючи її; достатньо *знизити тиск над рідиною, і вона закипить*. Цю властивість рідин широко використовують у різних технологічних процесах, наприклад, під час цукроваріння сироп кипить при незначній температурі завдяки зниженому тиску, і цукор не пригоряє. Для прискорення варіння вигадали «швидковарки» — посудини зі щільно припасованою кришкою, у якій за допомогою регульованого запобіжного клапана під час нагрівання досягається підвищений тиск, і температура кипіння води сягає 120 °С. Це в 4 рази прискорює процес приготування їжі. У парових котлах, де тиск сягає 15 атм. ($1{,}5 \cdot 10^6$ Па), температура кипіння води майже 200 °С.

Температура кипіння залежить від роду рідини. У таблиці 11.1 наведено температуру кипіння деяких речовин (за нормального атмосферного тиску).

Таблиця 11.1

Речовина	Водень	Кисень	Ефір	Спирт	Вода	Молоко	Ртуть	Свинець	Мідь
$t_{кип}$, °С	–253	–183	35	78	100	100	357	1740	2750

З таблиці видно, що речовини, які за звичайних умов є газами, за достатнього охолодження перетворюються на рідини, що киплять за дуже низьких температур, а речовини, які за звичайних умов перебувають у твердому стані, під час плавлення перетворюються на рідини, що киплять за дуже високої температури.

Переглянь відео в е-додатку (11.1). За даними таблиці 11.1 з'ясуй, яку рідину використано в дослідах. Дізнайся про ефект Ляйденфроста.

Температура кипіння також *залежить від наявності в рідині розчиненого газу*. Якщо довго кип'ятити воду, в такий спосіб видаливши з неї розчинений газ, то повторно за нормального тиску цю воду можна буде нагріти до температури, яка перевищує 100 °С. Таку воду називають *перегрітою*.

Під час кипіння температура рідини не змінюється, оскільки вся теплота, що надається рідині, витрачається на внутрішнє випаровування в усіх її шарах.

Скільки енергії потрібно, щоб закип'ятити 1 кг води? Щоб рідина у процесі пароутворення не змінювала своєї температури, їй треба надавати енергію. Так, щоб випарувати воду масою 1 кг за температури кипіння 100 °С, потрібно $2{,}3 \cdot 10^6$ Дж, а щоб вода випарувалась за температури 35 °С, потрібно $2{,}4 \cdot 10^6$ Дж.

Досліди показують: *кількість теплоти, необхідна для перетворення рідини на пару, залежить від роду рідини*.

Питому теплоту пароутворення позначають літерою L (або літерою r).

Одиницею питомої теплоти пароутворення є *джоуль на кілограм*, $1\ \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$.

Кожна рідина має свою питому теплоту пароутворення. Найчастіше під час розв'язування задач використовують значення питомої теплоти пароутворення за температури кипіння і нормального атмосферного тиску (див. форзац).

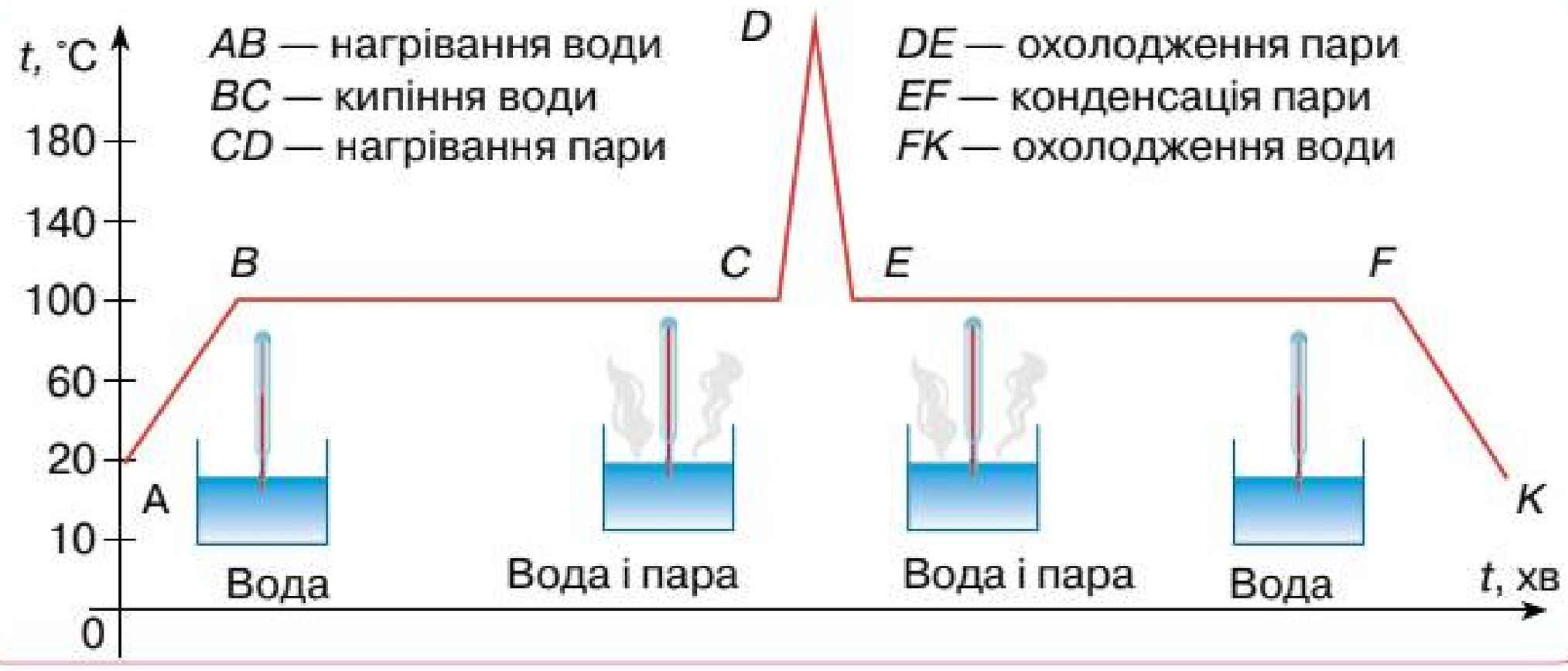
Питома теплота пароутворення (*specific heat of vaporization*) — це фізична величина, що показує, яка кількість теплоти потрібна, щоб перетворити рідину масою 1 кг на пару без зміни температури рідини.

Кількість теплоти, потрібної для перетворення на пару рідини будь-якої маси m, визначають за формулою: $Q_{\text{вип}} = Lm$.

Кількість теплоти, яка виділяється під час конденсації пари, також визначається за цією формулою.

Досліджуємо графіки теплових процесів. Процеси нагрівання, кипіння, охолодження та конденсації можна зобразити графічно. Для цього по осі ординат відкладають значення температури речовини, а по осі абсцис — час, протягом якого триває процес (мал. 11.2).

Мал. 11.2



Проаналізуй графік. Якою була початкова температура води? Яка ділянка графіка відповідає нагріванню води на 80 °С? Яка ділянка відповідає кипінню? А конденсації пари?

Зверни увагу, ділянки графіка, що відповідають процесу нагрівання води та пари, мають різний нахил, який залежить від значення питомої теплоємності речовини. Як відомо, для води це значення дорівнює 4200 Дж/кг · °С, водяна пара має питому теплоємність 2130 Дж/кг · °С. Отже, що більшим є значення питомої теплоємності, то менший кут між відповідною ділянкою графіка і віссю часу.

ДУМАЙ

1. Питома теплота пароутворення води становить 2,3 МДж/кг. Що це означає?
2. Чому опік парою є небезпечнішим, ніж опік окропом?
3. Яку кількість теплоти необхідно передати воді масою 10 кг, узятій за температури кипіння, щоб перетворити її на пару?
4. Чому жирний суп довго не охолоджується навіть тоді, коли його налили в тарілку?
5. Чому випаровування рідин відбувається за будь-якої температури, а їх кипіння — зафіксованої?
6. Що швидше закипить: 1 л води, яку ще не кип'ятили, чи 1 л охолодженої кип'яченої води?

ДІЙ

УЧИСЬ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ЗАДАЧІ

Яка кількість енергії потрібна для перетворення води масою 2 кг, взятої за температури 20 °С, на пару?

Дано:

$m = 2$ кг

$t = 20$ °С

$t_{кип} = 100$ °С

$c = 4200 \frac{Дж}{кг \cdot °С}$

$L = 2,3 \cdot 10^6 \frac{Дж}{кг}$

Q — ?

Розв'язання:

Загальна кількість затраченої енергії: $Q = Q_1 + Q_2$, де Q_1 — енергія, затрачена на нагрівання води від 20 до 100 °С: $Q_1 = cm(t_{кип} - t)$; Q_2 — енергія, затрачена на перетворення води на пару без зміни її температури: $Q_2 = Lm$. Підставивши числові значення величин, дістанемо:

$$Q = 4200 \frac{Дж}{кг \cdot °С} \cdot 2 \text{ кг} \cdot (100 °С - 20 °С) + 2,3 \cdot 10^6 \frac{Дж}{кг} \cdot 2 \text{ кг} \approx$$

$$\approx 5,3 \cdot 10^6 \text{ Дж}.$$

Відповідь: $Q \approx 5,3 \cdot 10^6$ Дж.

РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

1 Скільки потрібно теплоти для випаровування 100 г спирту, взятого при температурі кипіння?

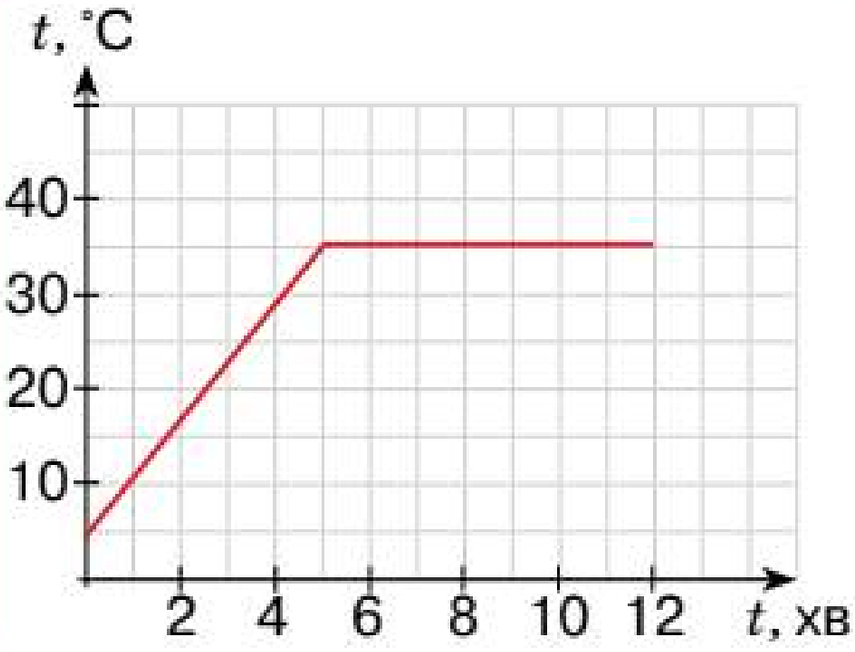
2 Що має більшу внутрішню енергію: вода при температурі 100 °С чи її пара тієї ж маси при тій же температурі?

3 Скільки теплоти виділиться при конденсації 200 г спирту, взятого при температурі кипіння?

4 На малюнку 11.3 зображено графік нагрівання рідини.

а) Яка температура кипіння рідини? Що це за рідина?

б) Скільки часу кипіла рідина?



Мал. 11.3

5 На малюнку 11.4 зображено графіки нагрівання трьох рідин.

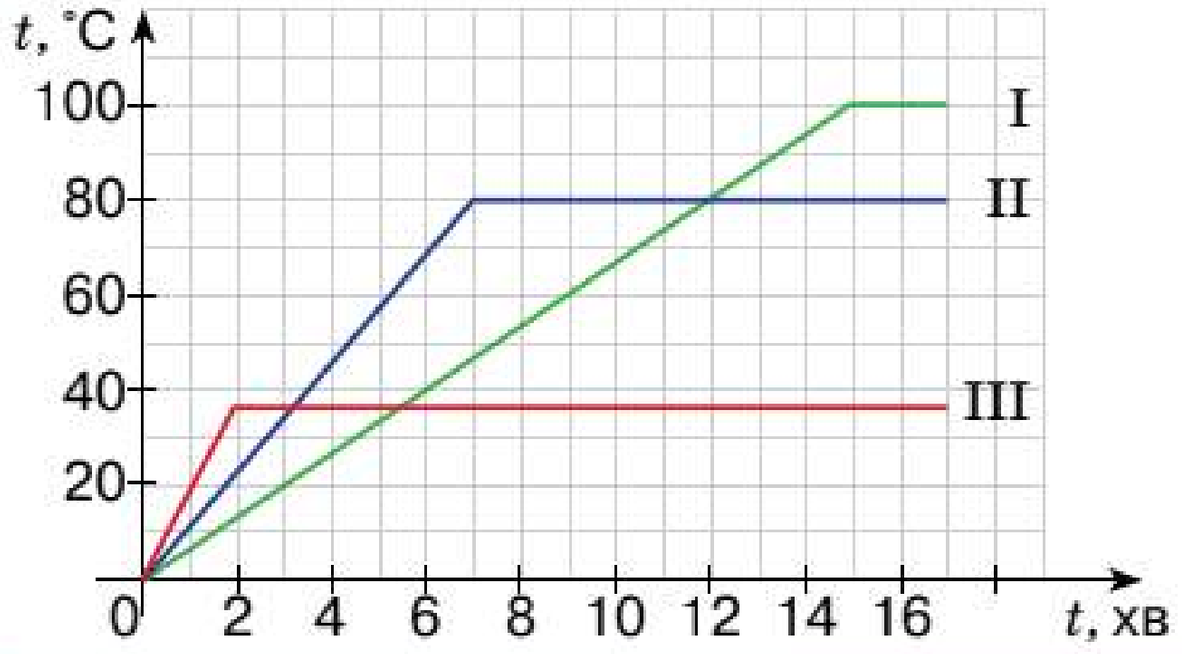
а) Яка температура кипіння другої рідини? Що це за рідина?

б) Через скільки хвилин після початку спостереження закипіла перша рідина?

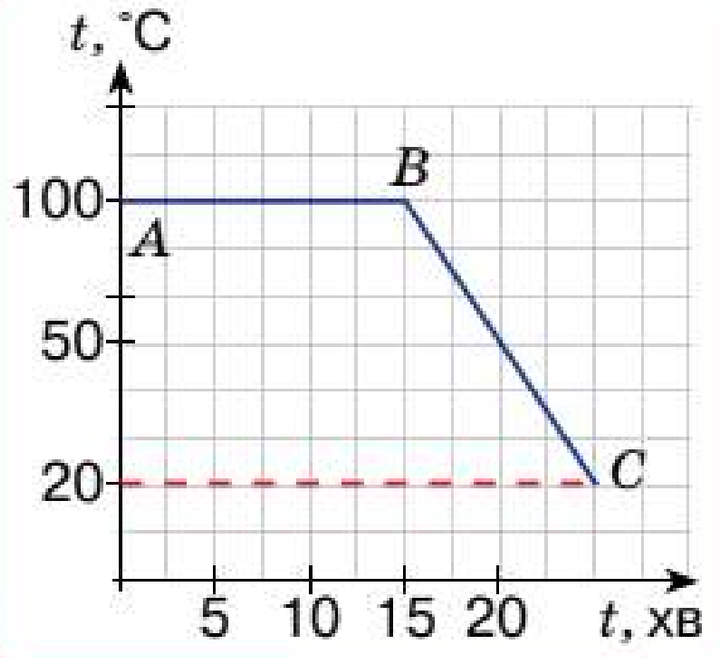
6 На малюнку 11.5 графічно зображено тепловий процес конденсації 1 л водяної пари й охолодження утвореної води.

а) Як змінювалася температура води у процесі конденсації й охолодження?

б) На початку чи в кінці процесу конденсації молекули води мають більший запас кінетичної енергії?



Мал. 11.4



Мал. 11.5

7 Яка кількість теплоти виділиться у процесі конденсації 2 кг водяної пари за температури 100 °С і охолодженні утвореної води до 20 °С?

8* У посудину з водою, взятою при 0 °С, впустили 1 кг пари при 100 °С. Через певний час у посудині встановилася температура 20 °С. Скільки води було в посудині? Теплообмін з навколишнім середовищем відсутній.

9* У воду за температури 40 °С впустили 100 г пари, температура якої 100 °С. Теплова рівновага настала за температури 90 °С. Якою була маса холодної води?

ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

Виконуй досліди з дотриманням правил безпеки життєдіяльності!

Візьми одноразовий шприц без голки, приблизно наполовину заповни його теплою водою. Щільно затули отвір пальцем. Повільно витягай поршень та спостерігай за кипінням води (мал. 11.6). Поясни спостережуване явище.



Мал. 11.6

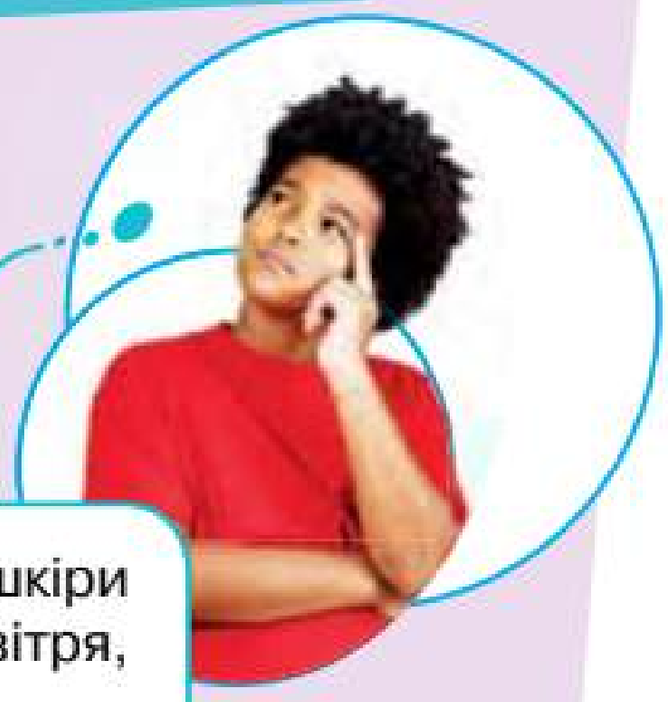
ОЦІНИ СЕБЕ

Виконай в е-додатку завдання для самооцінювання (11.2).

§ 12. ВИМІРЮЄМО ВОЛОГІСТЬ ПОВІТРЯ



Ганно, чи звернула ти увагу, що зараз, в осінньо-зимовий період, шкіра пересихає більше, ніж влітку? Чому так?



Так, дійсно. Думаю, що на сухість шкіри впливає не лише температура повітря, а ще його вологість.

ДОСЛІДЖУЙ

Досліди вологість повітря у кімнаті. Поклади завчасно пластикову пляшку (0,5 л) з водою у морозильну камеру приблизно на 30 хв. Дістань пляшку і постав її на стіл. На холодній поверхні пляшки з'являться краплини води. Це конденсується водяна пара, що є у повітрі кімнати. Якщо пляшка швидко висихає — вологість недостатня; з'явилися великі краплі води, що стікають, — вологість надлишкова; поверхня пляшки залишилася «спітнілою» і по ній не потекли краплі — вологість помірна.

ДІЗНАВАЙСЯ

Дізнаємось про насичену і ненасичену водяну пару. Розглядаючи процеси випаровування і кипіння, ми звертали увагу на зовнішні чинники: наявність вітру, значення атмосферного тиску, площу поверхні рідини, температуру рідини і навколишнього середовища.



Чи однаково, на твою думку, відбуватимуться процеси пароутворення у закритій і відкритій посудинах?

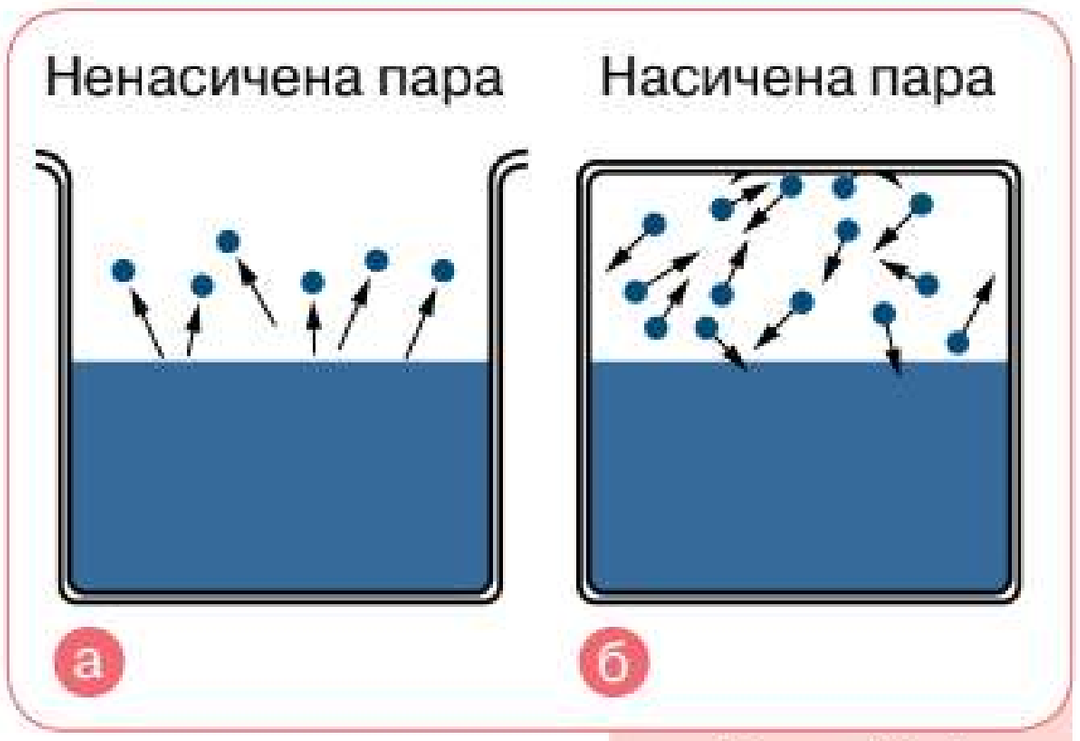


Розмірковую так: якщо ми маємо дві однакові посудини з однаковою кількістю води, які нагріваються однаково, то однаковою буде і кількість молекул води, енергії яких буде достатньо, щоб «розірвати» зв'язки в рідині й перейти у газуватий стан.



Я продовжу. Процеси випаровування супроводжуються й процесами конденсації. У відкритій посудині кількість молекул, що випаровуються, поширюється у простір безперешкодно, у закритій — цей простір обмежений. Тому в просторі над рідиною в закритій посудині водяної пари буде більше. І я думаю, що оскільки простір обмежений, то він зможе вмістити певну кількість водяної пари.

У відкритій посудині випаровування переважає над конденсацією (мал. 12.1, а). У закритій посудині процеси випаровування та конденсації відбуваються одночасно і в рівній мірі (мал. 12.1, б). У просторі над рідиною в закритій посудині утворюється так звана *насичена пара* — максимально можлива кількість пари у заданому об'ємі. Така насичена пара відображає концентрацію вільних молекул рідини, які беруть участь у дифузії (поступальному русі). Зрозуміло, що її густина (концентрація) визначається речовиною та температурою і не залежить від тиску. Відповідно, над відкритою посудиною пара *ненасичена*.



Мал. 12.1

Дізнаємось про вимірювання кількості водяної пари в повітрі. Водяна пара в повітрі утворюється внаслідок випаровування води з поверхні Світового океану, прісних водойм, листків рослин під час дихання людей і тварин, а також унаслідок випаровування води з ґрунту. За добу з поверхні Світового океану випаровується майже стільки води, скільки її є в руслі річок усього світу. Підраховано, що приблизно за три тисячі років уся сучасна маса води на Землі зазнала випаровування і була парою в атмосфері.

Кількість водяної пари в повітрі визначають за допомогою двох показників — *абсолютної* та *відносної* вологості.

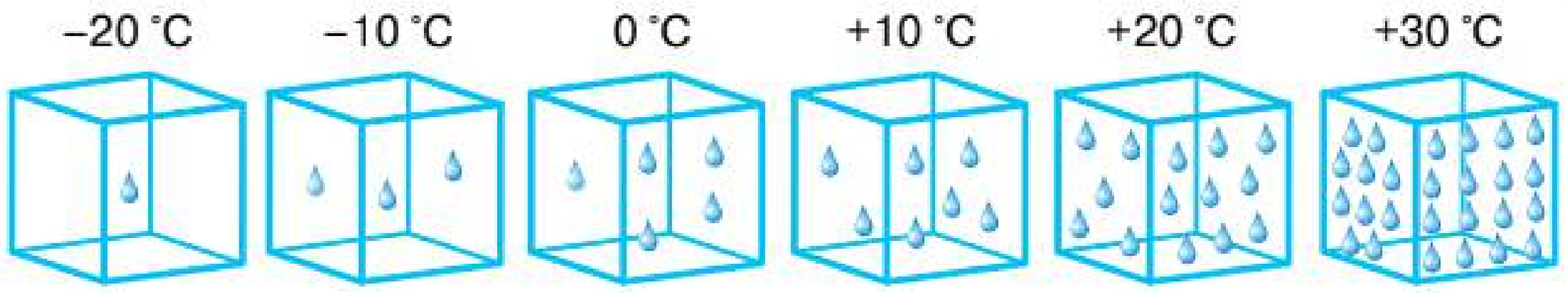
Абсолютна вологість (*absolute humidity*) — це густина водяної пари в повітрі, тобто кількість водяної пари в грамах у повітрі об'ємом 1 м^3.
Відносна вологість (*relative humidity*) — це відношення кількості водяної пари в повітрі до її максимально можливої кількості за певної температури.

Тобто вираз *відносна вологість 40 %* означає, наскільки повітря відрізняється від насиченого за певної температури.



Зверни увагу! Буде пара насиченою чи ні, залежить не лише від об'єму, а ще й від температури і тиску.

Експериментально визначено, що в 1 м³ повітря за різної температури може міститися певна кількість водяної пари (мал. 12.2).



Мал. 12.2

Що нижчою є температура, тим потрібна менша кількість водяної пари до її стану насичення. Якщо температура повітря знижується, то пара, яка в ньому міститься, стає насиченою без додаткового випаровування, що у природі призводить до утворення туману, випадання роси.

Простіше кажучи, точка роси — це температура, за якої відносна вологість стає 100 %.

Температуру, за якої водяна пара, що міститься в повітрі, стає насиченою, називають **точкою роси** (*dew point*).

Вологість повітря вимірюють спеціальними приладами — психрометром, гігрометром (мал. 12.3).



Мал. 12.3

Як впливає вологість повітря на організм людини? Вологість повітря є одним із найважливіших параметрів атмосфери, що визначає погоду, а також те, наскільки комфортно почувається людина в даний момент часу.

Від вмісту водяної пари в атмосфері залежить випаровування води організмом людини, що складається в середньому на 67–68 % з води. За одну добу (залежно від роду занять) з поверхні шкіри й легенів людини випаровується майже 2 кг води.

Людина комфортніше почувається, коли температура повітря знаходиться в межах від 18 до 22 °С, а рівень вологості — від 40 до 60 %.

Спека і холод в умовах великої вологості переносяться людиною погано. Узимку за великої вологості людина більше мерзне, й обмороження можуть наступити вже за +4 °С. У спеку за великої вологості піт не може ефективно випаровуватися і знижувати температуру тіла. Це призводить до великих втрат води та порушення терморегуляції організму і перегріву. За високих температур і зниженим вмістом вологості повітряних мас спеку переносити легше.

Некомфортним і навіть небезпечним є і занадто сухе повітря, особливо взимку у приміщеннях. Шкідливість від сухого повітря може збільшити ризик захворювання респіраторними (астма, бронхіт, синусит) і вірусними (грип, пневмонія) хворобами. Тривале перебування у приміщенні із сухим повітрям може призвести до виснаження запасів рідини в організмі: проявляється сухість шкіри обличчя та рук, свербіж в очах.

Кліматичні умови регіонів України різні на півночі і півдні, сході і заході країни, а також відрізняються для літнього та зимового періодів і залежать від кількості опадів, характеристик поверхні і сезонних показників температури повітря. Так, для зимового періоду середні показники вологості зовнішнього повітря для більшості регіонів України коливаються в межах від 84 до 87 %, трохи вище показники відносної вологості повітря через більшу кількість опадів можуть бути в західному регіоні — до 89 %. Влітку відносна вологість зовнішнього повітря знижується і в середньому коливається в межах від 65 до 68 %.

Людський організм може пристосовуватись до зовнішніх кліматичних умов, але для нього є певні межі. Якщо температура повітря сягає до 35 °С — допустимою є відносна вологість 30 %. Якщо вологість буде 65 %, ти відчуватимеш 35 °С вже як нестерпні 47 °С.

Важливе значення має вологість для життєдіяльності тваринного та рослинного світу, для процесів сушіння виробів тощо. Контроль і підтримання необхідної вологості дуже важливі також для зберігання книжок, творів мистецтва, музичних інструментів, харчових продуктів, овочів, фруктів тощо.

Для підтримання необхідної вологості користуються пристроями, які зволожують чи осушують повітря.

ДУМАЙ

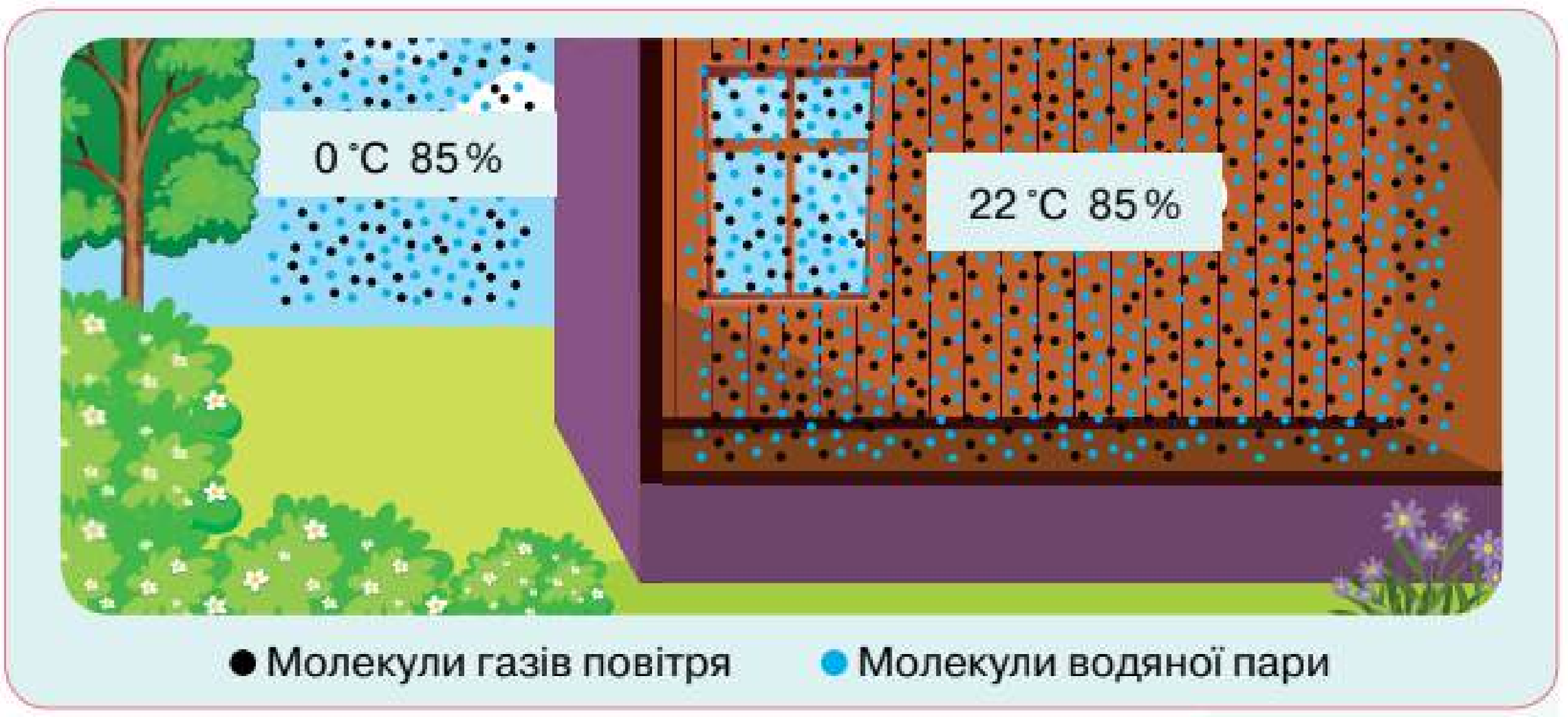
1. Чим відрізняється насичена пара від ненасиченої?
2. Як можна збільшити відносну вологість?
3. Чому людина легше переносить спеку, якщо повітря сухе?
4. Чому запотівають окуляри, якщо людина взимку заходить із вулиці у тепле приміщення?

ДІЙ

РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

1 Відомо, що під час виконання важкої фізичної праці людина виділяє близько 10 літрів поту. Яку масу води можна нагріти від 40 до 100 °С за рахунок енергії, що витрачається на випаровування 10 л поту? Питома теплота випаровування поту — 2,36 МДж/кг. Якби піт не випаровувався, то на скільки градусів нагрілося б тіло людини? Вважати, що питома теплоємність тіла приблизно така сама, як і води, оскільки клітини організму складаються на 80–90 % з води. Для розрахунків візьми масу свого тіла.

2 Роздивись малюнок 12.4. Яке значення температури і вологості повітря в приміщенні та на вулиці? Чому у кімнаті така велика вологість? Що це може бути за кімната? Де комфортніше почуватиметься людина? У який спосіб можна зменшити вологість у приміщенні?



Мал. 12.4

ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

Виконуй досліди з дотриманням правил безпеки життєдіяльності!

1 Виготов гігрометр та оціни вологість повітря в кімнаті.

Обладнання: два термометри, волога ганчірка.

Один термометр накритий мокрою тканиною. Сухий термометр вимірює температуру повітря. Спрогнозуй, яке значення показуватиме вологий термометр. Велика різниця температури, виміряної сухим та вологим термометрами, означає низьку відносну вологість. Невелика різниця означає, що вологість велика. Відсутність різниці означає, що відносна вологість становить 100 % .

Для точного вимірювання вологості скористайся таблицею 12.1.

Таблиця 12.1

Показники сухого термометра, °С	Різниця показів сухого і вологого термометрів, °С										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	100	82	63	45	28	11	—	—	—	—	—
2	100	84	68	51	35	20	—	—	—	—	—
4	100	85	70	56	42	28	14	—	—	—	—
6	100	86	73	60	47	35	23	10	—	—	—
8	100	87	75	63	51	40	28	18	7	—	—
10	100	88	76	65	54	44	34	24	14	4	—
12	100	89	78	68	57	48	38	29	20	11	—
14	100	90	79	70	60	51	42	33	25	17	9
16	100	90	81	71	62	54	45	37	30	22	15
18	100	91	82	73	64	56	48	41	34	26	20
20	100	91	83	74	66	59	51	44	37	30	24
22	100	92	83	76	68	61	54	47	40	34	28
24	100	92	84	77	69	62	56	49	43	37	31
26	100	92	85	78	71	64	58	50	45	40	34
28	100	93	85	78	72	65	59	53	48	42	37
30	100	93	86	79	73	67	61	55	50	44	39
Відносна вологість, %											

Визнач відносну вологість повітря, температура якого 22 °С, якщо різниця сухого і вологого термометрів 6 °С.

Визнач відносну вологість повітря, якщо покази сухого термометра становлять 18 °С, а вологого — 14 °С.

2 Визнач точку роси в кімнаті. *Обладнання*: металева банка з блискучою поверхнею, вода, лід, термометр.

Наповни водою металеву банку на 2/3. Додай кубики льоду, постійно помішуючи, поки на поверхні банки не утвориться конденсат. Вимірюй термометром температуру. Це і є температура точки роси.

ОПРАЦЮЙ ІНФОРМАЦІЮ

Візьми участь у груповій роботі

Об'єднайтесь у групи та дізнайтеся про фізичні чинники формування клімату; пристосування організмів до життя в різних теплових поясах, до зміни температури та вологості повітря.

ОЦІНИ СЕБЕ

Виконай у е-додатку завдання для самооцінювання (12.1).

§ 13. ДОСЛІДЖУЄМО КРИСТАЛІЧНІ Й АМОРФНІ РЕЧОВИНИ



Хотів приготувати смачний пиріг, але датчик температури у духовій шафі зламався. Що робити? За рецептом він має випікатись за температури 185 °С.



Здається, я знаю, як тобі допомогти. Щоб розігріти духову шафу до 185 °С, нам потрібен... Але ти і сам впораєшся, якщо уважно прочитаєш параграф.

ДОСЛІДЖУЙ

Дослідúть та класифікуй ознаки кристалічних і аморфних тіл. Тобі знадобляться: крейда, сіль, цукор, цукрова карамель, парафін, графіт, пластик, алюмінієвий дріт, магніт, лупа, ступка з товкачиком, спиртівка та посуд для нагрівання тіл (тигель), тигельні щипці.

Роздивись у лупу надані речовини. У яких із них видно утворення правильної форми? Подроби у різних ступках: сіль, цукор, крейду, парафін, цукрову карамель. Які речовини подробилися на шматочки правильної форми?

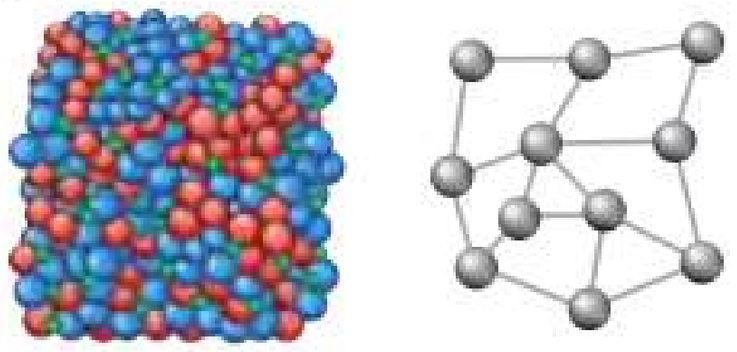
Нагрій на спиртівці цукор, цукрову карамель, сіль, парафін. Спостерігай, які речовини і як починають плавитись.

На основі цих дослідів, а також раніше вивчених властивостей твердих тіл (§ 2) упорядкуй за номерами подані нижче властивості кристалічних або аморфних тіл. Укажи, які із досліджених тобою речовин є кристалічними, а які — аморфними.

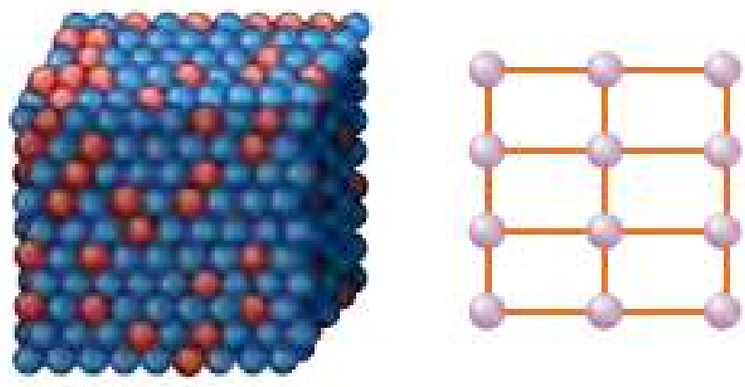
Кристалічні тверді тіла	Аморфні тверді тіла

1. При ударах (дробленні) речовини розпадаються на дрібні кристалики певної форми.
2. При ударах (дробленні) утворюють уламки невизначеної форми.
3. Починають плавитись лише при нагріванні до достатньої для плавлення температури.

4. Пластичні.
5. Тверді.
6. Під час нагрівання відразу розм'якають і поступово перетворюються на в'язку рідину.
7. У розташуванні частинок існує дальній порядок.
8. У розташуванні частинок діє ближній порядок.
9. Частинки речовин не мають певного розташування, схематичне розташування частинок має такий вигляд: →



10. Частинки речовини розташовані в чітко визначеному порядку, схематичне розташування частинок має такий вигляд: →
11. Порядок розташування частинок визначає фізичні властивості речовини.



ДІЗНАВАЙСЯ

Порівняймо особливості кристалічних і аморфних твердих тіл. Тобі уже відомо, що тверде тіло характеризується такими особливостями: сталістю форми та об'єму, коливальним характером теплового руху молекул, більшим абсолютним значенням середньої потенціальної енергії взаємного притягання молекул порівняно з їхньою кінетичною енергією. Розрізняють *кристалічні* (від грец. *krystallos* — лід) й *аморфні* (від грец. *amorphos* — той, що без форми) тверді тіла.

Прикладами кристалів є графіт, кухонна сіль, цукор, алмаз, метали.

Між молекулами кристалів існує значна сила взаємодії, тому кристали зберігають сталими не лише свій об'єм, а й форму. Правильна геометрична форма є істотною зовнішньою ознакою будь-якого кристала.

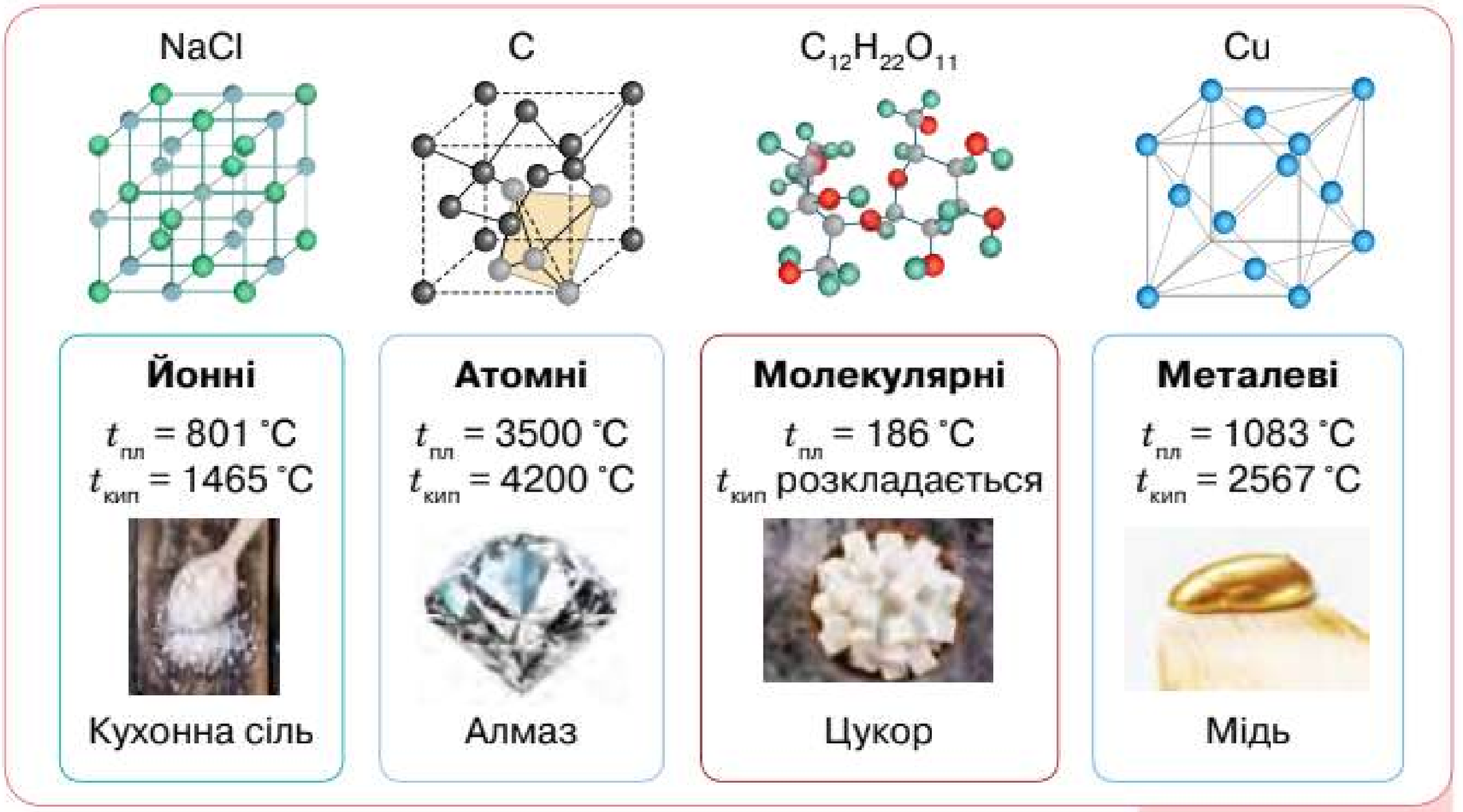
Кристалічні тіла (*crystalline bodies*) — це тверді речовини, атоми або молекули яких здійснюють теплові коливання біля положень рівноваги, що утворюють так звані вузли кристалічних ґрат.

Переглянь в е-додатку анімаційну модель кристалічного тіла (13.1).

vse.ee/cnih

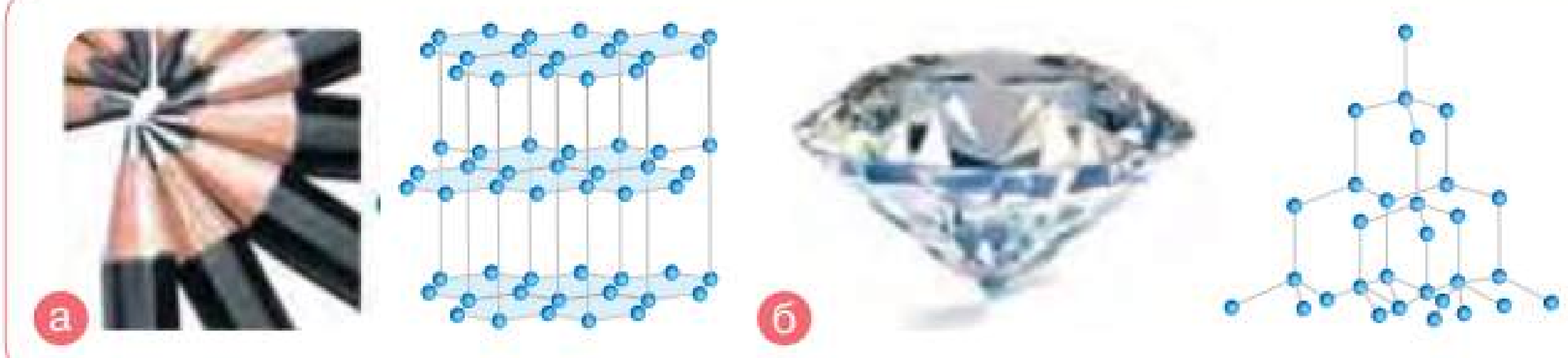
Існують різні види кристалічних ґрат, але головною їхньою особливістю є чітка періодичність розміщення атомів у просторі. Тому кажуть, що в кристалічних тілах існує *дальній порядок* у розташуванні атомів. Залежно від природи частинок, що містяться у вузлах кристалічних ґрат (та,

відповідно, від фізичної природи сил, що діють між ними), розрізняють чотири види кристалів: *йонні*, *атомні*, *молекулярні*, *металеві* (мал. 13.1).



Мал. 13.1

Властивості кристала значною мірою визначаються видом кристалічних ґрат. Пояснимо це на прикладі графіту й алмазу (мал. 13.2).



Мал. 13.2

Обидві речовини складаються з однакових атомів Карбону. Проте кристалічні ґрати графіту мають шарувату структуру (мал. 13.2, а), тобто в кожному шарі атоми Карбону розташовані у вершинах правильних шестикутників. Усередині шару взаємодія атомів доволі сильна, але самі шари слабо пов'язані один з одним. Саме тому кристал графіту легко розшаровується: коли ми пишемо олівцем, на папері залишаються тонкі шари графіту.

У кристалі алмазу атоми Карбону розташовані не лише у вершинах, а й на гранях (мал. 13.2, б). До того ж усі атоми мають міцні зв'язки зі своїми найближчими «сусідами». Саме цими жорсткими зв'язками між атомами й зумовлена унікальна твердість алмазу.

Кристалічні тіла ще поділяють на *монокристали* та *полікристали*. Тіла, що складаються з одного кристала, називають *монокристалами* (від грец. «*моно*» — один). Тіла, що складаються з великої кількості зрощених монокристалів, називають *полікристалами* (від грец. «*полі*» — багато). Прикладами огранованих природних монокристалів є монокристали кварцу, кам'яної солі, ісландського шпату, алмазу, топазу. До полікристалічних речовин належать метали, кераміка, гірські породи.

Найважливішою властивістю будь-якого кристалічного тіла є наявність певної температури плавлення, за якої воно перетворюється на рідину, не розм'якшуючись перед цим.

В аморфних тілах, так само як і у твердих, атоми або молекули коливаються відносно положень рівноваги. Ці положення не мають чіткого розташування у просторі, хоча найближчі «сусіди» й зберігають деякий порядок у розташуванні, який називають *ближнім порядком*. Прикладами аморфних тіл є смола, скло, бурштин, парафін, пластик.

Аморфні тіла (*amorphous bodies*) — це тверді речовини, які не мають дальнього порядку в розташуванні частинок (атомів, молекул, йонів) і не утворюють кристалічних ґрат, однак ближній порядок в таких речовинах існує.

Аморфні тіла мають певні особливості. На відміну від кристалів, аморфні тіла розбиваються на частини довільної форми. Наприклад, розглядаючи під мікроскопом товче не скло, ми не помітимо шматочків, що мають правильну геометричну форму. Ще однією характерною ознакою аморфних тіл є їхня текучість. З підвищенням температури аморфні тіла поступово розм'якшуються, перетворюючись на в'язку рідину. У цьому виявляється їхня істотна відмінність від кристалічних тіл: аморфні тіла не мають певної температури плавлення. Ще однією особливістю аморфних тіл є їхня пластичність.

Досліджуємо плавлення кристалічних тіл. Найважливішою властивістю будь-якого кристалічного тіла є наявність деякої фіксованої температури плавлення, за якої воно перетворюється на рідину, не розм'якшуючись перед цим. Щоб розплавити кристалічне тверде тіло, треба спочатку його нагріти до певної температури.

Сили взаємодії між атомами в кристалічних ґратах різних твердих тіл не однакові, тому одні кристалічні тіла плавляться за низьких температур, інші — за високих. Лід, наприклад, плавиться за температури 0 °С, свинець — за 327 °С, олово — за 232 °С, а сталь — за 1500 °С. Тому лід плавиться за кімнатної температури, кусок олова або свинцю можна розплавити в сталевій ложці, нагріваючи її над полум'ям плити, а сталь плавлять у спеціальних печах, де досягають потрібної температури. Речовини тверднуть *за тієї самої температури, за якої плавляться*. Наприклад, вода кристалізується (а лід плавиться) за температури 0 °С, а чисте золото плавиться і кристалізується за 1539 °С.

Переглянь в е-додатку відео кристалізації речовин (13.2).

Бувають випадки, коли кристалічне тіло, яке розплавилось, затвердіє уже у вигляді аморфного тіла. Наприклад, розтоплений цукор переходить з рідкого в напівтвердий пластичний стан, а потім в твердий аморфний або кристалічний стан залежно від температури.

Переглянь в е-додатку відео «олов'яної чуми» (13.3).

До речі, хоча цукор і є кристалічною речовиною, але залежно від співвідношення глюкози і фруктози у його складі його температура плавлення може мати певний інтервал. За 170 °С цукор починає плавитися. За 180 °С сироп стане більш плинним, але все ще є невеликі кристали. За 186 °С цукор повністю розплавиться, утворюючи рідкий однорідний сироп (мал. 13.3).



170 °С 180 °С 186 °С

Мал. 13.3

Якщо нагрівати будь-яке кристалічне тіло, то можна помітити, що його температура підвищується тільки до моменту початку плавлення тіла. За весь час процесу плавлення температура тіла не змінюється, оскільки вся енергія витрачається на руйнування зв'язків між атомами та молекулами. За цієї температури частина тіла перебуває в рідкому, а частина — у твердому стані.

Оскільки в різних речовин атоми й молекули взаємодіють з неоднаковою силою, то для їх плавлення потрібна різна кількість теплоти. Для характеристики енергетичних затрат, пов'язаних із переходом речовини з твердого стану в рідкий, уводять фізичну величину, яку називають питомою теплотою плавлення, позначається λ (читається «лямбда»).

Одиницею питомої теплоти плавлення є *джоуль на кілограм*, $1\ \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$.

Зворотний процес — перехід із рідкого стану в твердий — відбувається за умови втрати рідиною енергії. Якщо під час плавлення тверде тіло поглинає енергію, то

Питома теплота плавлення (*specific heat of fusion*) — це фізична величина, що показує, яка кількість теплоти потрібна для переходу 1 кг речовини із твердого стану в рідкий за температури плавлення.

під час тверднення — навпаки: рідина віддає енергію. Як і у випадку плавлення, для характеристики цього процесу вводять поняття питомої теплоти кристалізації. Її фізичний зміст такий самий, як і питомої теплоти плавлення: це кількість теплоти, необхідна для переходу 1 кг речовини з рідкого стану у твердий за температури кристалізації.

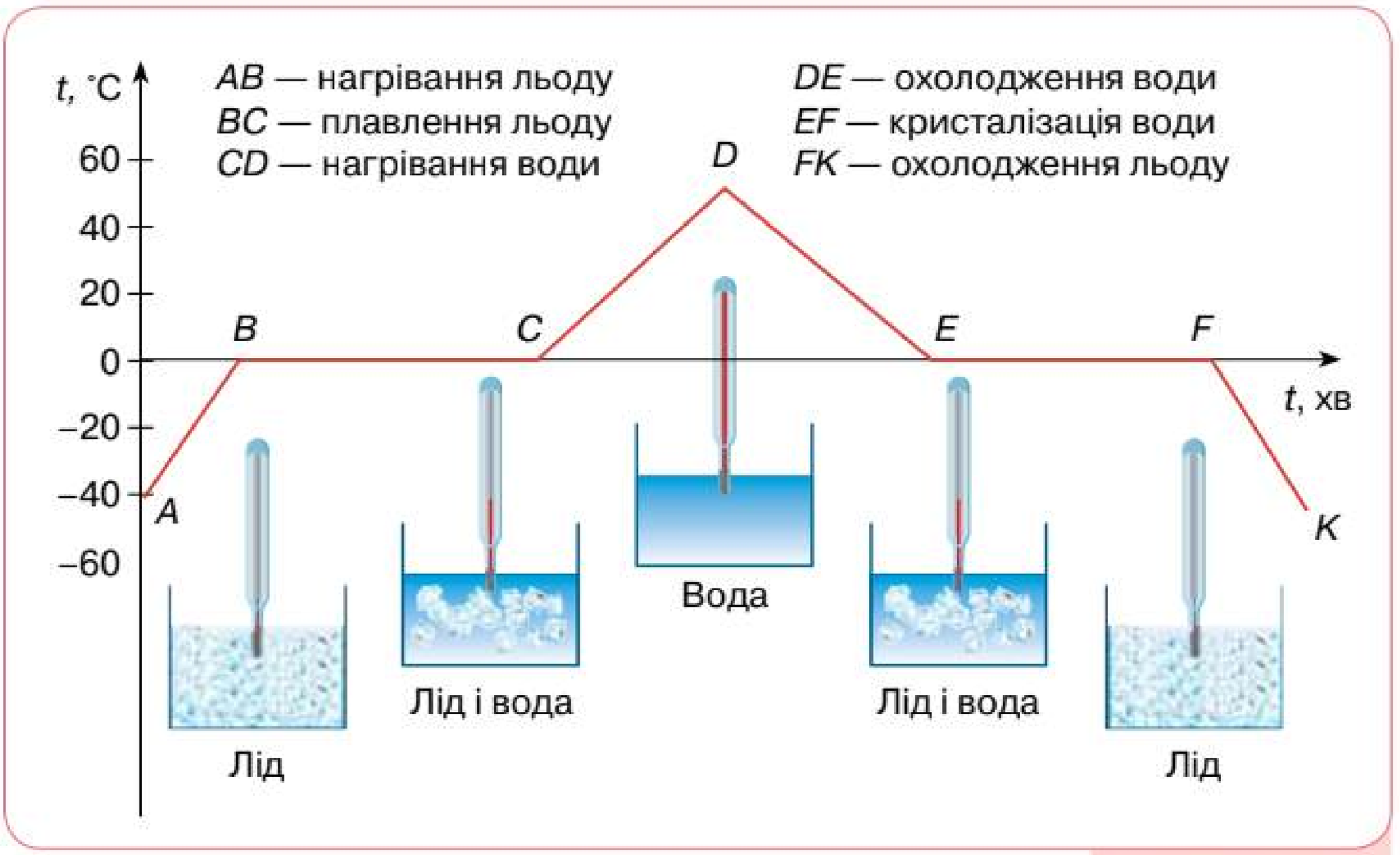
Для переходу 1 кг речовини із твердого стану в рідкий або навпаки — з рідкого у твердий — їй потрібно отримати або віддати однакову кількість теплоти.

Значення температури плавлення і питомої теплоти плавлення окремих речовин наведено на форзацах у таблицях.

Кількість теплоти, необхідну для плавлення твердого тіла (кристалізації рідини), визначають за формулою: $Q_{пл} = \lambda m$.

Процеси нагрівання і плавлення, а також зворотні процеси — охолодження і тверднення — можна зобразити графічно. Для цього по осі ординат відкладають значення температури речовини, а по осі абсцис — час, протягом якого триває процес. Наприклад, на малюнку 13.4 графічно зображено процеси нагрівання і плавлення льоду, нагрівання води та зворотні процеси.

Зверни увагу, ділянки графіка, що відповідають процесу нагрівання льоду та нагрівання води, мають різний нахил, який залежить від значення питомої теплоємності речовини: що більшим є її значення, то менший нахил.



Мал. 13.4

Тобі, можливо, відомо, що комети складаються із льоду. Щоправда, це не той кристалічний лід, до якого ми звикли на Землі. Цей лід аморфний. Приблизно такий лід учені сподіваються знайти у «холодних пастках» на полюсах Місяця — у кратерах, на дно яких ніколи не потрапляють промені Сонця.



ДУМАЙ

1. Чим кристалічні тіла відрізняються від аморфних?
2. Чому шибки в старовинних соборах, що простояли більше 100 років, виявляються товстішими внизу, ніж угорі?
3. Як показати, що скло — тіло аморфне, а кухонна сіль — кристалічне?
4. Схарактеризуй умови плавлення твердих тіл.
5. У чому полягає фізичний зміст питомої теплоти плавлення?
6. Чому під час плавлення кристалічних тіл температура залишається сталою?
7. Чи можна в алюмінієвій посудині розплавити мідь?
8. У чому виявляється закон збереження і перетворення енергії в разі плавлення і кристалізації речовини?
9. На дні посудини намерз лід. У посудину налили воду. Чи зміниться рівень води в посудині після того, як увесь лід розтане?

ДІЙ

УЧИСЬ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ЗАДАЧІ

1. Яка кількість теплоти потрібна, щоб розплавити 0,6 кг алюмінію, взятого за температури 20 °С?

Дано:

$m = 0{,}6$ кг

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

$c = 920 \dfrac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$

$t_{\text{пл}} = 660\ ^\circ\text{C}$

Q — ?

Розв'язання:

Щоб розплавити алюміній, його спершу слід нагріти до температури плавлення. Для цього необхідна кількість теплоти: $Q_1 = cm(t_{\text{пл}} - t)$.

$$Q_1 = 920 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 0{,}6\ \text{кг} \cdot (660\ ^\circ\text{C} - 20\ ^\circ\text{C}) = 353\,280\ \text{Дж}.$$

На процес плавлення витрачається кількість теплоти $Q_2 = \lambda m$.

$$Q_2 = 393\,000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot 0{,}6\ \text{кг} = 235\,800\ \text{Дж}.$$

Таким чином, щоб розплавити 0,6 кг алюмінію, взятого за температури 20 °С, необхідно витратити таку кількість теплоти:
$Q = Q_1 + Q_2 = 353280\ \text{Дж} + 235800\ \text{Дж} = 589080\ \text{Дж} \approx 589\ \text{кДж}.$

Відповідь: $Q \approx 589$ кДж.

2 Яка кількість енергії виділяється, якщо свинцеве тіло об'ємом 100 см^3 кристалізується й охолоджується від температури плавлення до 27 °С?

Дано:
$V = 100\ \text{см}^3$
$t = 27\ ^\circ\text{C}$
$\rho = 11300\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$
$\lambda = 24000\ \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$
$c = 140\ \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$
$t_{\text{пл}} = 327\ ^\circ\text{C}$

Q — ?

СІ
$10^{-4}\ \text{м}^3$

Розв'язання:
Масу тіла визначимо за його густиною і об'ємом:
$m = \rho \cdot V,\ m = 11300\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 10^{-4}\ \text{м}^3 = 1{,}13$ кг. Під час кристалізації виділяється кількість теплоти
$Q_1 = \lambda m.$
$Q_1 = 24000\ \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot 1{,}13\ \text{кг} = 27120$ Дж.
$Q_2 = cm(t_{\text{пл}} - t)$, де температура плавлення свинцю $t_{\text{пл}} = 327\ ^\circ\text{C}$.
$Q_2 = 140\ \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 1{,}13\ \text{кг} \cdot (327\ ^\circ\text{C} - 27\ ^\circ\text{C}) = 47460\ \text{Дж}.$

Таким чином, загальна кількість енергії, що виділяється під час кристалізації і охолодження свинцевого тіла: $Q = Q_1 + Q_2 = 27120\ \text{Дж} + 47460\ \text{Дж} = 74580\ \text{Дж}.$

Відповідь: $Q = 74580$ Дж.

3 У калориметрі міститься вода масою 400 г при температурі 5 °С. До неї влили ще 200 г води з температурою 10 °С і поклали 400 г льоду температурою −60 °С. Визнач температуру, що встановилася в калориметрі. Як зміниться кількість льоду?

Дано:
$m_1 = 400$ г
$m_2 = 200$ г
$m_3 = 400$ г
$t_1 = 5\ ^\circ\text{C}$
$t_2 = 10\ ^\circ\text{C}$
$t_3 = -60\ ^\circ\text{C}$
$c_{\text{л}} = 2100\ \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$
$c_{\text{в}} = 4200\ \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$

t — ?

СІ
0,4 кг
0,2 кг
0,4 кг

Розв'язання:
Проаналізуємо умову задачі.
При охолодженні всієї маси води до 0 °С вона виділить кількість теплоти $Q = c_{\text{в}}(m_1 t_1 + m_2 t_2)$.
$Q = 4200\ \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (0{,}4\ \text{кг} \cdot 5\ ^\circ\text{C} + 0{,}2\ \text{кг} \cdot 10\ ^\circ\text{C}) =$
$= 16{,}8$ кДж. Легко пересвідчитись, що це менше кількості теплоти λm_3, необхідної для плавлення всього льоду.
Значить, $t < 0\ ^\circ\text{C}$. З іншого боку, на нагрівання льоду до 0 °С піде кількість теплоти $Q = c_{\text{л}} m_3 t_3$.
$Q = 2100\ \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 0{,}4\ \text{кг} \cdot (-60\ ^\circ\text{C}) = 50{,}4$ кДж.

Це менше, ніж виділилося б теплоти при замерзанні всієї води. Тому $t > 0$ °C. Отже, ми прийшли до висновку, що $t = 0$ °C. Для охолодження води і нагрівання льоду до цієї температури необхідна кількість теплоти: $Q = 50{,}4$ кДж $- 16{,}8$ кДж $= 33{,}6$ кДж.

Вона може виділитися лише за рахунок замерзання води масою: $\Delta m = \frac{Q}{\lambda} = 0{,}10$ кг. Отже, при встановленні теплової рівноваги маса льоду збільшиться на $\Delta m = 100$ г і буде складати $m = m_з + \Delta m = 500$ г.

Відповідь: $t = 0$ °C; маса льоду збільшиться до 500 г.

ДІЙ

РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

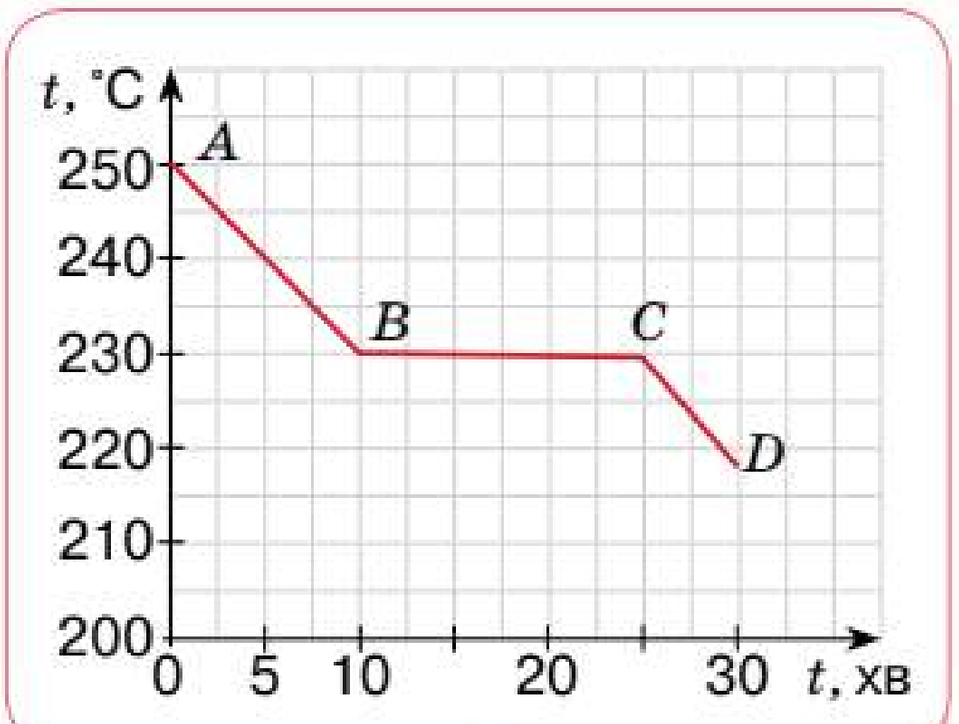
1 Лід і свинець масою 1 кг кожен узято за їхніх температур плавлення. Для плавлення якого із цих тіл потрібна більша кількість теплоти? У скільки разів?

2 Яка кількість теплоти потрібна для плавлення 100 г олова, взятого при температурі 32 °C? Зобрази цей процес на графіку.

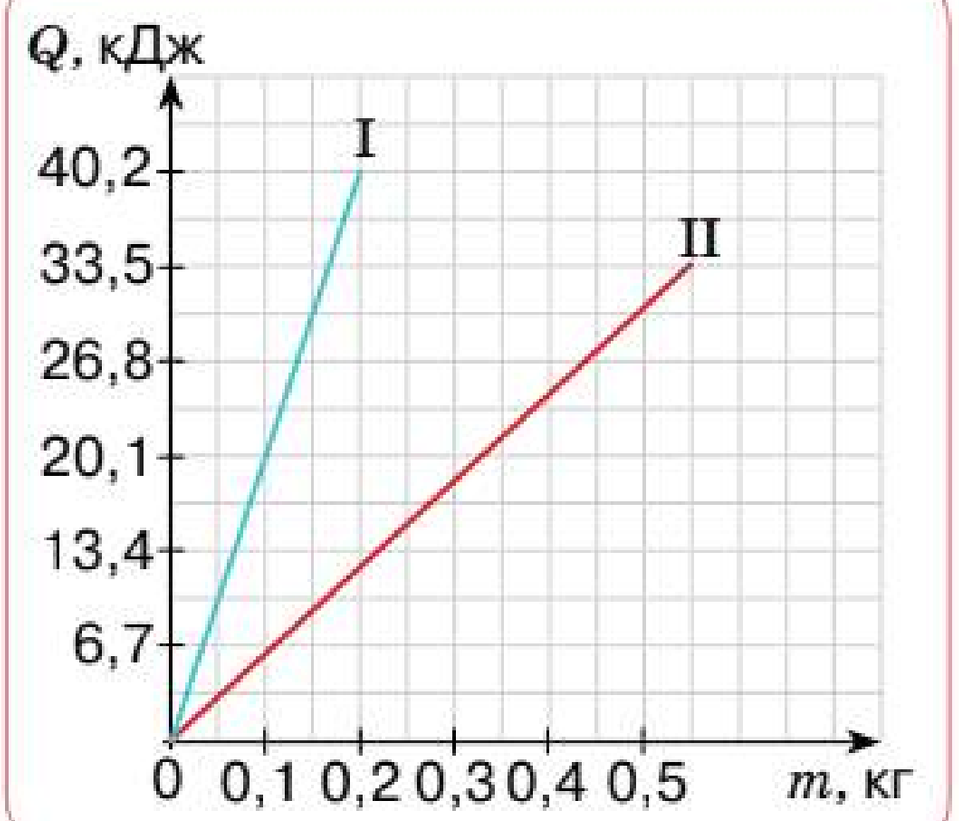
3 Яка кількість теплоти виділиться при твердненні 2 л води, взятої при температурі 10 °C? Зобрази цей процес на графіку.

4 Яка кількість теплоти знадобиться, аби розплавити 100 г льоду, взятого при температурі −5 °C, а потім воду нагріти до 20 °C? Зобрази цей процес на графіку.

5 Який процес зображує графік (мал. 13.5) — плавлення чи тверднення — і якої речовини? Які процеси характеризують частини графіка AB, BC, CD? При якій температурі почалось і при якій температурі закінчилося спостереження? Скільки часу тривало охолодження рідини до температури тверднення?



Мал. 13.5



Мал. 13.6

6 На малюнку 13.6 зображено залежність кількості поглинутої під час плавлення теплоти від маси речовини. Визнач питому теплоту плавлення для кожної речовини. Що це за речовини?

7 Залізна заготовка, охолоджуючись від температури 800 °С до 0 °С, розтопила лід масою 3 кг, взятий при 0 °С. Яка маса заготовки, якщо вся енергія, виділена нею, пішла на плавлення льоду?

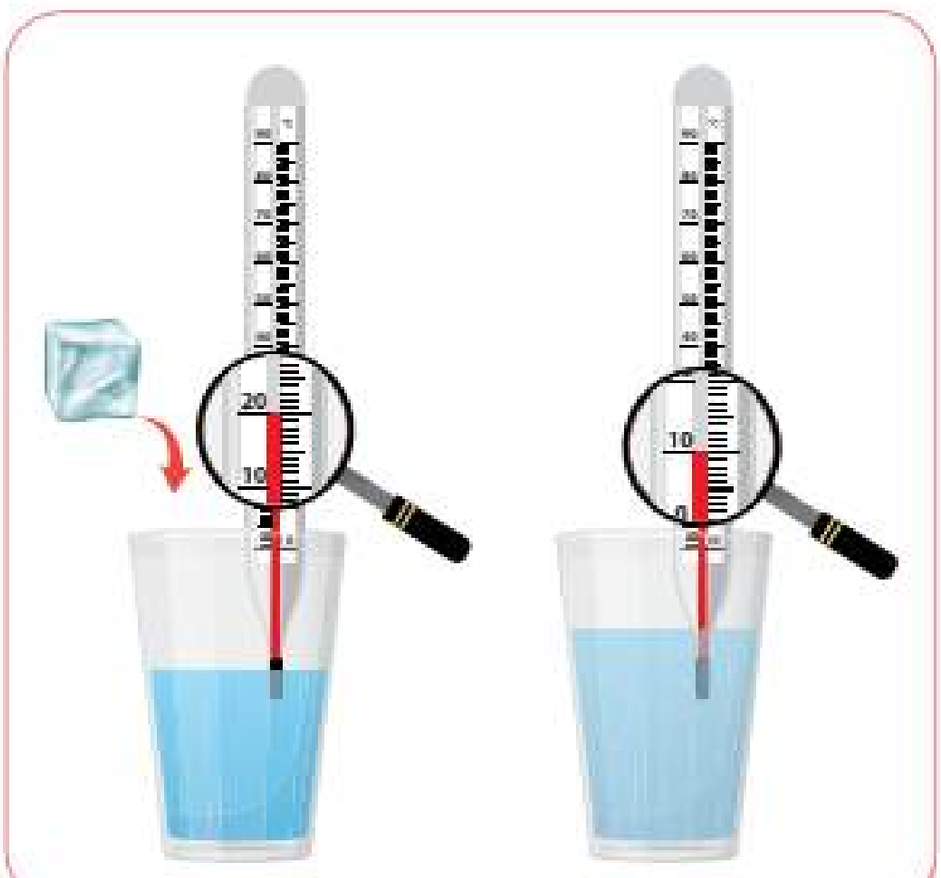
8* У сталевій посудині масою 500 г знаходиться вода масою 800 г при температурі 50 ° С. У воду кинули шматок льоду при температурі −10 °С. Коли встановилася теплова рівновага, залишився нерозплавлений лід масою 50 г. Визнач початкову масу льоду.

9 До якої температури слід нагріти залізний кубик з ребром 1 см, щоб він повністю занурився в лід, температура якого 0 °С? Вважай, що вся теплота, віддана кубиком, витрачається на плавлення льоду.

10 На зимовій дорозі при температурі снігу −10 °С автомобіль протягом 1 хв 6 с буксує, розвиваючи потужність 12 кВт. Скільки льоду розтане при буксуванні автомобіля, якщо вважати, що вся енергія, виділена при буксуванні, йде на нагрівання і плавлення льоду?

11 Залізний метеорит масою 0,05 кг влетів у земну атмосферу із світового простору. Під час руху в атмосфері Землі метеорит розплавився. Скільки виділилося теплоти при терті метеорита об повітря, якщо вважати, що вся виділена теплота пішла на нагрівання і плавлення метеорита? Початкову температуру метеорита прийняти рівною −215 °С.

12 Склади і розв'яжи задачу за малюнком 13.7.



Мал. 13.7

ОЦІНИ СЕБЕ

Виконай в е-додатку завдання для самооцінювання (13.4).

ВИКОНАЙ ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

Виконуй роботу із дотриманням правил безпеки життєдіяльності.

Визнач питому теплоту плавлення льоду. *Обладнання*: калориметр, терези з важками, вода, термометр, мензурка, лід.

1. Визнач масу m_1 внутрішньої посудини калориметра.
2. Налий в калориметр (100–150 г) води m_2.
3. Заміряй початкову температуру води в калориметрі t.
4. Кинь шматочок льоду в калориметр з водою і зафіксуй температуру t_1, яка встановиться після танення льоду.
5. Склади рівняння теплового балансу для тіл, які знаходяться в калориметрі (масу льоду можна знайти, якщо від маси внутрішньої посудини калориметра з водою після закінчення досліду відняти масу калориметра з водою до досліджень).
6. Визнач питому теплоту плавлення льоду і порівняй її з табличним значенням.
7. Поясни причини можливих похибок і запропонуй шляхи їх усунення.

ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

Виконуй досліди з дотриманням правил безпеки життєдіяльності!

1 Поклади шматочки льоду у склянку. Встав у склянку кімнатний термометр. Досліди процес нагрівання і танення льоду, записуючи значення температури через рівні проміжки часу. Побудуй відповідний графік зміни температури. Обчисли кількість теплоти, що поглинається під час плавлення льоду. Дослід можеш записати на відеокамеру.

2 У пластиковому стаканчику змішай однакові кількості снігу (або дрібно наколотого льоду) і солі. Помісти у стаканчик термометр, шкала якого сягає $-25\ ^\circ C$. Спостерігай за показами термометра.

3 Візьми добре зволожену та віджату бавовняну серветку, поклади її на блюдце і постав його в морозильну камеру. Переконайся, що через деякий час серветка затвердне, а через кілька днів висохне.

4 У сильний мороз вихлюпни з посудини окріп. Спостерігай за станом води.

5 Перевір показник температури духової шафи. Закрий (у зручний спосіб) показання шкали температури духової шафи. Поклади 1–2 чайні ложки цукру у посуд для духової шафи. Зафіксуй розташування стрілочки температури, за якої цукор майже розплавився (мал. 13.3, с. 99). Відкрий шкалу і перевір значення показника температури. Чи співпадає вона з отриманим тобою значенням?

§ 14. РОЗРАХОВУЄМО КІЛЬКІСТЬ ТЕПЛОТИ ЗА ЗГОРАННЯ ПАЛИВА ТА ВИЗНАЧАЄМО ККД НАГРІВНИКА

Ми в поході зупинилися на перепочинок й вирішили розвести багаття, але виявилося, що сірників немає. Що робити?

У такому випадку в нагоді стануть знання з фізики і хімії та лайфхаки для туристів.



ДОСЛІДЖУЙ

1 Згрупуй умови виникнення та припинення горіння.

Умови виникнення горіння	Умови припинення горіння

1. Припинити доступ кисню (засипати піском або вкрити піною з вогнегасника).
2. Прибрати паливо (горючу речовину).
3. Нагріти речовину до температури займання.
4. Забезпечити доступ кисню.
5. Забезпечити наявність палива (горючої речовини).
6. Зменшити температуру (залити вогонь водою, яка забирає надлишок теплової енергії та перетворюється на пару).

2 На діаграмі (мал. 14.1) відображено кількість теплоти, яка виділяється під час згорання того чи іншого палива масою 1 кг. Потрібно нагріти однаковий об'єм води. Обчисли, у скільки разів більше (за масою) буде витрачено сухих дров порівняно з природним газом на нагрівання однакової кількості води. Яке паливо теплоефективне?



Мал. 14.1

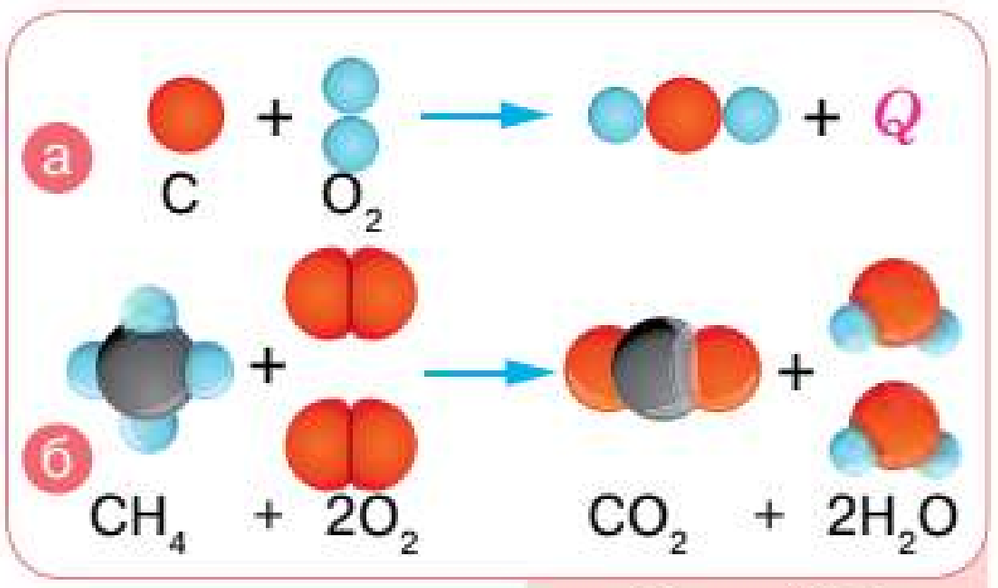
ДІЗНАВАЙСЯ

За яких умов відбувається горіння? Досить часто людина добуває теплову енергію, спалюючи різні речовини. Це пояснюється тим, що горіння супроводжується виділенням теплоти.

Горіння відбуватиметься, якщо є: горюча речовина, окисник і джерело займання. Перебіг горіння залежить від співвідношення кількості горючої речовини й окисника, а також енергетичної спроможності джерела займання.

Горіння (*combustion*) — це фізико-хімічний процес, під час якого відбувається окиснення речовини із виділенням теплоти і світла.

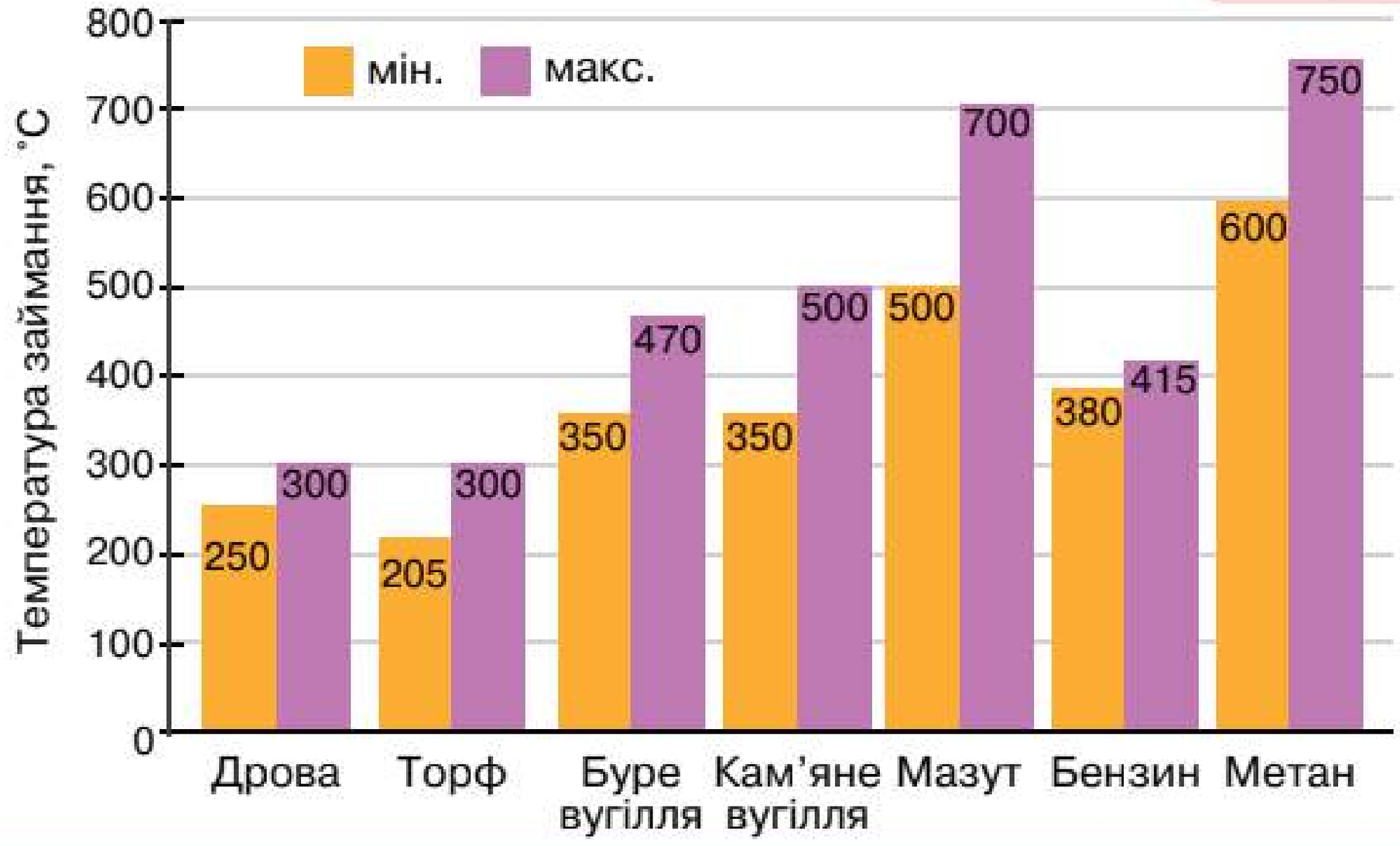
На малюнку 14.2, а зображено загальну схему реакції горіння, пов'язаної з окисненням Карбону. Звичайне паливо (вугілля, нафта, бензин, метан тощо) містить Карбон. Під час горіння атоми Карбону сполучаються з атомами Оксигену, який є в повітрі. Кожний атом Карбону сполучається з двома атомами Оксигену, утворюючи молекулу Оксиду Вуглецю (IV) (вуглекислого газу). Реакція супроводжується виділенням енергії. На малюнку 14.2, б зображено схему горіння метану.



Мал. 14.2

Щоб розпочався процес горіння, потрібне джерело займання. Так, щоб запалити речовину в повітрі, спочатку потрібно нагріти її до певної температури — температури займання. Для різних речовин вона різна (мал. 14.3).

Мал. 14.3



Теплота, що виділяється під час горіння, підтримує температуру речовини, вищу за температуру займання, унаслідок чого горіння підтримується самостійно.

Розрізняють повне та неповне згорання палива. У процесі повного згорання вся хімічна енергія палива переходить у теплову.

Важливо знати, що для припинення горіння речовину, що горить, потрібно охолодити до температури, нижчої від температури займання, або припинити доступ кисню. Ці обидва способи використовують під час гасіння пожежі водою. Коли вода потрапляє на джерело вогню, вона випаровується і відбирає від тіл, що горять, теплоту. Їхня температура різко зменшується. Водяна пара, що утворюється, утруднює доступ кисню, і горіння припиняється.

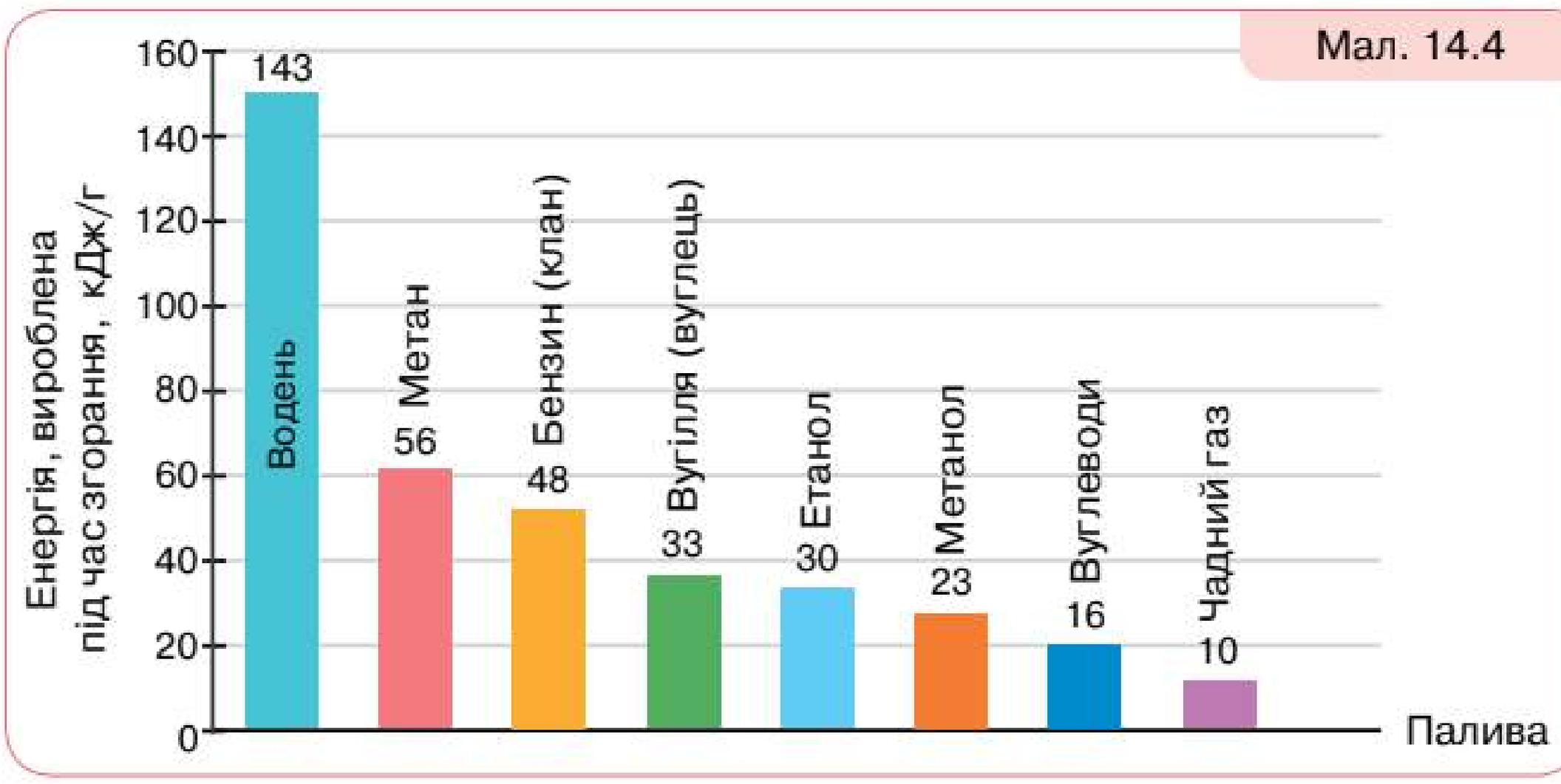
Як обчислити кількість теплоти, що виділяється внаслідок згорання палива? Природно, що різні речовини під час горіння виділяють різну кількість теплоти, тобто горючі речовини можна порівнювати за певною фізичною величиною. Такою величиною є питома теплота згорання.

Питому теплоту згорання палива позначають літерою q (читається «к'ю»), її одиниця $1\ \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$.

Питома теплота згорання палива (*specific heat of fuel combustion*) — це фізична величина, що показує, яка кількість теплоти виділяється в результаті повного згорання палива масою 1 кг.

Є різні види палива: *тверде* (дрова, вугілля, сланці, торф); *рідке* (бензин, гас, дизельне пальне, спирт тощо); *газоподібне* (метан, пропан, бутан, ацетилен та ін.). У таблиці на форзаці наведено значення їх питомої теплоти згорання, на малюнку 14.4 подано значення питомої теплоти згорання деяких хімічних елементів у вигляді діаграми.

Мал. 14.4



Визначаємо коефіцієнт корисної дії нагрівника. Для теплообміну часто застосовують нагрівники, за допомогою яких можна використати теплоту згорання палива: газові пальники, спиртівки, печі. Кількість теплоти, яка утворюється в нагрівнику під час згорання палива, частково використовують за призначенням (нагрівання відповідного тіла), а частина її втрачається (розсіюється в навколишнє середовище, поглинається самим нагрівником тощо).

Кількість теплоти, яка виділяється від згорання будь-якої маси палива, визначається за формулою: $Q_{зг} = q \cdot m$.

Коефіцієнт корисної дії (ККД) нагрівника показує, яку частину становить кількість теплоти, що йде на нагрівання Q, по відношенню до кількості теплоти, що виділяється від згорання палива $Q_{зг}$: $\eta = \frac{Q}{Q_{зг}} \cdot 100\ \%$.

ККД нагрівника характеризує ефективність використання теплоти, отриманої внаслідок згорання палива. Для того щоб підвищити ККД нагрівника, необхідно збільшувати корисну енергію, тобто зменшувати втрати теплоти не за призначенням.

ДУМАЙ

1. Чому горіння є фізико-хімічним явищем?
2. Чому одним сірником можна запалити дерев'яну тріску, але неможливо запалити великий шматок деревини?
3. Чому вода гасить вогонь?
4. Чому ми сильно дмухаємо на полум'я сірника, свічки, коли хочемо його погасити? І чому ми сильно дмухаємо, коли хочемо розвести багаття?
5. Чому полум'я свічки жовтогаряче, а полум'я горілки газової плити синє?
6. Чи можна закип'ятити на відкритому полум'ї воду, налиту в паперову коробку?

ДІЙ

УЧИСЬ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ЗАДАЧІ

1. Яка кількість теплоти виділиться під час згорання 40 кг кам'яного вугілля? Скільки води можна нагріти від 10 до 60 °С, витративши всю теплоту на її нагрівання?

Дано:
$m = 40$ кг
$t_0 = 10\ ^\circ\text{C}$
$t = 60\ ^\circ\text{C}$
$c = 4200 \dfrac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$
$q = 25 \cdot 10^6 \dfrac{\text{Дж}}{\text{кг}}$

Q — ?
$m_{\text{води}}$ — ?

Розв'язання:
Унаслідок згорання палива виділяється кількість теплоти:

$$Q_{\text{зг}} = qm.\ Q = 25 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot 40\ \text{кг} = 1000 \cdot 10^6\ \text{Дж} = 10^9\ \text{Дж}.$$

З формули кількості теплоти $Q = cm(t - t_0)$ визначаємо масу води, враховуючи, що $Q = 10^9$ Дж.

$$m = \frac{Q}{c(t - t_0)} = \frac{10^9\ \text{Дж}}{4200 \dfrac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (60\ ^\circ\text{C} - 10\ ^\circ\text{C})} = 4800\ \text{кг}.$$

Відповідь: $Q = 10^9$ Дж, $m = 4800$ кг.

2 Скільки треба спалити спирту, щоб нагріти 0,5 л води від 20 до 80 °С, якщо для нагрівання води витрачається 60 % теплоти, що виділяється під час згорання спирту?

Дано:
$V = 0{,}5$ л
$t_0 = 20\ ^\circ\text{C}$
$t = 80\ ^\circ\text{C}$
$c = 4200 \dfrac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$
$q = 25 \cdot 10^6 \dfrac{\text{Дж}}{\text{кг}}$
$\eta = 0{,}6$
$\rho = 10^3 \dfrac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

m_2 — ?

СІ
$0{,}5 \cdot 10^{-3}$ м^3

Розв'язання:
Масу води визначаємо за її густиною та об'ємом:

$$m_1 = \rho V.\ m_1 = 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0{,}5 \cdot 10^{-3}\ \text{м}^3 = 0{,}5\ \text{кг}.$$

Враховуючи, що ККД нагрівника показує, яку частину становить кількість теплоти, що витрачається на нагрівання, по відношенню до кількості теплоти, що виділяється від згорання палива, можна записати:

$$\eta = \frac{Q}{Q_{\text{зг}}} = \frac{cm(t - t_0)}{qm_2},\ \text{або}\ \eta q m_2 = cm_1 \cdot (t - t_0).$$

Маса спирту, що згорає: $m_2 = \dfrac{cm_1 \cdot (t - t_0)}{\eta q}$.

$$m_2 = \frac{4200 \dfrac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 0{,}5\ \text{кг} \cdot 60\ ^\circ\text{C}}{0{,}6 \cdot 25 \cdot 10^6 \dfrac{\text{Дж}}{\text{кг}}} \approx 0{,}008\ \text{кг}.$$

Відповідь: $m_2 \approx 0{,}008$ кг.

РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

1 Усі технічні засоби, що використовують паливо, щороку викидають у повітря: 180–200 млн т двоокису сірки; 350–400 млн т вуглецю; 60–65 млн т оксиду азоту; 80–90 млн т вуглеводню. Запиши ці значення викидів в одиницях системи СІ, використавши стандартний

запис числа. Визнач середні значення викидів цих речовин і побудуй стовпчасту діаграму.

2 Яка кількість теплоти виділиться при повному згоранні 100 г спирту?

3 Яку масу кам'яного вугілля було спалено в печі, якщо при цьому виділилося 60 МДж теплоти?

4 При повному згоранні 0,5 кг палива виділяється 22 МДж теплоти. Яка питома теплота згорання палива? Що це за паливо?

5 Яке відношення мас спирту і бензину в суміші, якщо питома теплота згорання цієї суміші 40 МДж/кг?

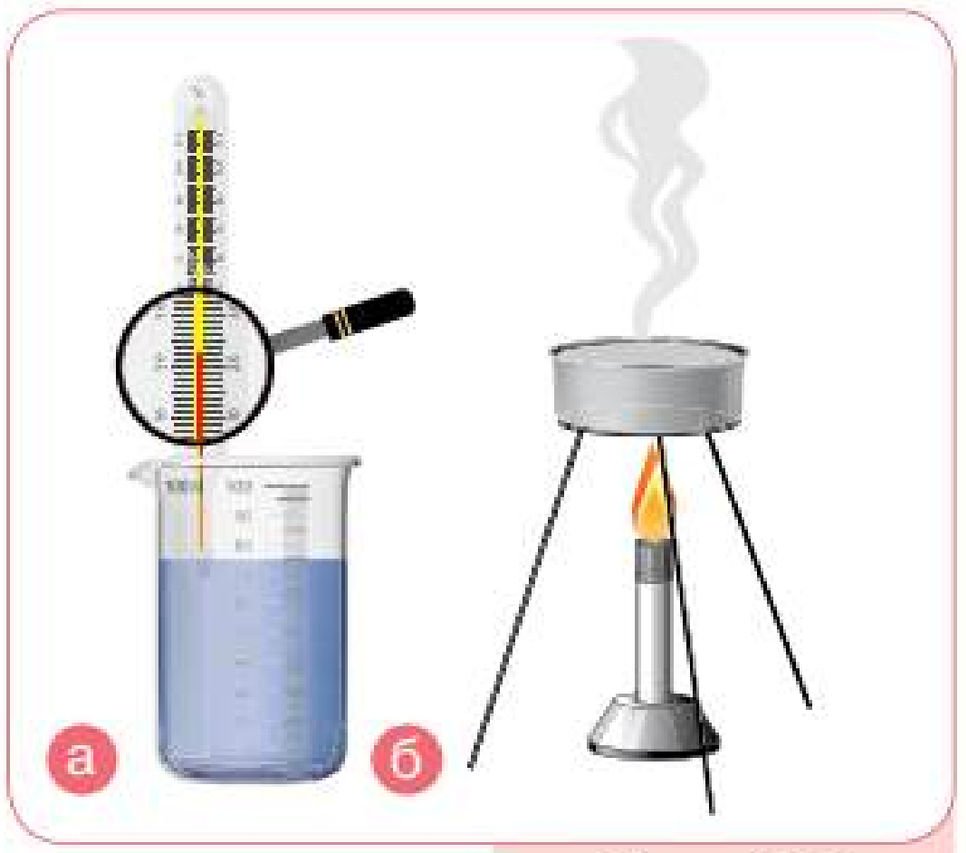
6 На скільки зміниться температура води об'ємом 100 л, якщо вважати, що вся теплота, виділена при згоранні деревного вугілля масою 0,5 кг, піде на нагрівання води?

7 Скільки дров потрібно спалити для того, щоб нагріти 50 л води в залізному котлі масою 10 кг від 15 °С до 65 °С? Втратами тепла знехтувати.

8 Скільки води можна нагріти від 10 °С до 60 °С, якщо на її нагрівання пішла половина енергії, отриманої в результаті згорання 40 кг кам'яного вугілля?

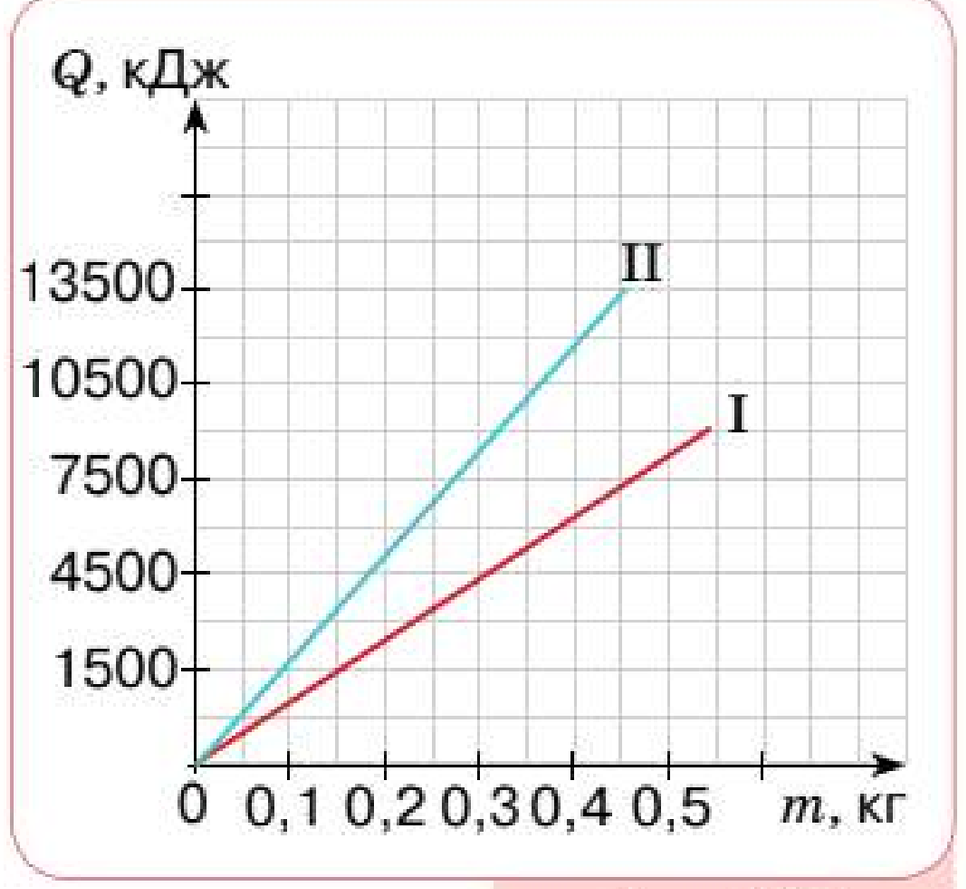
9* В алюмінієвій посудині масою 0,5 кг містяться 2 кг льоду при температурі 0 °С. На скільки градусів нагрілася вода, яка утворилася після танення льоду, якщо було спалено 50 г гасу? ККД нагрівача 50 %.

10 Для визначення питомої теплоти пароутворення воду з мірного циліндра (мал. 14.5, а) перелили в посудину, що нагрівається спиртівкою (мал. 14.5, б), і випарили. Скориставшись малюнками, визнач питому теплоту пароутворення води, якщо для її випаровування знадобилося спалити 10 г спирту. Втратами енергії знехтуй. Відповідь подай у МДж/кг.



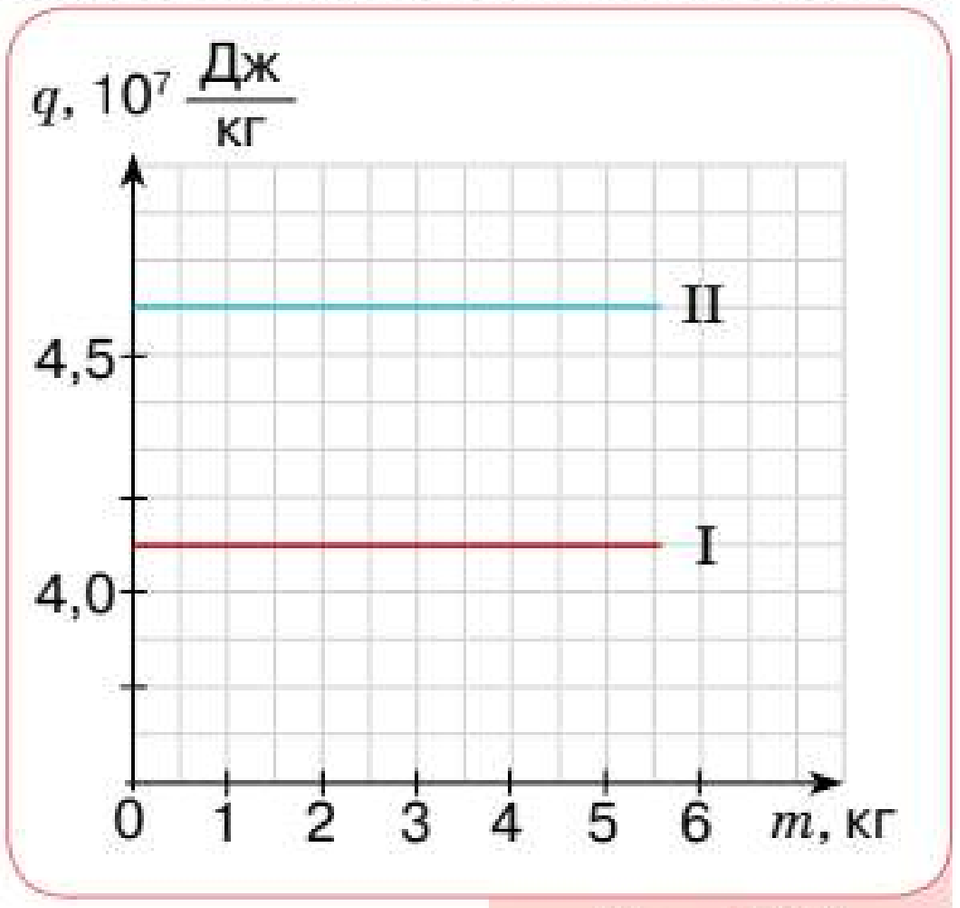
Мал. 14.5

11 На малюнку 14.6 зображено графіки залежності кількості теплоти, що виділяється внаслідок згоран-



Мал. 14.6

ня двох видів палива (I і II), від їхньої маси. Визнач питому теплоту згорання кожного з видів палива. У скільки разів кількість теплоти, що виділяється внаслідок згорання 0,3 кг палива I, менша від кількості теплоти, що виділяється внаслідок згорання 0,3 кг палива II?



Мал. 14.7

12 Використовуючи графіки (мал. 14.7) залежності питомої теплоти згорання палива для двох видів палива (I і II) від їхньої маси, визнач сумарну кількість теплоти, що виділяється внаслідок повного згорання палива I масою 2 кг і палива II масою 3 кг. Що це за види палива?

ВИКОНАЙ ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

Виконуй роботу із дотриманням правил безпеки життєдіяльності.

Визнач ККД нагрівника. *Обладнання*: терези, термометр, алюмінієвий стакан, мензурка з водою, сухий спирт, годинник.

1. Виміряй початкову масу стакана, сухого спирту та початкову температуру води.
2. Перелий в алюмінієвий стакан 200 г води.
3. Нагрівай воду, використовуючи тепло від згорання сухого спирту. Коли температура води досягне 60 °С, загаси спиртівку.
4. Визнач масу сухого спирту, що згорів.
5. Порівняй кількості теплоти: $Q_{зг}$, яка виділялись під час згорання спитру, і $Q_{нагр}$, яка затрачалась на нагрівання води й алюмінієвого стакану.
6. Обчисли ККД нагрівника.

1	2	3	4	5
Початкова температура води, t_1	**Кінцева температура води, t_2**	**Маса води, $m_в$**	**Маса алюмінієвого стакана, $m_а$**	**Початкова маса спирту, m_{c_1}**

Продовження таблиці

6	7	8	9	10
Кінцева маса спирту, m_{c_2}	**Маса спирту, що згорів,** $m_{c_1} - m_{c_2}$	$Q_{\text{нагр}}$	$Q_{\text{зг}}$	**η, %**

ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

Виконуй досліди з дотриманням правил безпеки життєдіяльності!

1 Переконайся, що для горіння потрібний кисень. Об'єднайтесь у групи. Визначте, хто буде накривати запалені свічки посудинами різного розміру, хто фіксуватиме час. Спрогнозуйте, у якому випадку (мал. 14.8, 1–4) вогонь загасне раніше.



Мал. 14.8

2 За яких умов можна підносити паперову смужку в полум'я свічки і вона не загориться. Що для цього потрібно? Перевір на досліді.

3 Визнач питому теплоту згорання парафіну. *Обладнання*: парафінова свічка, штатив, ваги, металевий стакан з водою, мензурка, термометр.

- Виміряй: початкову температуру води, масу свічки, масу металевого (алюмінієвого) стакану.
- Відміряй мензуркою 100 г води і перелий у металевий стакан.
- Нагрівай воду на полум'ї свічки. Дотримуйся правил безпеки при роботі з відкритим вогнем.
- Коли температура води досягне 40 °С, погаси свічку.
- Виміряй масу свічки після горіння. Визнач масу парафіну, що згорів.
- Склади рівняння і визнач питому теплоту згорання парафіну.

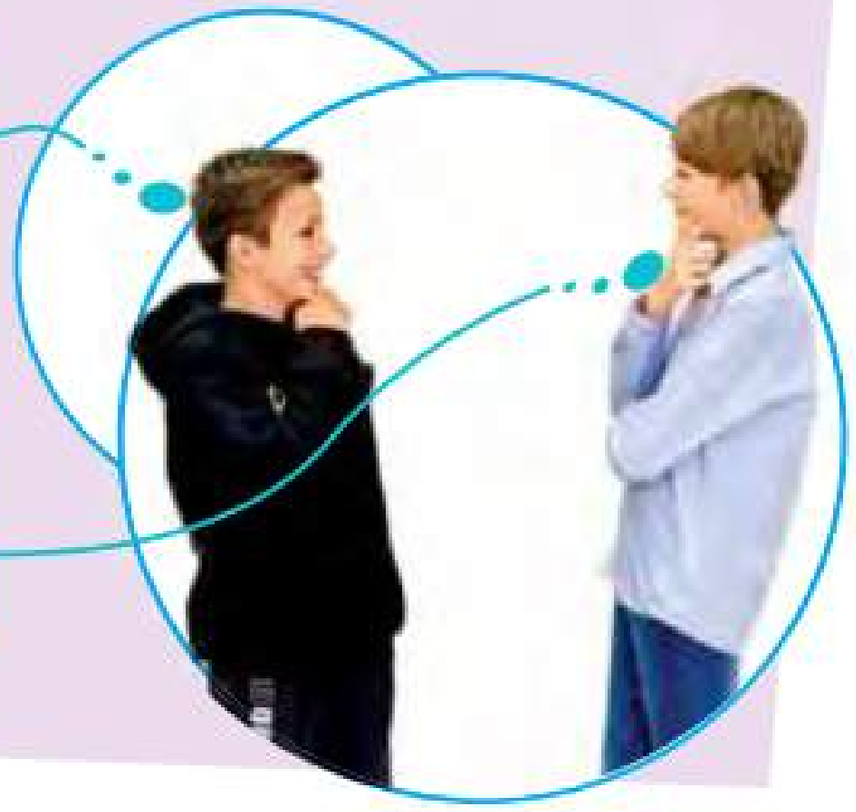
ОЦІНИ СЕБЕ

Виконай в е-додатку завдання для самооцінювання (14.1).

§ 15. ВИКОРИСТОВУЄМО ТЕПЛОВУ ЕНЕРГІЮ ДЛЯ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

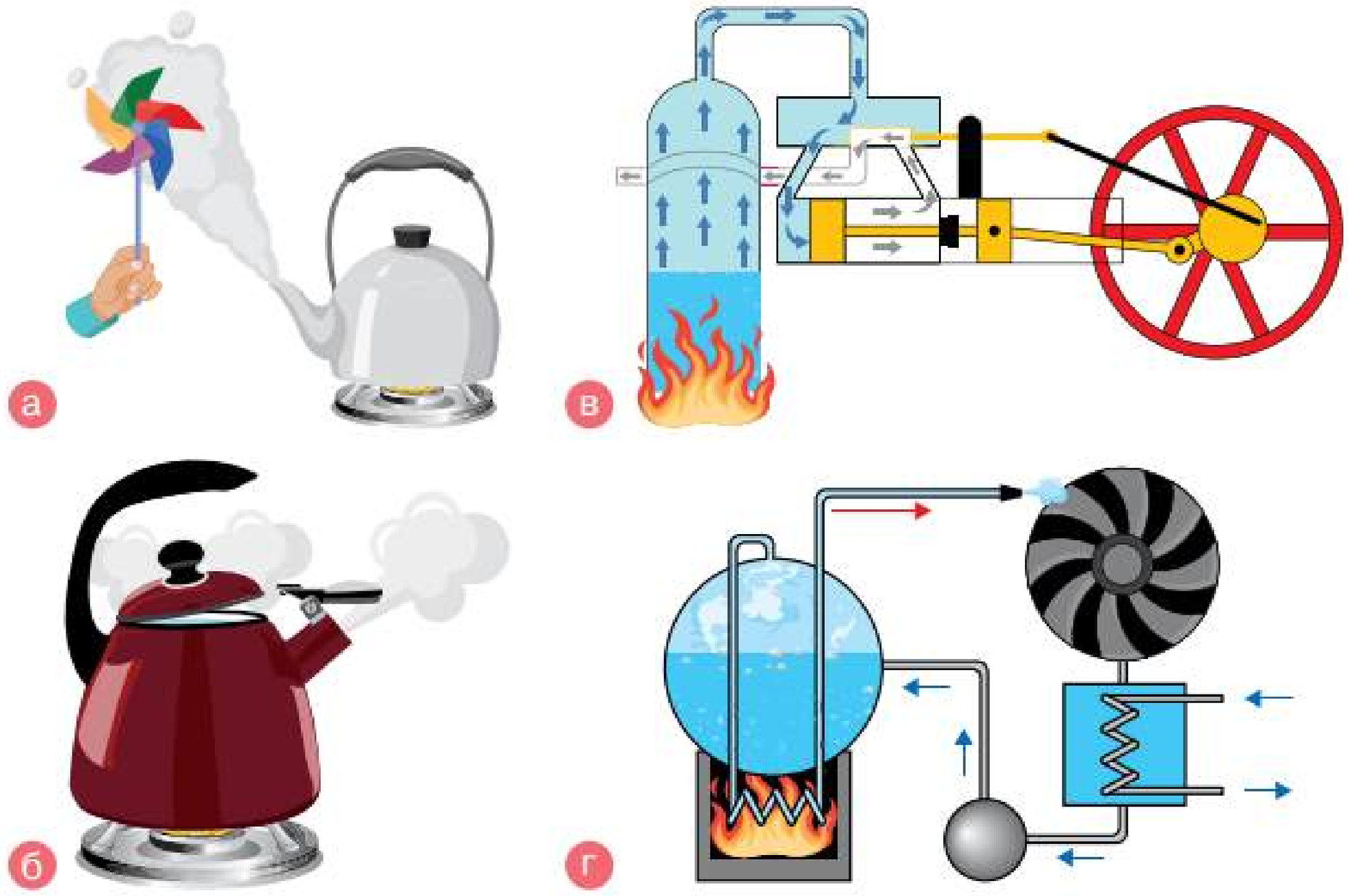
Пригадай: на початку вивчення теплових явищ ми з'ясували, що внутрішню енергію можна змінити, виконуючи механічну роботу. А чи можливо навпаки?

Звичайно! І ти щоранку, коли кип'ятиш чайник, можеш перетворити його на теплову машину!



ДОСЛІДЖУЙ

Роздивись малюнок 15.1. У якому випадку чайник (мал. 15.1, а, б) є прототипом парового двигуна (мал. 15.1, в), а в якому — парової турбіни (мал. 15.1, г)? Що, на твою думку, забезпечує неперервну роботу парової турбіни і руху поршня у паровому двигуні? Чим, на твою думку, можна замінити водяну пару?



Мал. 15.1

ДІЗНАВАЙСЯ

Як використати теплову енергію для виконання механічної роботи? Здавна люди займалися конструюванням механізмів, які допомагали виконувати важку роботу. Спочатку вони використовували прості механізми — важелі, похилу площину, блоки тощо.

Відтоді як людство пізнало закономірності перебігу теплових явищ, учені й винахідники намагалися винайти спосіб використання теплової енергії, зокрема перетворення її на механічну.

Розглянемо детальніше процеси, які відбуваються на мал. 15.1, б. Вода в чайнику починає закипати, тиск пари під кришкою збільшується. У результаті настає момент, коли сила тиску пари стає більшою за силу тяжіння, що діє на кришку, і кришка підстрибує. У цей момент частина пари виходить назовні, сила тиску пари на кришку зменшується, і сила тяжіння повертає кришку на місце. Якщо нагрівання продовжувати, то процес повторюватиметься.



А чи можеш назвати всі складники цього процесу, і які ролі вони виконують?



1. Джерело енергії (газова плита), яка надає кількість теплоти $Q_{нагр}$ для нагрівання води і утворення пари.
2. Гаряча пара, яка піднімає кришку, виконує механічну роботу A.
3. Зовнішнє середовище, якому віддається частина енергії пари $Q_{втрат}$.
4. Сила тяжіння, яка повертає кришку у початкове положення.



А спробуй установити, якому із названих Вікою пунктів 1–4 відповідають такі терміни: а — нагрівник, б — охолоджувач, в — робоче тіло.
Саме так у 1824 р. французький учений Саді Карно назвав складники теплової машини.

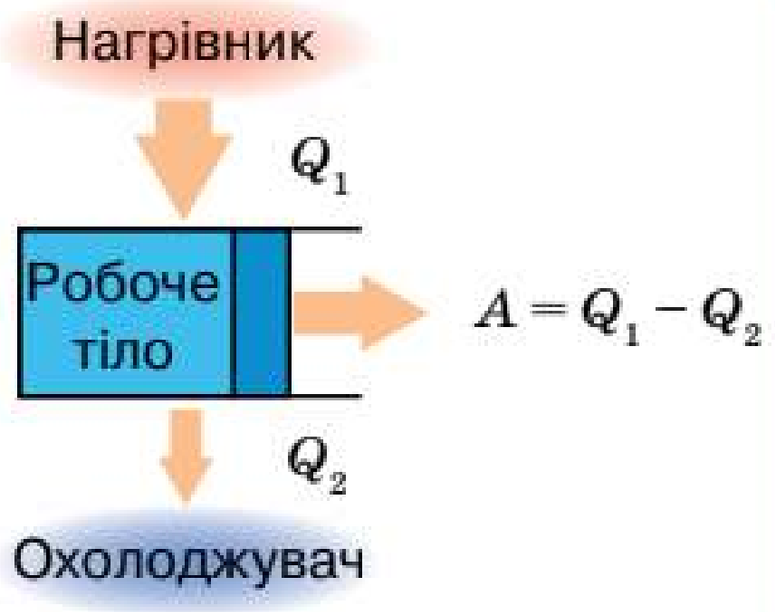
Якщо з кришкою чайника (або іншим виводом пари) з'єднати якийсь механізм, дістанемо найпростішу модель теплового двигуна. До речі, такі чайники є (мал. 15.2). Якщо кришка міцно закрита і в носику знаходиться пробка, пара виходить через циліндр, у якому є поршень, що рухає коліщатка, і чайник працює, як справжній паровоз.



Мал. 15.2

На прикладі з чайником визначимо частини, із яких має складатися теплова машина:

- *робоче тіло* (*heat engine*) — пара, яка, розширюючись, піднімає кришку, виконує роботу A;
- *нагрівник* (*hot body*) — газова плита (джерело енергії), яка надає кількість теплоти Q_1 для нагрівання води й утворення пари;
- *охолоджувач* (*cold body*) — довкілля, якому, виходячи із чайника, водяна пара періодично віддає енергію Q_2.



Мал. 15.3

На принципі перетворення теплової енергії на механічну завдяки виконанню роботи побудовано дію всіх теплових машин (мал. 15.3).

Теплова машина (*heat engine*) — пристрій для перетворення внутрішньої енергії на механічну.

До теплових машин належать двигуни внутрішнього згорання, парові й газові турбіни, дизельні й турбореактивні двигуни тощо. З часу винайдення ці машини постійно вдосконалюють, але їх будова ґрунтується на закономірностях перетворення теплової енергії на механічну.

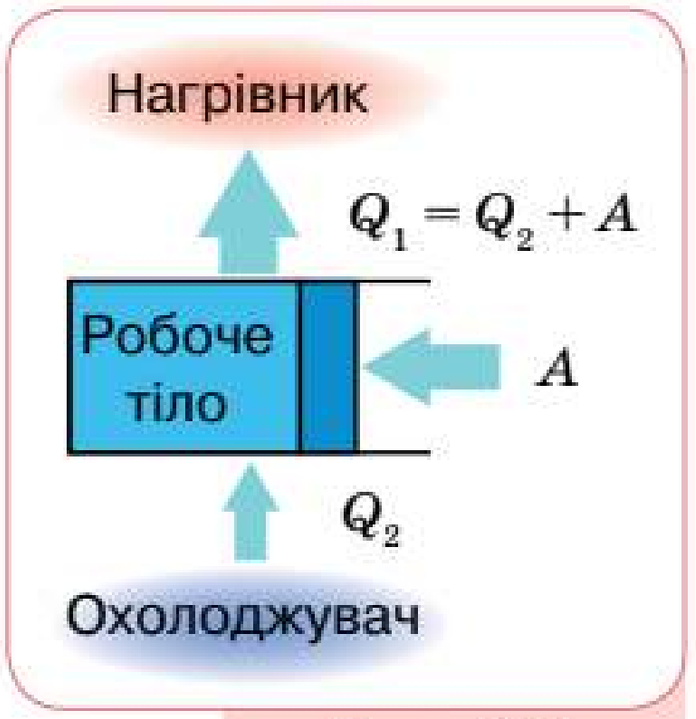
Переглянь в е-додатку анімаційну модель роботи теплової машини (15.1).

vse.de/cnll

Чим холодильна машина відрізняється від теплової? За звичайних умов теплота самостійно не може переходити від менш нагрітих (холодніших) тіл до більш нагрітих. Проте ти користуєшся холодильниками, які охолоджують тіла. Як вони працюють? Річ у тім, що всі холодильні машини є різновидом теплових машин. На відміну від інших теплових машин, які виконують роботу завдяки внутрішній енергії палива, у холодильних машинах внутрішня енергія тіла, що охолоджується, зменшується завдяки виконанню роботи іншим тілом.

Холодильною машиною називають пристрій, у якому внутрішня енергія примусово забирається з менш нагрітого тіла та передається тілу з більш високою температурою.

Можна вважати, що холодильна машина працює за принципом, «оберненим» до принципу дії теплової машини (мал. 15.4).



Мал. 15.4

Робоче тіло холодильної машини забирає тепло Q_2 від охолоджувача й передає тепло Q_1 нагрівнику, яким слугує навколишнє середовище. При цьому має місце співвідношення: $Q_1 = Q_2 + A$, де Q_1 — теплота, що передається навколишньому середовищу; Q_2 — теплота, забрана від морозильної камери; A — робота, яка виконується над робочим тілом холодильної машини.

Визначаємо коефіцієнт корисної дії теплової машини. У 1851 р. англійський фізик Вільям Томсон (лорд Кельвін) сформулював закон, який відіграв вирішальну роль у створенні теплових машин. Цей закон ще називають *законом збереження енергії в теплових процесах*.

У природі неможливий процес, єдиним результатом якого є виконання механічної роботи лише завдяки охолодженню джерела теплової енергії без нагрівання навколишніх тіл.

Це означає, що неможливо створити так званий вічний двигун, тобто теплову машину, яка б діставала енергію у вигляді теплоти від одного тіла і повністю передавала її у формі роботи іншому тілу.

Для теплових машин (як і для механічних) існує поняття корисної і затраченої енергії. І кожна теплова машина характеризується коефіцієнтом корисної дії (ККД), який визначає її спроможність перетворювати теплову енергію на механічну роботу.

Затраченою енергією є кількість теплоти, яка надається нагрівнику Q_1.

Корисною енергією є механічна робота, виконана тепловою машиною A.

За законом збереження енергії ця енергія дорівнює різниці кількості теплоти Q_1, яку надає нагрівник робочому тілу, і кількості теплоти Q_2, яку віддає робоче тіло охолоджувачу: $A = Q_1 - Q_2$.

Оскільки виконана робота A завжди менша від наданої кількості теплоти Q_1, то можна зробити висновок, що ККД теплових машин завжди менший від 1 (100 %).

ККД теплової машини дорівнює відношенню виконаної роботи A до наданої кількості теплоти Q_1:

$$\eta = \frac{A}{Q_1} \cdot 100\,\% = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} \cdot 100\,\%.$$

Теплові двигуни мають невисокий ККД — як правило, 20–30 %. Підвищення ККД теплових двигунів — найважливіша технічна задача. Основним способом підвищення ККД є збільшення температури нагрівника, але його не можна нагрівати до температури плавлення матеріалів, з яких виготовлено двигун. Тому для збільшення ККД використовують якісніше паливо, а для зменшення тертя — моторне мастило.

ДУМАЙ

1. Як відбувається перетворення енергії в теплових процесах?
2. Які механізми називають тепловими машинами?
3. Із яких конструктивних елементів складається будь-яка теплова машина?
4. Який фундаментальний закон покладено в основу дії теплових машин?
5. Чому не можна створити вічний двигун?
6. Що характеризує ККД теплової машини?

ДІЙ

УЧИСЬ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ЗАДАЧІ

У паровій турбіні потужністю 1 кВт за 1 годину витрачається дизельне паливо масою 0,35 кг. Обчисли ККД турбіни.

Дано:	СІ	Розв'язання:
$m = 0{,}35$ кг		Корисну роботу визначаємо через потужність $A = Pt$, а затрачену енергію — як кількість теплоти, що виділяється внаслідок згорання палива: $Q = mq$.
$P = 1$ кВт	10^3 Вт	
$t = 1$ год	3600 с	
$q = 42$ МДж/кг	$42 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	Формула для ККД набуває вигляду: $\eta = \frac{A}{Q} = \frac{Pt}{qm}$. Із таблиць записуємо значення питомої теплоти згорання дизельного палива: $q = 42$ МДж/кг. Підставляємо значення у формулу:
η — ?		

$$\eta = \frac{10^3 \text{ Вт} \cdot 3600 \text{ с}}{42 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot 0{,}35 \text{ кг}} = 0{,}24.$$

Відповідь: $\eta = 24\ \%$.

РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

1. Який ККД має двигун, якщо він дістає від нагрівника щосекунди 5600 кДж і віддає в холодильник 4000 кДж теплоти?
2. Теплова машина з ККД 28 % отримує від нагрівника 800 Дж. Яку корисну роботу вона виконує?

3 Теплова машина за один цикл отримує від нагрівника кількість теплоти 100 Дж і віддає охолоджувачу 60 Дж. Який ККД машини?

4 Тепловий двигун має потужність 220 кВт. Знайди ККД двигуна, якщо за 10 с він отримав від нагрівника $2 \cdot 10^6$ Дж теплоти.

5 Відомо, що середня потужність, яку розвиває звичайна людина під час фізичної праці, дорівнює 50 Вт. Визнач «механічний ККД» людини, зайнятої фізичною працею, якщо її робочий день 7 год, а калорійність денного раціону становить $20{,}9 \cdot 10^6$ Дж.

6 Який ККД тракторного двигуна, якщо витрата дизельного пального становить 216 г/год на 1 кВт?

7 Який ККД турбіни ТЕС, якщо вона отримує від нагрівника 66 МДж теплоти і при цьому виконує роботу $26{,}4 \cdot 10^6$ Дж?

8 Для роботи турбіни, що розвиває потужність 100000 кВт, за добу спалюється в топках парових котлів 960 т кам'яного вугілля. Визнач ККД паротурбінної установки.

9* На теплових електростанціях для виробництва кожного мегаджоуля електроенергії використовується в середньому 105 г кам'яного вугілля. Скільки потрібно вугілля для роботи такої електростанції протягом року, якщо її електрична потужність 500 МВт? Обчисли ККД електростанції.

10* Автомобіль з двигуном потужністю 80 кВт рухається зі швидкістю 100 км/год. Визнач, яку масу бензину він затратить на шляху 160 м, якщо його ККД дорівнює 30 %.

ВИКОНАЙ ДОСЛІДИ

Переглянь в е-додатку відео моделі теплової машини (15.2) та сконструюй її.

ОПРАЦЮЙ ІНФОРМАЦІЮ

Візьми участь у груповій роботі

Об'єднайтесь у групи та розподіліть питання для пошуку інформації і підготовки повідомлень. Хто перший сконструював паровий двигун? Як розвивалась техніка на парових двигунах? У чому переваги і недоліки теплових машин? Що таке теплові насоси? Чи можна вважати живу істоту (біологічна система) тепловим двигуном?

§ 16. ВИВЧАЄМО ТЕПЛОВІ ДВИГУНИ Й ПИТАННЯ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ

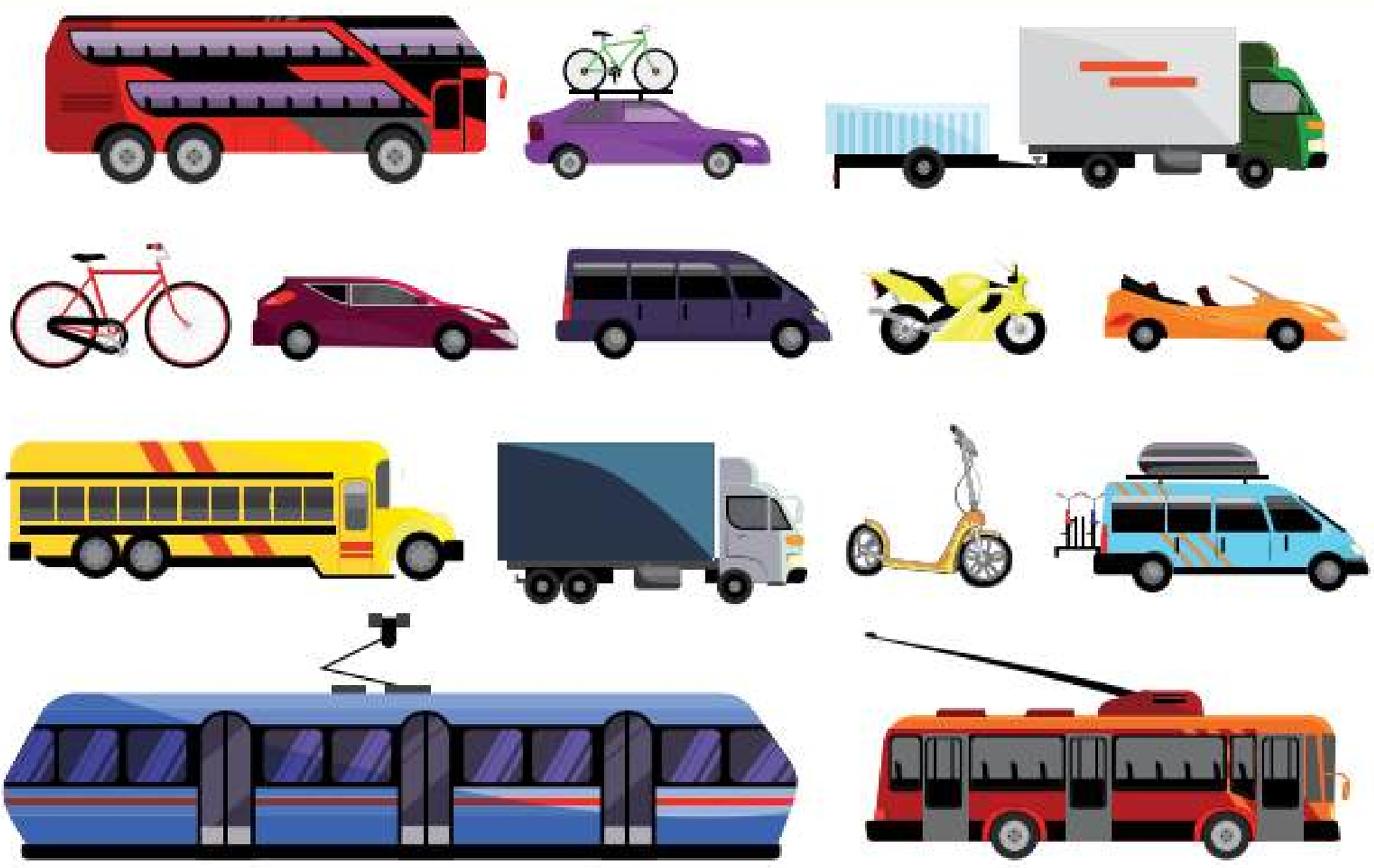
Я часто в інтернет-новинах зустрічаю повідомлення про те, що електромобілі незабаром замінять автомобілі на двигунах внутрішнього згоряння. Електромобілі економнішні та екологічніші.

А я вважаю, що бензинові двигуни краще. От не буде електрики, що робитимеш? Генератори підтримали економіку нашої країни у години відключень світла.



ДОСЛІДЖУЙ

Роздивись малюнки транспортних засобів (мал. 16.1). Розподіли їх за джерелом енергії, яке використовується у двигунах, на теплові та електричні. Укажи, якими із них ти користуєшся упродовж місяця.



Мал. 16.1

ДІЗНАВАЙСЯ

Як працюють двигуни внутрішнього згорання? Одним із найпоширеніших видів теплової машини є двигун внутрішнього згорання (ДВЗ), який нині широко використовують в різних транспортних засобах, зокрема в автомобілях.

Залежно від виду палива, що використовується у двигуні внутрішнього згорання, і способу його запалення розрізняють бензинові та дизельні (названі на честь їх винахідника — німецького інженера Рудольфа Дізеля) двигуни.

Розглянемо принцип дії таких двигунів внутрішнього згорання. Робота ДВЗ ґрунтується на певній кількості послідовних процесів — тактів, які весь час повторюються. Тому є дво- та чотиритактні двигуни (мал. 16.2, а). Основним елементом двигуна є циліндр із поршнем, де відбувається згорання палива. Як правило, циліндрів кілька. Тому є дво-, чотири- (мал. 16.2, б) та восьмициліндрові двигуни.



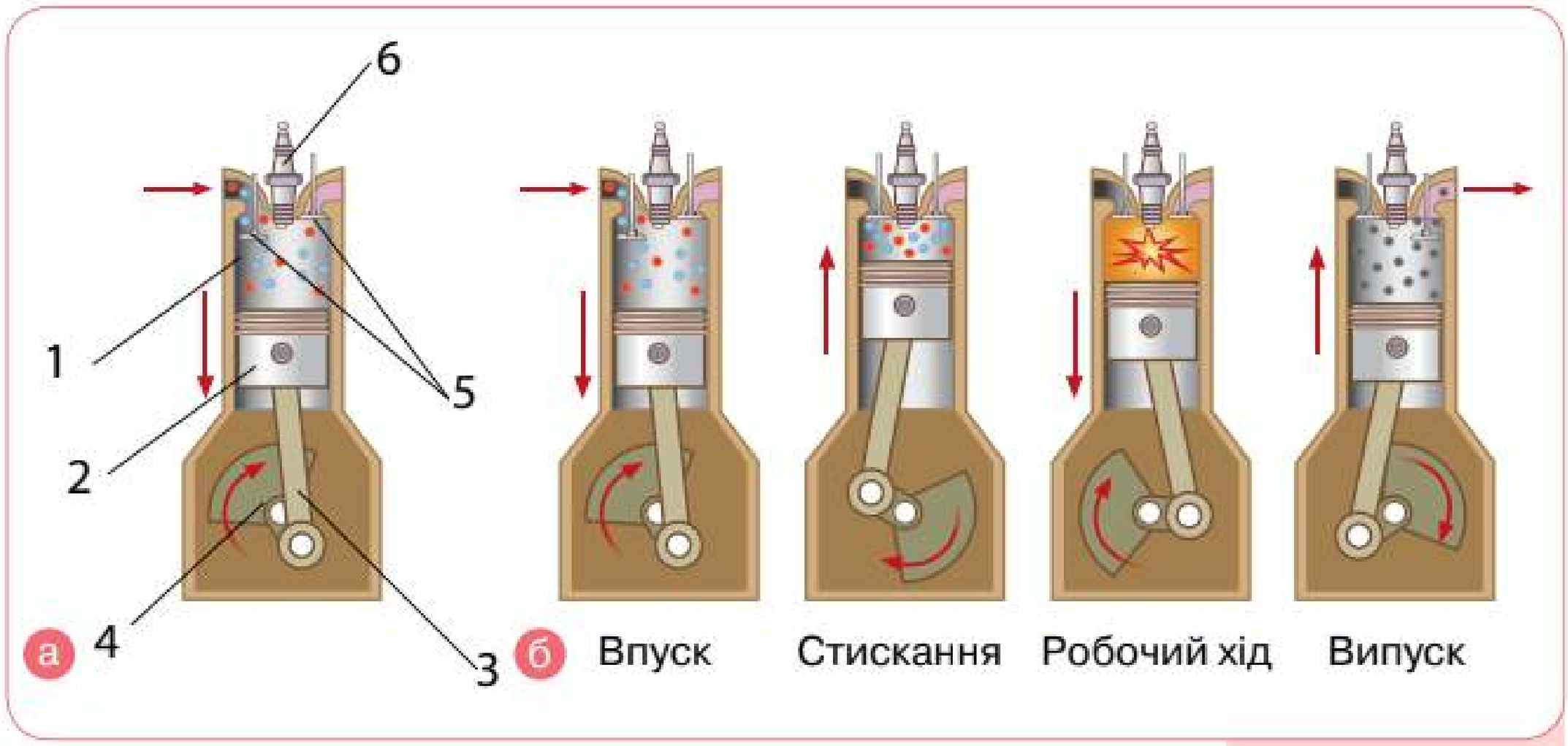
Мал. 16.2

Чотиритактний двигун внутрішнього згорання (мал. 16.3, а) складається із *циліндра* (1), в якому пересувається *поршень* (2). Усередині поршня шарнірно закріплений *шатун* (3). Він, у свою чергу, з'єднаний із *колінчастим валом* (4), обертання якого забезпечує обертання тягових коліс транспортного засобу. У верхній частині циліндра є два канали, закриті *клапанами* — впускним і випускним.

Перший такт — це впуск пальної суміші, що здійснюється через впускний клапан, коли поршень рухається вниз (мал. 16.3, б). Після того як поршень досягне нижньої точки, всмоктування палива припиняється. Обидва клапани закриті.

Під час **другого такту**, коли поршень рухається вгору, відбувається стискання суміші, унаслідок чого її температура підвищується (мал. 16.3, б). У верхній точці поршня суміш запалюється іскрою від *електричної свічки* (6). Суміш спалахує. Унаслідок значного нагрівання газ розширюється і тисне на поршень. Сила тиску штовхає поршень

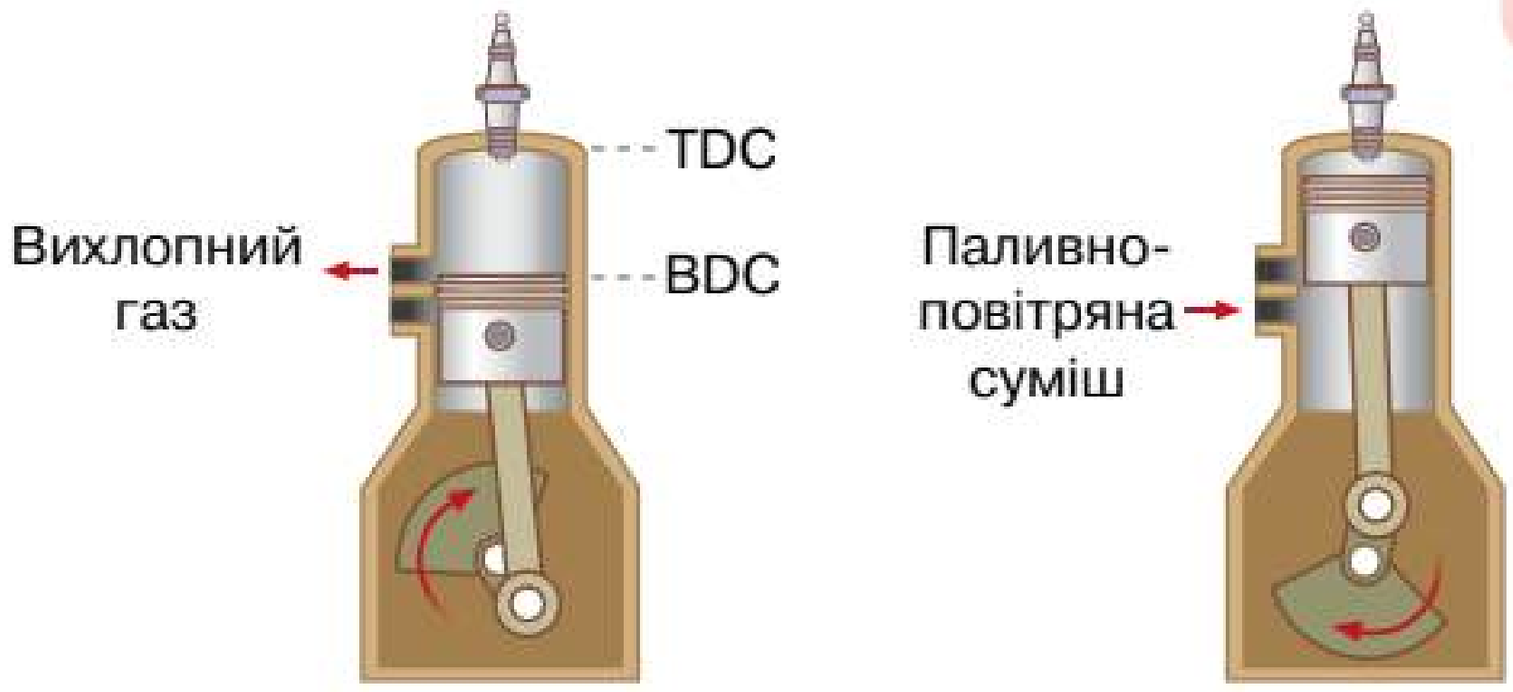
донизу, відбувається **третій такт** — робочий хід, під час якого виконується робота (мал. 16.3, б). За допомогою спеціального з'єднання рух поршня передається колінчастому валу, який з'єднано з колесами автомобіля. Виконуючи роботу, суміш розширюється й одночасно охолоджується. Після проходження поршнем нижньої точки відкривається випускний клапан, і під час руху поршня вгору відбувається **четвертий такт** — випуск відпрацьованих газів (мал. 16.3, б). Таким чином, робочий цикл чотиритактного двигуна завершується, і знову робота двигуна починається з першого такту.



Мал. 16.3

У двотактного двигуна немає окремих тактів впуску і випуску (мал. 16.4). За перший такт після вибуху пального поршень опускається вниз, і таким чином відкривається вікно випуску (отвір в стінці циліндра), через який і виходять відпрацьовані гази, але майже в той же момент відкривається й інше вікно — вікно впуску, через яке нагнітається вже свіжа суміш (бензин/масло). У другому такті поршень піднімається вгору, стискуючи суміш, — відбувається новий вибух, і робота двигуна починається з першого такту.

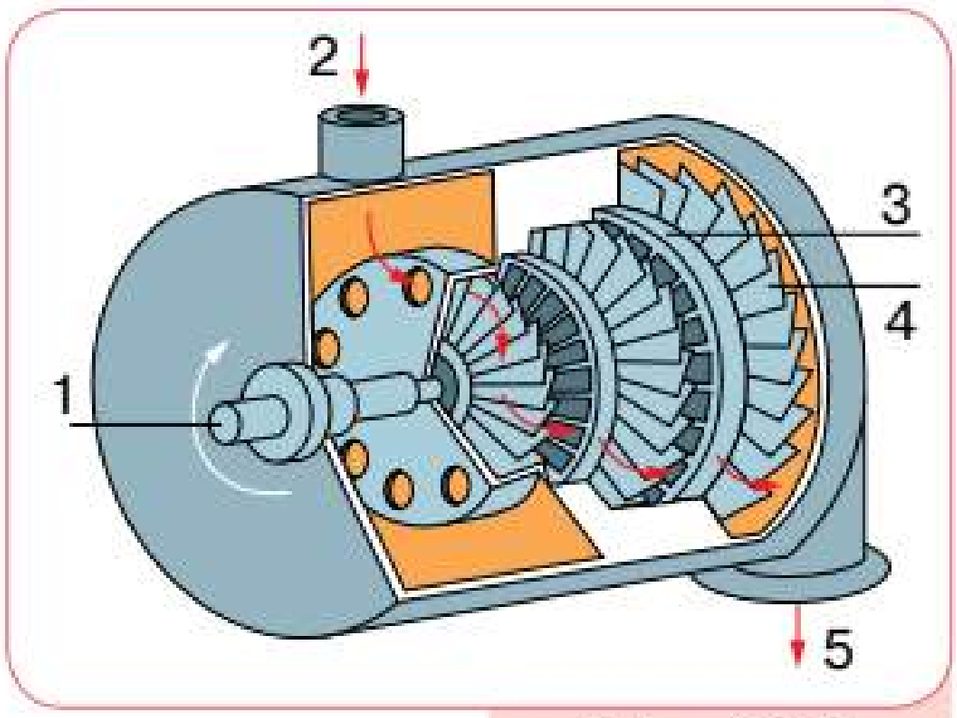
Мал. 16.4



Переглянь в е-додатку анімаційну модель роботи двотактного циклу поршневого двигуна (16.1) та відео роботи двигуна внутрішнього згорання (16.2).

У дизельних двигунах немає запальних свічок. У верхній точці поршня суміш запалюється від високої температури сильно стиснутого газу. Їхній ККД більш високий.

Як працюють теплові турбіни? На теплових й атомних електростанціях використовують турбіни. Турбіни як основний рушійний елемент застосовують також у газотурбінних двигунах, що широко використовуються в авіації. Залежно від робочого тіла (пари або газу) розрізняють парові й газові турбіни. В основу дії турбін покладено обертання дисків із лопатками під тиском водяної пари або газу. Схему дії парової турбіни наведено на малюнку 16.5.



Мал. 16.5

На *вал* (1) насаджено декілька *дисків* (3) із *лопатками* (4). Струмені пари, що надходять через *сопло* (2), послідовно зіштовхуються із лопатками всіх дисків, тиснуть на них і надають турбіні швидкого обертального руху. Відпрацьована пара виходить з *отвору* (5).

Дізнаємося про роль теплоенергетики в житті людини. Упродовж багатьох століть паливо було для людства практично єдиним джерелом енергії. У XX ст. різко зросло використання теплових машин, а отже, і паливних ресурсів. В автомобілях та інших транспортних засобах використовують бензин і дизельне паливо — продукти переробки нафти. Для обігрівання житла та приготування їжі застосовують пристрої, що спалюють природний газ. Цей газ у значній кількості використовують у металургії та іншій промисловій сфері. Газ, нафту, вугілля застосовують для вироблення електроенергії на теплових електростанціях.

Незабаром може настати енергетична криза. І вже сьогодні людина застосовує енергозбережувальні технології, здійснюється поступова заміна палива з викопних ресурсів на біопаливо, використовуються альтернативні джерела енергії — атомної, вітрової, сонячної.

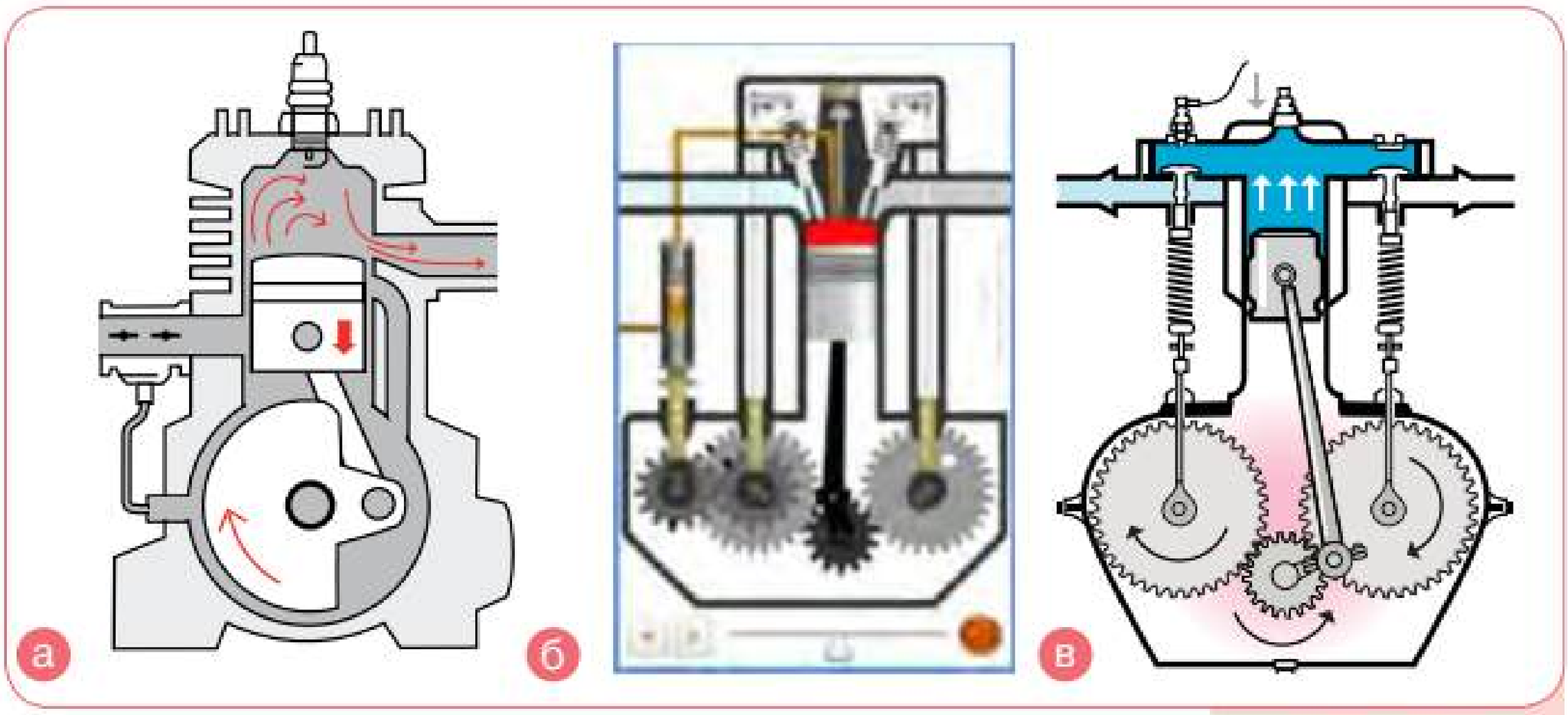
Використання нових будівельних матеріалів з вищою теплоізоляцією дає можливість зменшити споживання тепла. Теплові втрати старого цегляного будинку складають через стіни — 27 % , а через неутеплені вікна й двері — 25 % . Теплові втрати нового будинку з пористого бетону й вікнами-склопакетами складають через стіни 9 % , а через вікна й двері —

21% . У скільки разів економніше опалення нового будинку? За рахунок чого можлива економія в домівках?

Для людства існує ще одна велика проблема. Річ у тім, що під час роботи теплових машин виділяється вуглекислий газ (CO_2), який у великій кількості стає дуже небезпечним — спричинює так званий парниковий ефект — підвищення температури поверхні Землі.

ДУМАЙ

1 На якому малюнку (16.6, а–в) показано схему: 1 — двотактного ДВЗ, 2 — чотиритактного ДВЗ, 3 — чотиритактного дизельного двигуна?



Мал. 16.6

2 Назви процеси, що відбуваються в чотиритактному ДВЗ. Під час яких тактів роботи чотиритактного двигуна внутрішнього згорання відкриті два клапани? Хоча б один? Обидва закриті?

3 В потужних двигунах внутрішнього згорання використовують не повітряне, а водяне охолодження. Поясни чому.

4 На яких транспортних засобах використовують найпотужніші поршневі двигуни? Побудуй рейтинг найпотужніших двигунів, вказавши їх виробників.

5 Чому поршень двигуна виготовляють із легкого матеріалу з хорошою теплопровідністю і невеликим тепловим розширенням?

6 У який момент робоча суміш у циліндрах двигунів внутрішнього згорання має найбільшу внутрішню енергію: наприкінці такту «Стискання» чи на початку такту «Робочий хід»?

7 Які бувають турбіни? Що покладено в основу дії парової турбіни? Де використовують турбіни?

8 Чому, виключаючи зайве освітлення, ти допомагаєш охороні навколишнього середовища?

ДІЙ

РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

1 Порівняй витрати на приготування теплої ванни заданого об'єму, якщо у першому випадку вода нагрівається електричним бойлером, а в другому — газовою колонкою. Потужність тенів бойлера 1,5 кВт, час нагрівання потрібної кількості води до заданої температури — 2 год, вартість 1 кВт · год — 4 грн. Вартість користування природним газом — 7 грн/м^3. Втратами теплоти знехтуй.

2 Визнач та порівняй ККД різних типів котлів вітчизняного виробництва, якщо для нагрівання в системі опалення води об'ємом 100 л, взятої за температури 10 °С, до температури 55 °С у твердопаливному котлі «Вогник» спалюють 3 кг дров, а в газовому котлі «Атон» — 0,6 кг природного газу.

3 Сільськогосподарські машини витрачають за рік у середньому 15 млн т дизельного палива. Якщо механізатори зекономлять 1% палива під час оброблення 1 га, то в країні збережеться 230 тис. т дизельного палива. Яку кількість енергії буде збережено?

4 Добову норму кисню скількох людей спалює автомобіль, що протягом 4 год рухається зі швидкістю 80 км/год? Добову норму кисню однієї людини він спалює на ділянці шляху 2,5 км.

5 Дізнайся про особливості кожного виду термоодягу. Укажи, який із видів (1–3) підходить для випадків, зображених на піктограмах (А–Ї).



ОПРАЦЮЙ ІНФОРМАЦІЮ

1 Поясни наступні вислови: енергія зіграла ключову роль у розвитку Homo Sapiens, але й створила найбільший виклик людству; ми — створіння вогню; вугілля — це сонячна енергія, захоплена мільйони років тому; найбільший виклик, із яким коли-небудь стикалося людство, — це повернення до сонячної енергії, яка б могла задовольнити величезні енергетичні потреби людей.

Візьми участь у груповій роботі

2 Об'єднайтесь у групи та дізнайтеся: як добувати вогонь і питну воду та зберігати продукти в похідних умовах; як знизити вплив теплових машин та теплотехніки на довкілля; які є способи подолання екологічних проблем, пов'язаних із використанням теплових машин.

3 Проведіть дискусії. Чому важливі енергоощадні заходи для родини, громади, країни? Які перспективи розвитку альтернативної енергетики України?

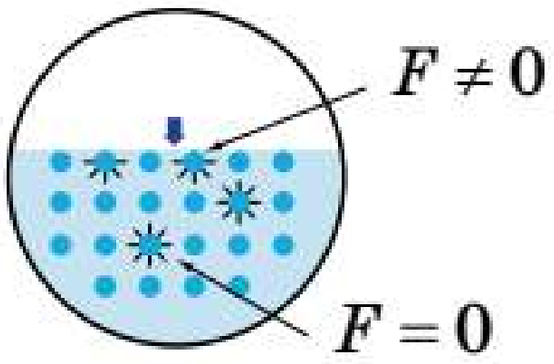
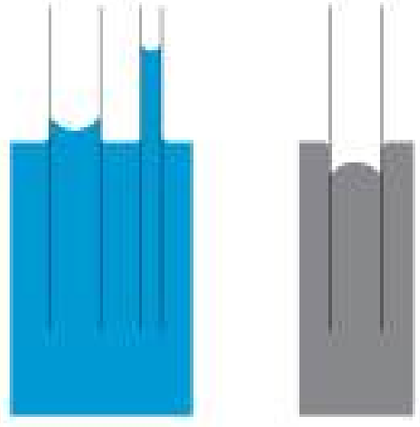
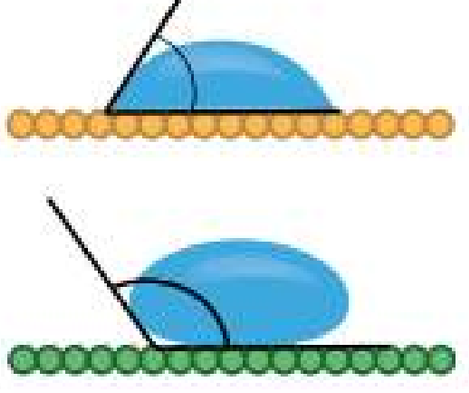
ОЦІНИ СЕБЕ

Виконай в е-додатку завдання для самооцінювання (16.3).

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ



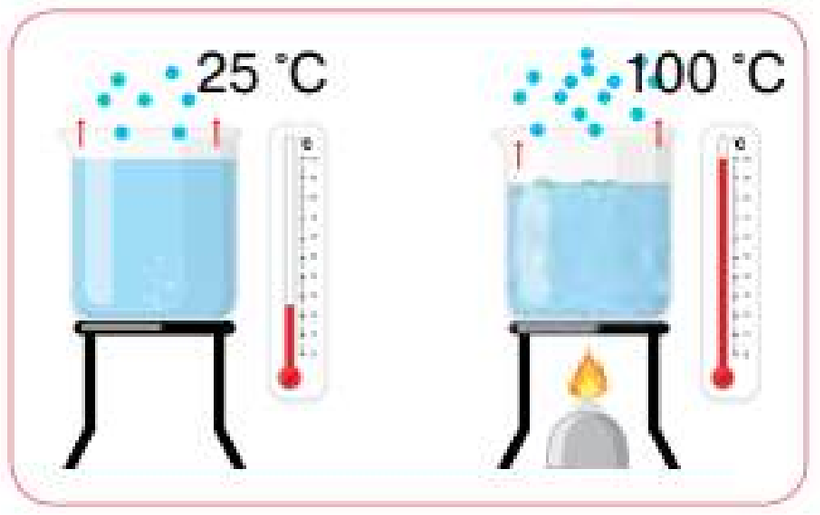
Ти знаєш, що рідини мають властивості, зумовлені особливостями взаємодії частинок рідини між собою та повітрям або твердим тілом.

Поверхневий натяг	Капілярність	Змочування і незмочування
 	 	 

Ти вмієш розрізняти види пароутворення: випаровування і кипіння

Ти розумієш, що означає вираз: вологість повітря 45 %.

Ти вмієш описувати теплові процеси, що супроводжують зміну агрегатного стану речовини та перетворення теплової енергії за допомогою відповідних фізичних величин.



Назва фізичної величини	Означення	Символ для позначення, одиниця	Формула для визначення
Питома теплота плавлення	Фізична величина, що показує, яка кількість теплоти необхідна для переходу 1 кг речовини із твердого стану в рідкий за температури плавлення	λ, $1\ \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	$\lambda = \frac{Q}{m}$
Питома теплота пароутворення	Фізична величина, що показує, яка кількість теплоти потрібна, щоб перетворити рідину масою 1 кг на пару без зміни температури	L (або літера r), $1\ \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	$L = \frac{Q}{m}$
Питома теплота згорання	Фізична величина, що показує, яка кількість теплоти виділяється в результаті повного згорання палива масою 1 кг	q, $1\ \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	$q = \frac{Q}{m}$
Коефіцієнт корисної дії нагрівника	Характеризує ефективність використання теплоти й дорівнює відношенню кількості теплоти, що використовується на нагрівання, до кількості теплоти, отриманої внаслідок згорання палива	η, %	$\eta = \frac{Q}{Q_{\text{зг}}}$
Коефіцієнт корисної дії теплової машини	Характеризує ефективність перетворення енергії і дорівнює відношенню виконаної роботи A до наданої кількості теплоти Q_1	η, %	$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1}$

ПЕРЕВІР СЕБЕ



1. (0,5 б.) Укажи, що відбувається із речовиною, яка безперервно отримує енергію, а температура її не змінюється.

А плавиться **В** випаровується
Б нагрівається **Г** охолоджується

2. (0,5 б.) Укажи, за якої умови можливо, щоб температура кипіння води була 120 °С.

А за нормального зовнішнього атмосферного тиску
Б за підвищеного зовнішнього атмосферного тиску
В якщо воду кип'ятити дуже повільно
Г якщо у воду вкинути дуже нагріте (до 1000 °С) тіло

3. (1 б.) Визнач ККД парової машини, якщо її нагрівник передає робочому тілу 1200 Дж теплоти, робоче тіло внаслідок цього виконує роботу 200 Дж.

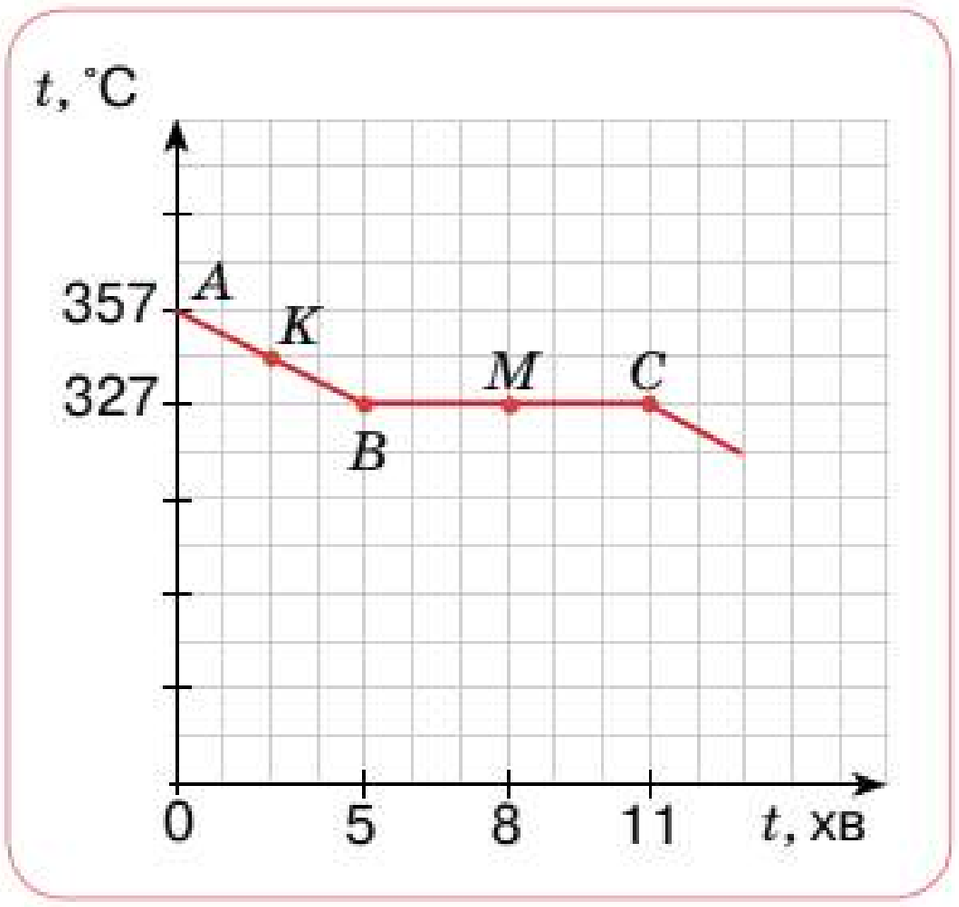
А 6 % **Б** 60 % **В** 100 % **Г** 24 %

4. (1 б.) Визнач, яку кількість теплоти необхідно передати воді масою 1 кг, узятій за температури кипіння, щоб перетворити її на пару.

А 2,3 · 1010 Дж **Б** 4,6 · 106 Дж **В** 23 МДж **Г** 2,3 МДж

5. (0–3 б.) На малюнку зображено графік зміни температури свинцю.

а) Якому станові свинцю відповідає відрізок графіка *AB*?
б) Як змінилася кінетична енергія молекул під час процесів, що відповідають ділянкам *AB* і *BC*?
в) У якій з точок (*K* чи *M*) молекули свинцю мають більший запас кінетичної енергії? Чому?
г) Як змінюється внутрішня енергія свинцю на ділянках *AB* і *BM*? Чому?



6. (0–3 б.) У калориметр, що містить 1 кг води за 0 °С, впустили 200 г водяної пари за 100 °С. Яка температура встановиться в калориметрі?

7. (0–3 б.) Яка кількість теплоти необхідна, щоб 3 кг льоду, взятого за температури −10 °С, розплавити і випарувати 200 г утвореної води?





ТЕМА 3. ЕЛЕКТРИЧНА ВЗАЄМОДІЯ

ТИ НАВЧИШСЯ:

- вибирати пізнавальну ситуацію, яку можна розв'язати дослідницьким способом, формулювати висновки, презентувати результати, здійснювати самоаналіз дослідницької діяльності;
- опрацьовувати, систематизувати та представляти інформацію природничого змісту;
- формулювати проблему й обирати стратегії її розв'язання;
- досліджувати електричну взаємодію тіл, електричні властивості речовини, умови існування електричного струму, залежність між силою струму, опором і напругою в електричному колі;
- розв'язувати фізичні задачі на закони Кулона, Ома.

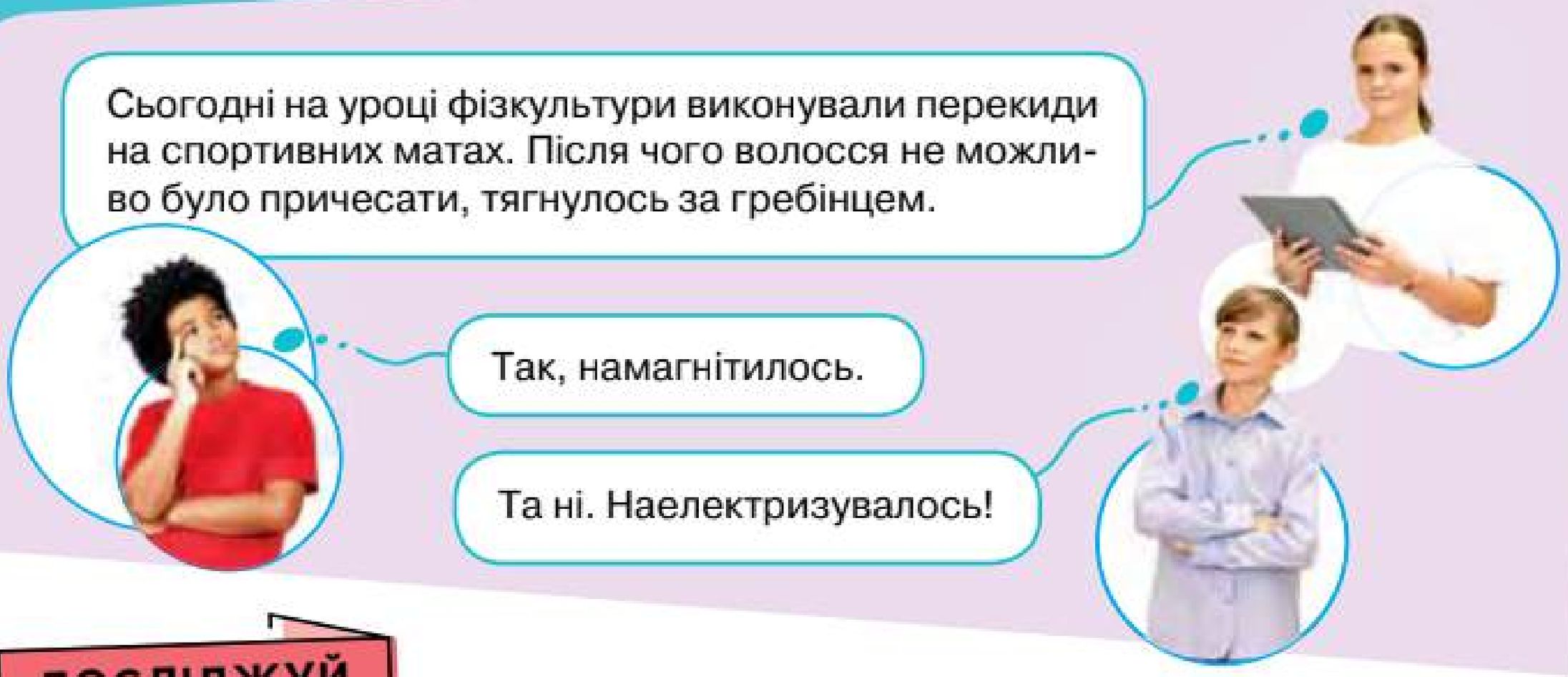
ТИ ЗРОЗУМІЄШ:

- що є причиною електромагнітної взаємодії;
- які є механізми електризації тіл;
- що під час електризації нові електричні заряди не створюються, а лише перерозподіляються, і загальний електричний заряд системи тіл зберігається;
- чому необхідно утилізувати елементи живлення.

ТИ ЗМОЖЕШ:

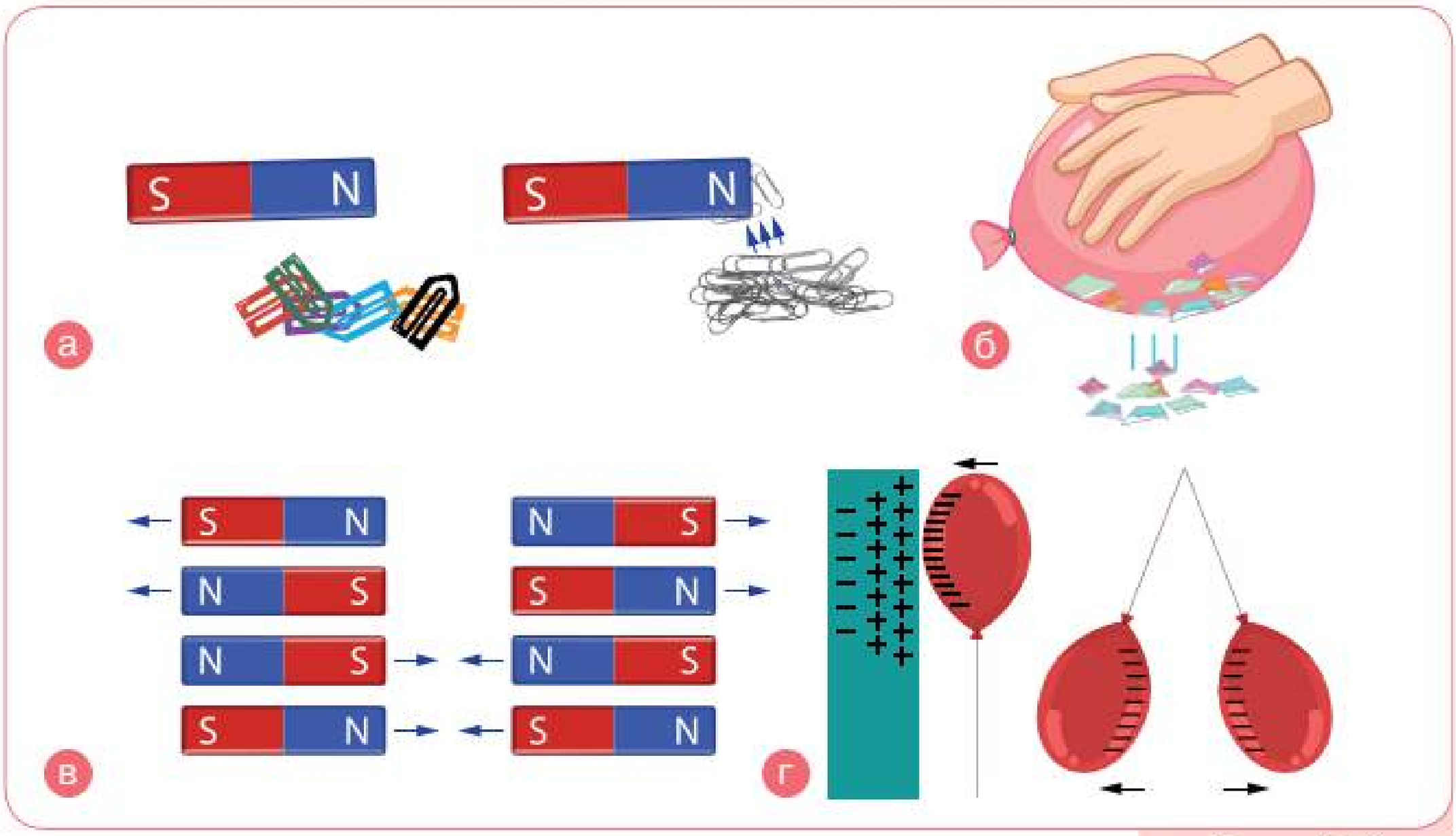
- описувати електричну взаємодію тіл;
- графічно зображати електричне поле;
- пояснювати механізм утворення електричного струму;
- розрізняти провідники і діелектрики;
- креслити схеми електричних кіл;
- регулювати силу струму і напругу в електричному колі.

§ 17. ДІЗНАЄМОСЯ ПРО ЕЛЕКТРИЧНИЙ ЗАРЯД



ДОСЛІДЖУЙ

Досліди, чим подібні і відмінні магнітні та електричні взаємодії (мал. 17.1). *Обладнання*: два магніти, металеві і пластмасові скріпки, папір, дві повітряні кульки.



Мал. 17.1

1 **З'ясуй, які скріпки (пластмасові чи металеві) притягує магніт (мал. 17.1, а). Чи залежить притягання скріпок від їх відстані до магніту? Чи залежить притягання скріпок від того, якою частиною наближати магніт (одним краєм, іншим, серединою); від відстані?**

2 З'ясуй, чи притягує щойно надута повітряна кулька скріпки, дрібні папірці. Що зміниться, якщо кульку натерти об синтетичний чи хутряний светр (волосся) (мал. 17.1, б)? Чи залежить притягання дрібних папірців від того, якою частиною наближати кульку; від відстані?

3 З'ясуй, у яких випадках притягуються, відштовхуються магніти (мал. 17.1, в).

4 З'ясуй, у який випадках повітряна кулька притягується до стіни, відштовхується від іншої повітряної кульки (мал. 17.1, г).

ДІЗНАВАЙСЯ

Що є причиною електромагнітної взаємодії? Щойно у тебе була можливість переконатися, що магнітні й електричні взаємодії дуже схожі.



Схожість у магнітній і електричній взаємодіях полягає в тому, що взаємодія між магнітами та наелектризованими кульками проявляється у притяганні і відштовхуванні, ця взаємодія діє на невеликих відстанях і при віддаленні взаємодіючих тіл вона зменшується.

Магнітна взаємодія, притаманна магнітам, вирізняє їх з-поміж інших тіл. І ця властивість зберігається у магнітів тривалий час.





Повітряна кулька, а також пластмаси, скло, інші синтетичні матеріали після певних дій (натирання, дотику) проявляють електричну взаємодію.

Сподіваюся, ти уже зрозумів/зрозуміла, що електромагнітна взаємодія залежить від внутрішньої будови речовин.

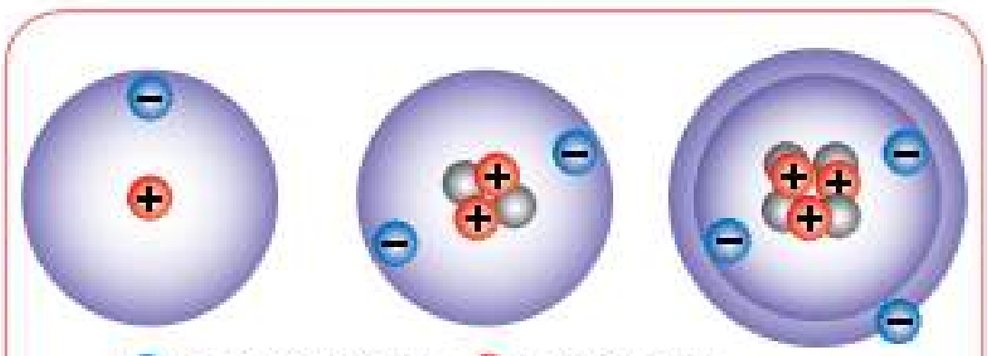


Електричні і магнітні явища та процеси були відомі людству ще з давніх часів. Ще в Стародавній Греції люди помітили, що бурштин притягує дрібне пір'я, соломинки, сухе листя. Від назви «бурштин» (у пер. зі старогрец. — «електрон») тіла, що притягувалися, стали називати *наелектризованими* (або електрично зарядженими). Уперше природну речовину з магнітними властивостями, ймовірно, було знайдено в стародавньому місті Магнесія, оскільки слово «магніт» у перекладі з грецької означає «камінь із Магнесії». Сучасна назва цієї речовини — магнітний залізняк (магнетит).

Упродовж тривалого часу вчені і винахідники намагалися розкрити таємниці електрики і магнетизму. Цікаво, що електричний струм стали використовувати задовго до того, як з'ясували, що є його причиною. Адже лише на початку XX століття було з'ясовано й досліджено причи-

ну цих явищ. Про хронологію відкриттів у дослідженні електричних і магнітних явищ ти можеш дізнатись у додаткових джерелах.

Роздивись малюнок 17.2 та пригадай, що тобі відомо про будову атома (§ 2). Чи можеш пояснити, чому складники атома мають такі назви: електрон, протон і нейтрон?



Мал. 17.2. Атоми яких хімічних елементів зображено?

Електрони й протони мають унікальну природню властивість — *електричний заряд* (*electric charge*), завдяки якому вони проявляють здатність притягуватись і відштовхуватись. Інша частинка, що входить до складу атома, — *нейтрон* — не має електричного заряду, є електрично нейтральною.

Переглянь в е-додатку анімаційну модель будови атома (17.1).

vse.ee/chlv

Як було з'ясовано, значення електричного заряду протона за величиною таке, як і електрона. А оскільки вони здатні притягатись і відштовхуватись, то це можливо, якщо вони якісно чимось відрізнятимуться. Тому домовились, що заряд електрона буде *негативним*, а протона — *позитивним*.

Електричний заряд позначають символом q.

Електричний заряд (*electric charge*) — це фізична величина, яка характеризує властивість частинок і тіл вступати в електромагнітну взаємодію.

Одиниця електричного заряду — кулон (названа на честь французького фізика Шарля Кулона), 1 Кл.

Найменше значення негативного електричного заряду має електрон. Його називають *елементарним* і позначають літерою e, а значення записують так: $e = -1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Заряд протона за модулем дорівнює заряду електрона: $q_p = +1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Будь-яке заряджене тіло має заряд, кратний елементарному:

$|q| = N|e|$, де N — натуральне число.

У кожному атомі кількість електронів дорівнює кількості протонів, тому атом електрично нейтральний. Кількість протонів визначає порядковий номер хімічного елемента в Періодичній системі. На мал. 17.3 зображено приклади записів деяких хімічних елементів.

1 Гідроген / Водень H 1,00797	2 Гелій He 4,0026
3 Літій Li 6,939	10 Неон Ne 20,183
11 Натрій Na 22,9898	18 Аргон Ar 39,948

Мал. 17.3

Як тобі відомо (див. § 1), електрон може покинути атом і приєднатись до іншого атома. Утворену частинку називають *йоном*.

Йони бувають позитивні і негативні та можуть існувати самостійно у всіх агрегатних станах речовини.

Розрізняємо магнітну, електричну та електромагнітну взаємодії.

Йон (*Ion*) — це електрично заряджена частинка, що утворилася з атома або атомної групи внаслідок втрати або приєднання до нього електронів.

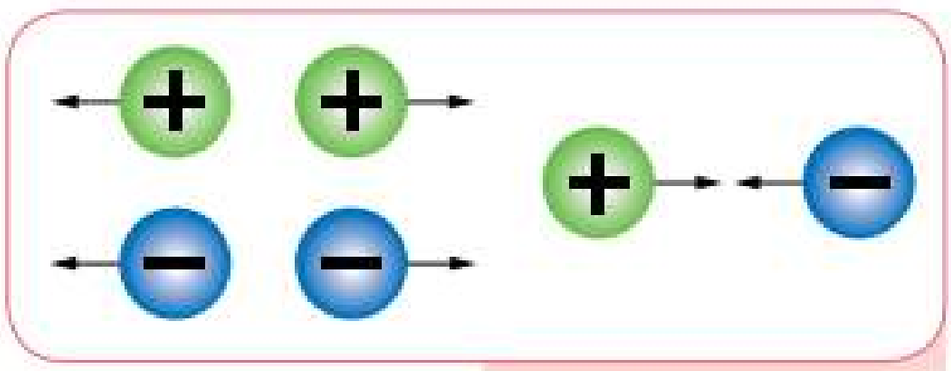


Чому в завданні на початку параграфа ми порівнювали окремо магнітну та електричну взаємодії, а в самому параграфі з'ясовуємо, що є причиною електромагнітної взаємодії?

Тривалий час ці явища вивчались незалежно — окремо магнітні й окремо електричні. Адже, дійсно, між ними є певні відмінності. Те, що ці явища тісно пов'язані і що є підстави їх об'єднати єдиним терміном *електромагнітні*, припустив у середині XIX століття шотландський вчений Дж. К. Максвелл.

І ти також вивчатимеш їх окремо: у цьому розділі переважно електричні явища, у 9 класі — магнітні. З'ясуєш, чому попри те, що усі речовини містять протони й електрони, одні з них проявляють магнітні властивості, а інші здатні електризуватись чи проводити електричний струм.

Ти вже знаєш, що існують два роди електричних зарядів — позитивні і негативні. Тіла, що мають заряди одного знаку, відштовхуються; тіла, що мають заряди протилежних знаків, притягуються. Схематично взаємодію електрично заряджених тіл зображено на малюнку 17.4.



Мал. 17.4

Переглянь в е-додатку анімаційну модель взаємодії заряджених тіл (17.2).

vse.ee/cna8

ДУМАЙ

1. Які частинки атома мають негативний заряд, а які — позитивний? Де вони розташовані? Чи всі частинки атома мають електричний заряд?
2. Який фізичний зміст порядкового номера хімічного елемента?

3 Що таке елементарний електричний заряд? Яке його значення?

4 Як можна довести вислів: електричний заряд — це природна властивість електрона?

5 Які зміни відбуваються з атомом, якщо він: а) втрачає електрон; б) отримує електрон?

6 Чи може тіло мати заряд $+4{,}8 \cdot 10^{-19}$ Кл? $-8{,}1 \cdot 10^{-19}$ Кл? $+3{,}2 \cdot 10^{-17}$ Кл? Чому?

ДІЙ

РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

1 Якій кількості електронів відповідає заряд $-8 \cdot 10^{-13}$ Кл?

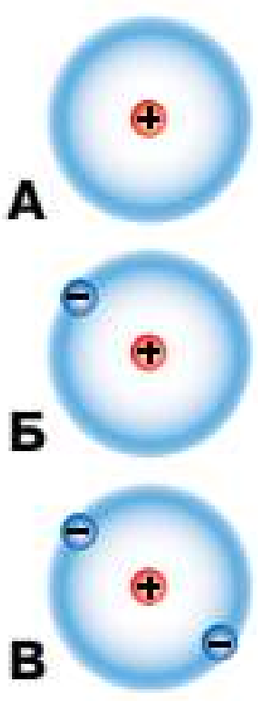
2 У ядрі атома Аргентуму 107 частинок. Навколо ядра обертаються 47 електронів. Скільки в ядрі цього атома нейтронів і протонів?

3 У ядрі атома Цинку 65 частинок, з них 30 протонів. Скільки нейтронів в ядрі і скільки електронів обертаються навколо ядра цього атома?

4 Накресли схематичне зображення позитивного йона Літію й атома Літію.

5 Установи відповідність між схематичним зображенням (А–В) та назвою частинки речовини (1–4) (мал. 17.5).

6 На малюнку 17.6 зображено електричну взаємодію однієї великої і двох маленьких металевих кульок. Які заряди мають маленькі кульки, якщо велика куля заряджена позитивно?



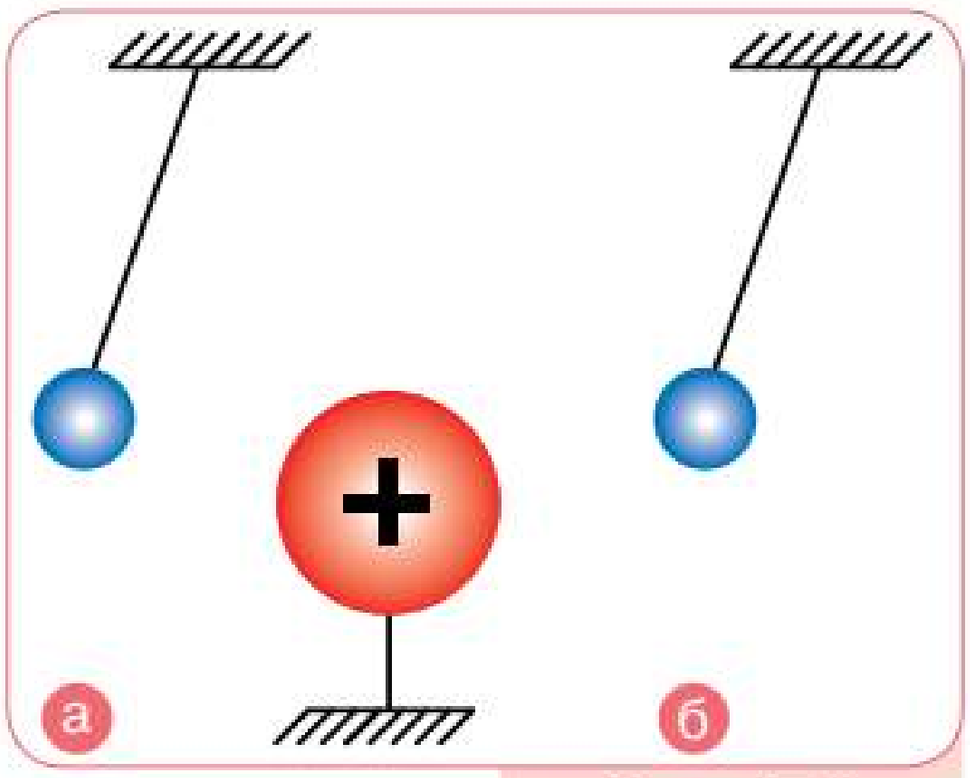
1 Позитивний йон Гідрогену

2 Атом Гідрогену

3 Ядро Гідрогену

4 Негативний йон Гідрогену

Мал. 17.5



Мал. 17.6

ОЦІНИ СЕБЕ

Виконай в е-додатку завдання для самооцінювання (17.3).

§ 18. ДОСЛІДЖУЄМО, ЯК ВІДБУВАЄТЬСЯ ВЗАЄМОДІЯ ЕЛЕКТРИЧНО ЗАРЯДЖЕНИХ ТІЛ

Чи зможу я електризувати тіла й визначати, який саме заряд, позитивний чи негативний, вони мають?



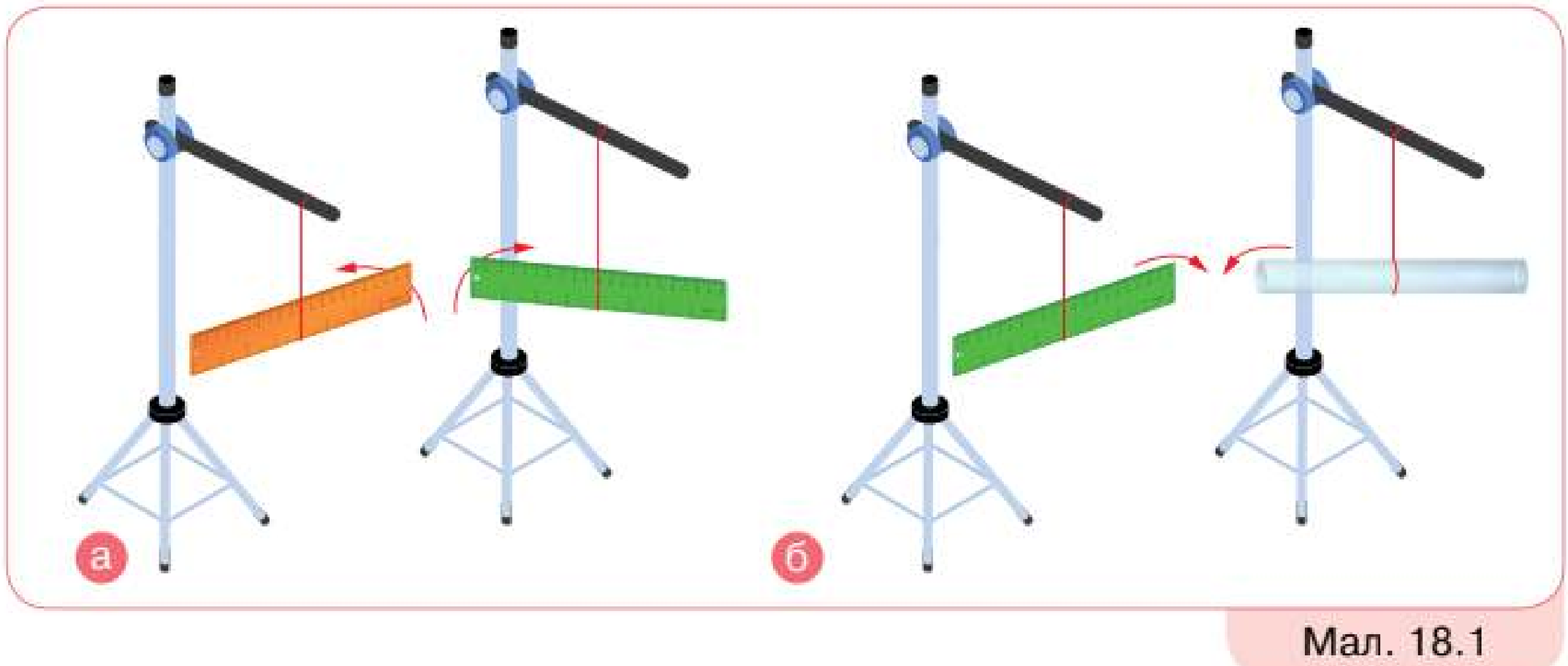
ДОСЛІДЖУЙ

З'ясуй, як взаємодіятимуть наелектризовані тіла. *Обладнання*: дві пластмасові лінійки, скляна паличка, аркуш паперу, шовкова тканина (або шкіра); вовняна тканина (або хутро).

Потри дві пластмасові лінійки об вовну й піднести одна до одної. Пересвідчись, що вони відштовхуватимуться (мал. 18.1, а).

Потри скляну паличку об папір й піднеси до однієї з лінійок. Пересвідчись, що вони притягуватимуться (мал. 18.1, б).

З'ясуй, об що потрібно потерти пластмасову лінійку, щоб вона теж притягувалась до іншої лінійки.



Мал. 18.1

ДІЗНАВАЙСЯ

Як відбувається електризація дотиком? Під час щільного контакту (тертя) тіл з різних матеріалів відбувається перехід електронів від одного тіла до іншого, а отже, одне тіло набуває електрони, а інше — втрачає. Слід зазначити, що сам процес тертя не є визначальним для електризації. Достатньо щільного контакту (дотику). Але під час тертя електризація є інтенсивнішою унаслідок збільшення площі дотику тіл.

Якщо після контакту тіла роз'єднати, то вони будуть різнойменно зарядженими: тіло, що отримало електрони, стане негативно зарядженим, а тіло, що їх втратило, — позитивно зарядженим (мал. 18.2).

Виявляється, що від дотику з різними речовинами та сама речовина може набувати заряду різних знаків. Якщо пластмасову лінійку потерти об вовняну тканину, вона набуває негативного заряду, а вовна, відповідно, позитивного. Вовна втримує свої електрони менш міцно, ніж пластмаса, тому під час контакту вовни і пластмаси електрони в основному переходять з вовняної тканини на пластмасову лінійку, а не навпаки (мал. 18.2, а).

Електризація дотиком (*electrification by touch*) — це процес набуття тілами, що контактують, електричного заряду внаслідок обміну електронами.

У випадку контакту скляної палички і паперу (чи шовку) електрони втрачає саме скло. Заряд скляної палички буде позитивним, а заряд паперу (чи шовку) — негативним (мал. 18.2, б).



Мал. 18.2

У кабінетах фізики можна побачити електрофорну машину (мал. 18.3), у якій використовується електризація через тертя й електризація через вплив. Це дає змогу накопичувати на кульках великі електричні заряди, які спричинюють електричний розряд — мініатюрну блискавку.



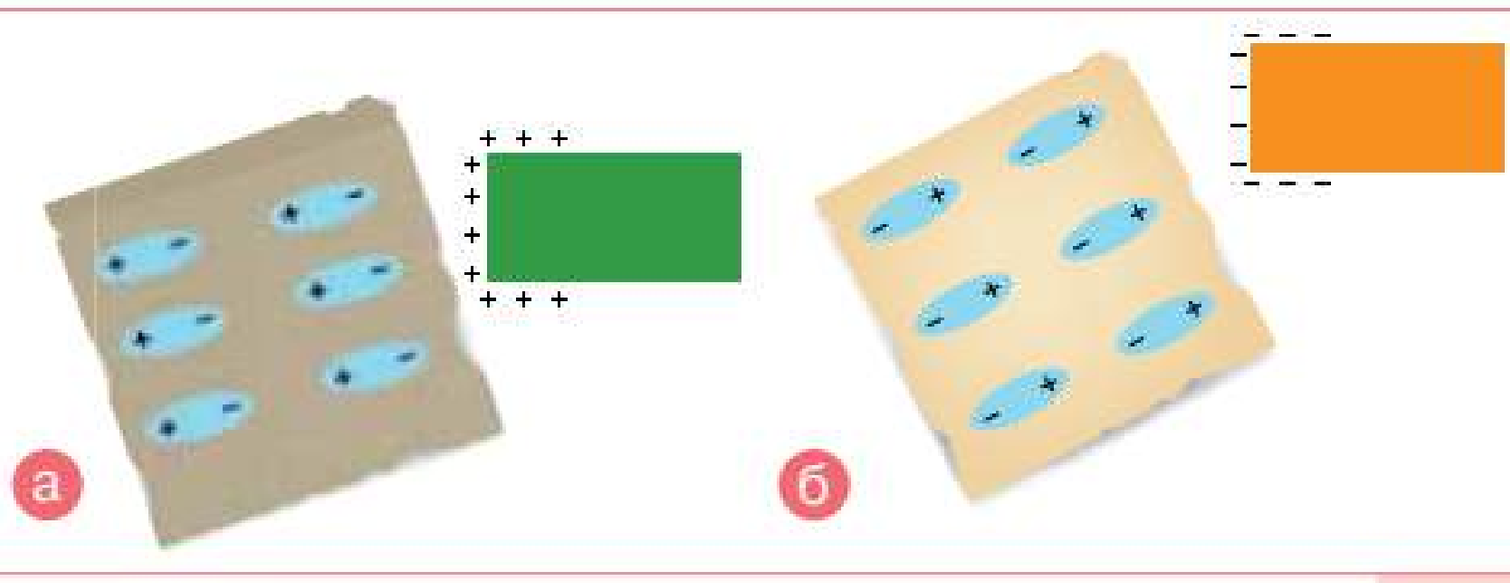
Мал. 18.3



Але коли ми виконували досліди із повітряною кулькою, то натерли тільки її. Папірці були електрично нейтральні, але починали прилипати до кульки відразу при наближенні, навіть без контакту.

Як відбувається електризація через вплив?

У цьому випадку електризація відбувається через вплив і без переходу електронів. Розглянь малюнок 18.4. Якщо до електрично нейтрального папірця наближати позитивно заряджене тіло, то електрони зміщуються ближче до нього, і папірець притягується (мал. 18.4, а). Подібні процеси відбуваються, коли до електрично нейтрального маленького папірця наближати негативно заряджене тіло. У цьому разі електрони папірця зміщуються у протилежний бік, і ближче до зарядженого тіла виявляються позитивно заряджені частинки в атомах паперу. Папір також притягуватиметься (мал. 18.4, б).



Мал. 18.4

Тепер зрозуміло, чому кулька «прилипала» до стіни (див. мал. 17.1, г). Вона була наелектризована й спричиняла перерозподіл зарядів у стіні.

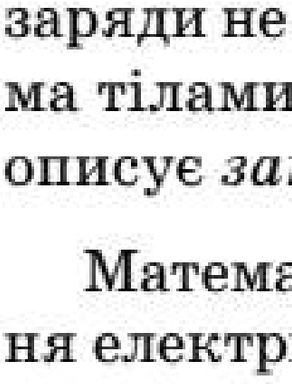


Існують й інші способи електризації тіл. Наприклад, метал можна зробити позитивно зарядженим, якщо освітити його відповідним світловим потоком. У результаті взаємодії світла з металом відбувається вивільнення електронів із поверхні металу. Втрачаючи електрони, метал стає позитивно зарядженим.

Електризація через вплив (*electrification due to impact*) — це перерозподіл електричного заряду в тілі, зумовлений дією на нього електричного поля зарядженого тіла.

Проте, електризувати металевий стрижень тертям тобі не вдасться, якщо ти будеш тримати його в руці. Оскільки електрони, не зупиняю-

чись, можуть пройти по металу та рухатися крізь людське тіло до Землі, яка теж є провідником. (Подумай, у який спосіб усе ж таки можна наелектризувати металевий стрижень тертям.)



Цікаво, а чи можна зробити навпаки: щоб наелектризовані тіла знову стали нейтральними?

Щоб дати відповідь на це запитання, виконай дослідження. Наелектризуй пластикову лінійку об вовняну тканину. Розділи їх. А тепер знову торкнися лінійкою до тканини і піднеси їх, наприклад, до повітряної кульки. Електричної взаємодії не буде.

Переконайся, що під час електризації нові електричні заряди не створюються. Із проведених дослідів з електризації можна зробити важливий висновок: за будь-якого способу електризації тіл електричні заряди не виникають і не зникають, а лише перерозподіляються між усіма тілами, які беруть участь у тому чи іншому процесі. Цю властивість описує *закон збереження електричного заряду*.

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

Математично закон збереження електричного заряду може бути сформульовано так: *алгебраїчна сума електричних зарядів, що утворюються в замкненій системі під час будь-яких взаємодій у цій системі, дорівнює нулю*. Термін «алгебраїчна сума» вживається тому, що електричні заряди є двох видів: позитивні й негативні. Математично позитивним зарядам приписується знак «+», негативним — знак «−». Пригадай, як у математиці: $-5 + 5 = 0$.

Як у випадку закону збереження енергії, у випадку закону збереження електричного заряду тіла, що взаємодіють, мають утворювати замкнену систему. Тобто вони мають взаємодіяти тільки одне з одним і не взаємодіяти з тілами, що не входять до цієї замкненої системи.

ДУМАЙ

1. Назви відмінності в способах електризації дотиком і через вплив.
2. Сформулюй закон збереження електричного заряду. Наведи приклади явищ, у яких спостерігається збереження заряду.
3. Чому будь-яке легеньке незаряджене тіло притягується до тіла, що має електричний заряд?

4 На шовковій нитці підвішено незаряджений пустотілий циліндр із алюмінієвої фольги. Якщо до нього наблизити наелектризовану скляну паличку, то він притягнеться до неї. Чому одразу після дотикання до палички він відштовхується від палички?

5 Чи можна на кінцях пластмасової лінійки отримати одночасно два різнойменних заряди? Запропонуй спосіб, як це зробити.

6 Якщо тілу, зарядженому позитивно, надати такий самий за модулем негативний заряд, то тіло виявиться електрично нейтральним. Чи можна стверджувати, що заряди в цьому тілі зникли?

7 Укажи знаки електричних зарядів, що виникають на тілах під час електризації (див. мал. 18.1).

ВИКОНАЙ ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

ВИКОНАЙ ЛАБОРАТОРНУ РОБОТУ №5

Виконуй роботу із дотриманням правил безпеки життєдіяльності.

1. З'ясуй, які заряди виникають на тілах під час електризації. *Обладнання*: надувна кулька, синтетична тканина, пластмасова лінійка, папір, хутро.
2. Накресли в зошиті таблицю і заповни її.

Наелектризовані тіла	Як взаємодіють із пластмасовою лінійкою, потертою об папір	Знак заряду
Надувна кулька, потерта об синтетичну тканину		
Пластмасова лінійка, потерта об хутро		
Пластмасова лінійка, потерта об папір		

ДІЙ

ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

Виконуй досліди з дотриманням правил безпеки життєдіяльності!

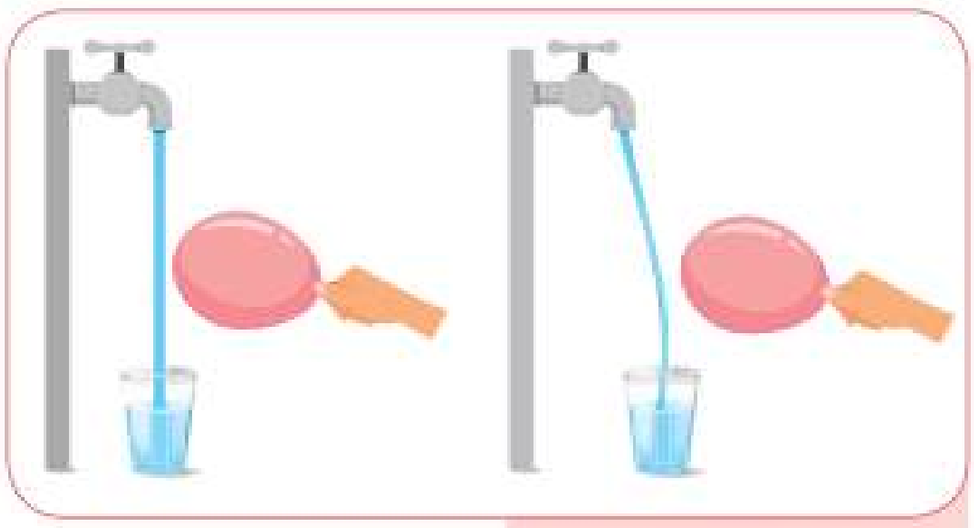
1 Візьми дві надуті повітряні кульки. Одну з кульок наелектризуй, потерши її об папір, іншу — об вовняну тканину чи хутро. Наближай кульки одну до одної і простеж, як залежить сила притягання між кульками від відстані між ними.

2 **Натри об волосся повітряну кульку й піднеси її до порожньої баночки з тонкої фольги (мал. 18.5). З'ясуй, у якому напрямку рухатиметься баночка. Поясни чому.**



Мал. 18.5

3 **Відкрий кран, щоб вода текла тонкою цівкою. Наелектризуй повітряну кульку (або пластмасову лінійку, ручку, гребінець) і піднеси до цівки води. Поясни явище, яке спостерігатимеш (мал. 18.6).**



Мал. 18.6

Переглянь в е-додатку відео досліду 3 (18.1). Виконай відеозавдання (18.2) та дослід (18.3).

ОПРАЦЮЙ ІНФОРМАЦІЮ

Прочитай текст і зроби відповідний малюнок.

Електризація через вплив зустрічається досить часто. Наприклад, наслідком такої електризації є блискавка. Унаслідок сильних висхідних потоків повітря в хмарі утворюються відокремлені області, заряджені різнойменними зарядами: нижня частина хмар виявляється зарядженою негативно, верхня — позитивно. Під хмарою внаслідок електризації через вплив відбувається накопичення електричного заряду протилежного знаку. Якщо накопичення зарядів стає дуже великим, відбувається електричний розряд — блискавка.

Наведи інші приклади явища електризації в природі, побуті, техніці. Опиши вплив цих явищ на живі організми.

Переглянь в е-додатку симуляції «Досліджуємо електризацію» (18.4).

ОЦІНИ СЕБЕ

Виконай в е-додатку завдання для самооцінювання (18.5).

§ 19. ДОСЛІДЖУЄМО ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ



Ми не можемо безпосередньо бачити електрони, але те, що вони є, не сумніваємось. Адже ученим вдалося винайти електронні мікроскопи і сфотографувати атом. З електричним полем так не вийде. Поле не складається з частинок. Проте і його ми можемо дослідити.

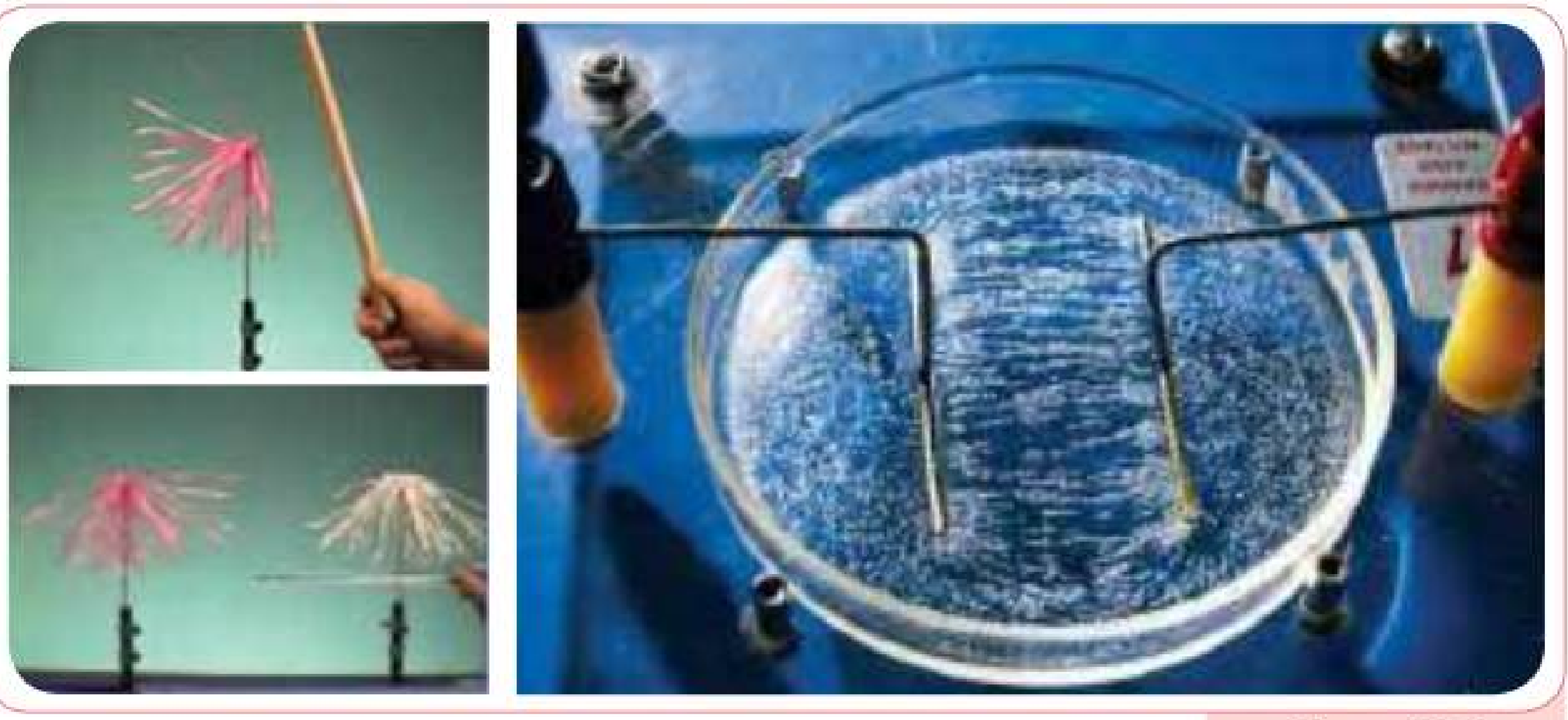
ДОСЛІДЖУЙ

1 **Переконайся, що навколо заряджених тіл існує електричне поле. Роздивись світлини (мал. 19.1). Не виключно, що й з тобою відбувалися подібні явища. Як думаєш, чому волосся стирчить саме так?**



Мал. 19.1

2 **У шкільному кабінеті фізики є «султанчики», або прилад для демонстрації електричних полів, за допомогою якого можна «побачити» електричне поле (мал. 19.2). Переконайся в цьому самостійно.**



Мал. 19.2

ДІЗНАВАЙСЯ

Які властивості має електричне поле? Особливістю електричного поля (як і гравітаційного) для людини є те, що людина не може безпосередньо сприймати його за допомогою органів чуття. Упевнитися в існуванні *електричного поля* (*electric field*) можна на підставі його впливу на будь-яке заряджене тіло, що міститься в цьому полі.

Роздивись малюнки 19.3, на яких проілюстровано дослід. На штативі висить позитивно заряджена кулька, на яку діють дві сили: сила натягу нитки N і сила тяжіння $F_{тяж}$ (мал. 19.3, а). Якщо наближати негативно заряджену пластину до позитивно зарядженої кульки, вона почне відхилятись від положення рівноваги в бік пластини. Отже, крім діючих сил (натягу нитки N і тяжіння $F_{тяж}$) в електричному полі пластини й кульки виникає ще одна сила — сила електромагнітної взаємодії $F_{ел}$ (мал. 19.3, б). Якщо наближати або віддаляти пластину, змінюватиметься кут, на який відхиляється кулька.



Мал. 19.3

Які висновки зробиш з досліду?

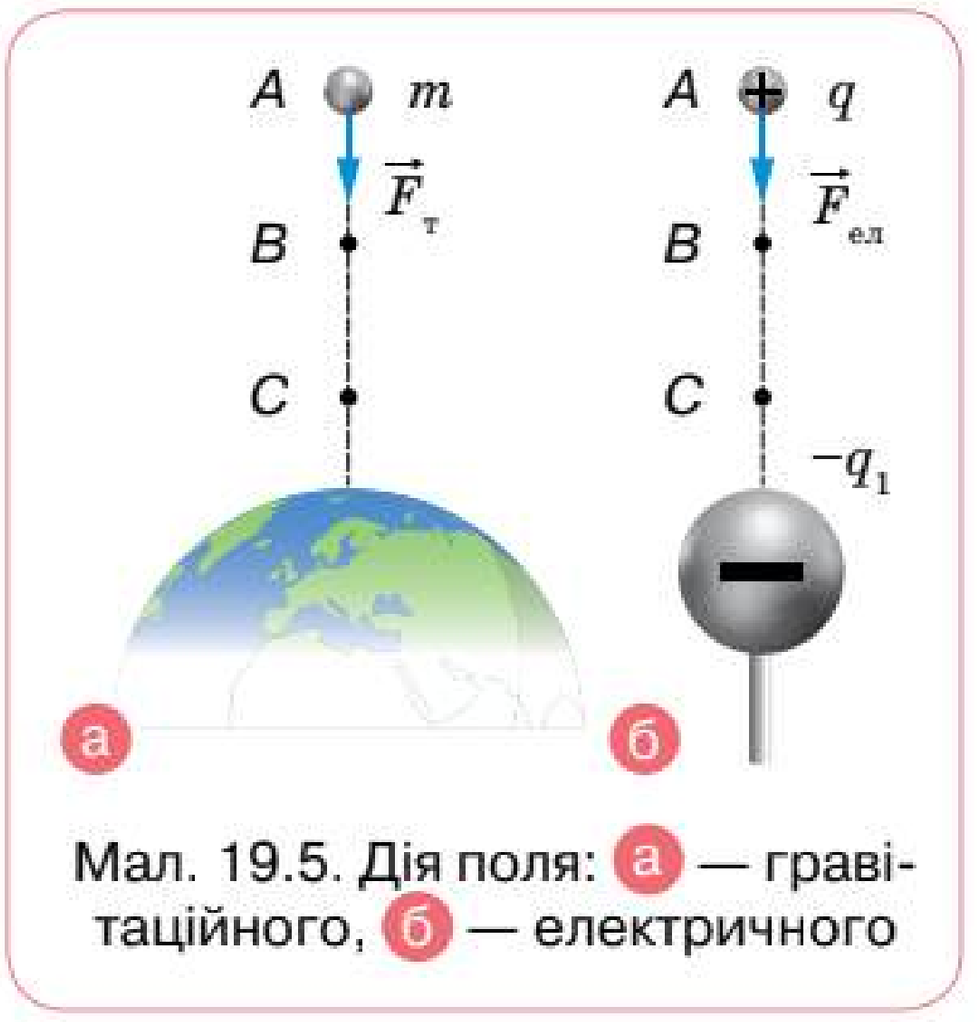
1. Електричне поле зарядженого тіла діє з певною силою на будь-яке інше заряджене тіло, що перебуває в цьому полі.
2. Електричне поле діє на заряджені тіла, що перебувають поблизу від нього, сильніше, ніж на тіла, що містяться на більшій відстані.

Переконатись в останньому висновку можна і за допомогою такого досліду (мал. 19.4). Навколо зарядженої кулі розміщувати маленькі кульки на різних відстанях і спостерігати за величиною відхилення.



Мал. 19.4

Щоб зрозуміти, як можна вимірювати дію поля, проведемо певну аналогію між полем тяжіння Землі (мал. 19.5, а) та електричним полем, що створюється, наприклад, негативно зарядженою металевою кулею, заряд якої $-q_1$ (мал. 19.5, б).



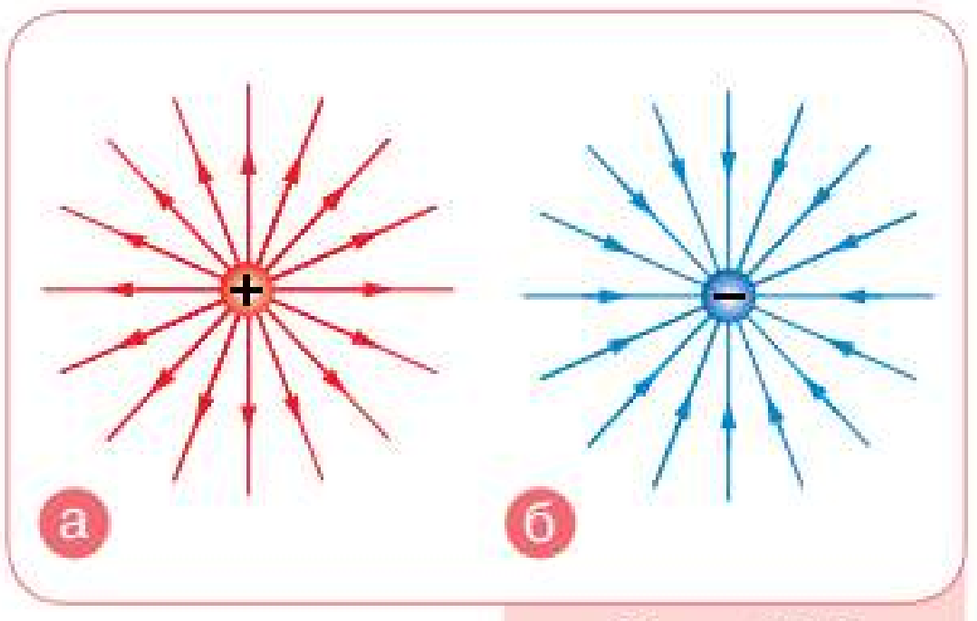
Мал. 19.5. Дія поля: а — гравітаційного, б — електричного

Обидва поля виявляють себе своєю дією. Поле тяжіння Землі змушує падати тіло масою m, електричне поле кулі із зарядом $-q_1$ притягує до себе заряджену частинку (протон, позитивний йон) або заряджене тіло, електричний заряд якого $+q$. В обох випадках поля здійснюють роботу, переміщуючи й розганяючи тіла. В обох випадках значення роботи залежить від відстані між взаємодіючими тілами. У випадку гравітаційної взаємодії дія поля залежить від маси тіл, у випадку електричного — від значення й знаку електричних зарядів. На відміну від Землі, що має фіксовану масу й фіксоване поле тяжіння, електричні поля можуть бути створені різними зарядженими тілами й різнитися за впливом на один і той самий електричний заряд: одні діють з більшою силою, інші — з меншою.

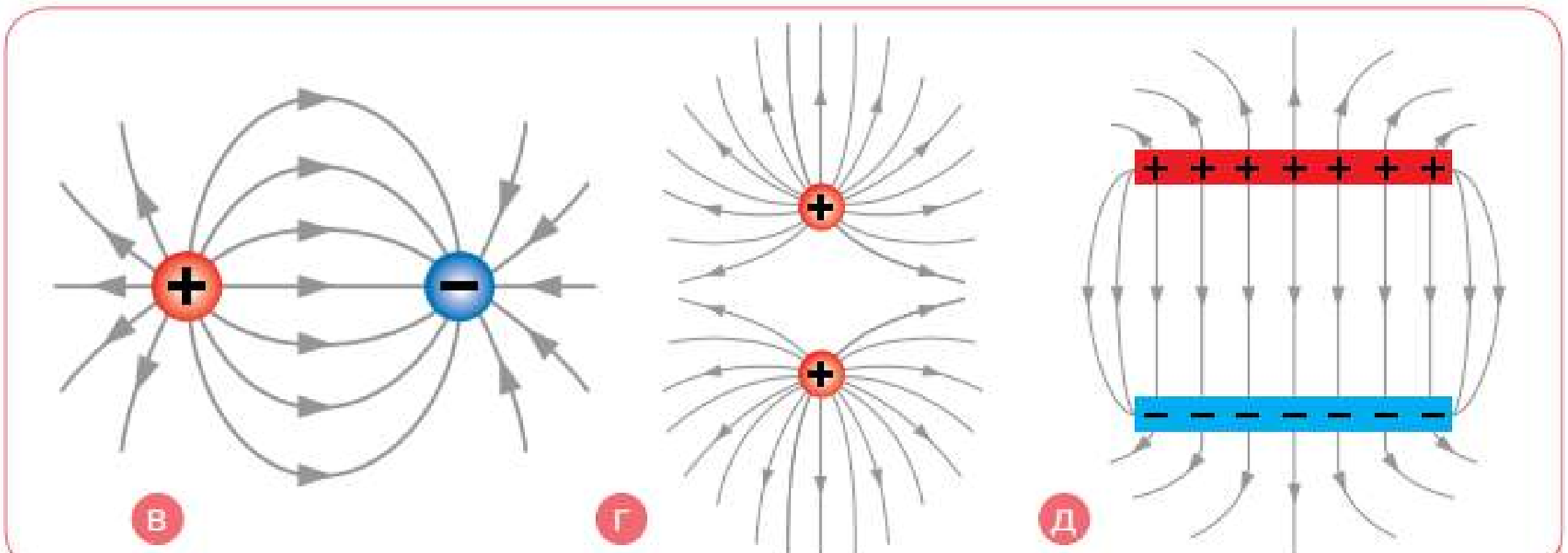
Як графічно зображають електричне поле? У ході досліджень електричного поля вченим вдалося з'ясувати й інші його властивості й представити його графічно.

Електричне поле маленької позитивно зарядженої кульки зображають лініями, напрямленими в усі боки від нього (мал. 19.5, а).

Відповідно, лінії електричного поля негативно зарядженої кульки напрямлені до неї (мал. 19.5, б). У разі взаємодії двох електрично заряджених тіл їхні поля накладаються. На малюнках 19.5, в, г зображено електричні поля однойменно та різнойменно заряджених кульок. Між двома паралельними пластинами, які мають однакові за значенням і протилежні за знаками заряди, лінії електричного поля напрямлені від позитивно зарядженої пластини до негативно зарядженої і рівномірно розміщені між пластинами (мал. 19.5, д).



Мал. 19.5



Продовження мал. 19.5

Переглянь в е-додатку анімаційну модель електричного поля (19.1).

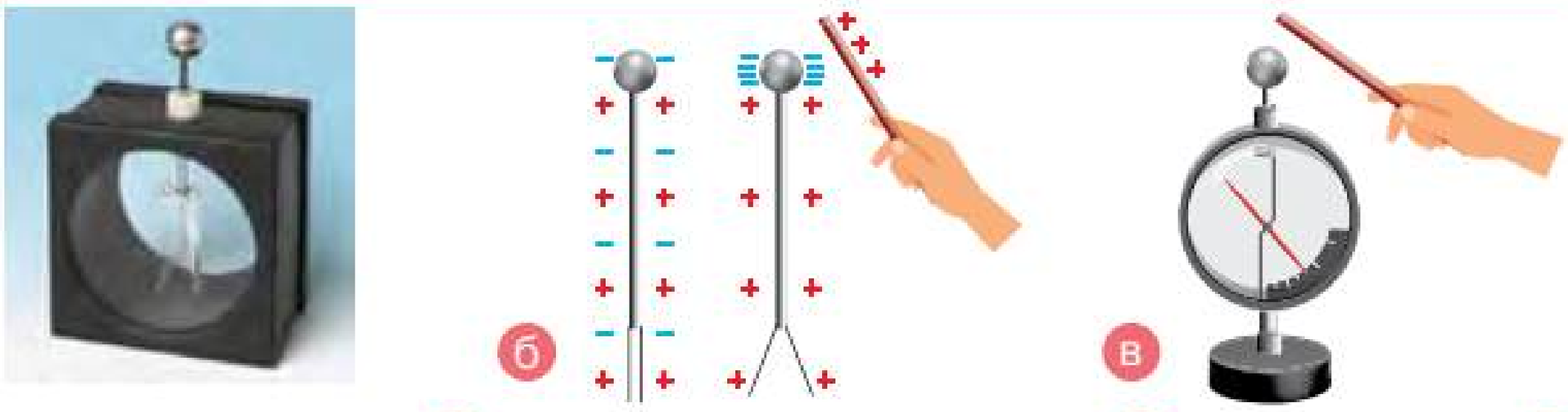
Використовуємо електроскоп і електрометр. Електричне поле можна не лише спостерігати, а й вимірювати його характеристики. Найпростіший прилад — електроскоп, який ти можеш виготовити самостійно.

Переглянь в е-додатку відео «Як зробити електроскоп» (19.2).

Електроскоп складається з металевого стрижня, до якого підвішено дві смужки паперу або алюмінієвої фольги. Стрижень укріплено за допомогою пластмасової пробки усередині металевого корпусу циліндричної форми, закритого скляними кришками (мал. 19.6, а).

При дотику зарядженого тіла, наприклад натертої скляної палички, до кулі, що міститься вгорі електроскопа, електричні заряди розподіляються по стрижню та смужками паперу або фольги. Оскільки однойменно заряджені тіла відштовхуються, під дією сили відштовхування смужки електроскопа розійдуться на деякий кут (мал. 19.6, б). Причому що більшою є величина заряду електроскопа, то більшою є сила відштовхування смужок, і тим на більший кут вони розійдуться. Якщо до зарядженого електроскопа піднести протилежно заряджене тіло, то кут між смужками почне зменшуватися. Отже, електроскоп дозволяє визначити знак заряду наелектризованого тіла.

Якщо внизу розмістити шкалу і замінити смужки стрілкою, то утвориться прилад електрометр (мал. 19.6, в). За його допомогою можна виміряти електричний заряд.



Мал. 19.6. Електроскоп (а), принцип дії електроскопа (б), електрометр (в)

За допомогою електроскопа або електрометра можна дослідити подільність (дискретність) електричного заряду. Розглянь малюнок 19.7.



Мал. 19.7

Маємо два однакові електрометри. Один із них заряджають, і, як видно з малюнка, стрілка відхилилася на чотири поділки (мал. 19.7, а). Якщо з'єднати ці електрометри металевим провідником із ручкою, виготовленою із діелектрика, то частина заряду із зарядженого електрометра переходить на незаряджений. З малюнка 19.7, б видно, що стрілка кожного електрометра відхилилася на дві поділки. Тобто початковий заряд зарядженого електрометра поділився на дві рівні частини. Якщо роз'єднати ці електрометри й один із них розрядити, доторкнувшись до його кульки рукою, а потім, як і в першому випадку, з'єднати ці електрометри, то заряд зарядженого електрометра знову поділиться на дві рівні частини.

Якщо заряджене та незаряджене тіла будуть різних розмірів, то виявиться, що електричний заряд поділиться таким чином, що *провідник із більшою площею поверхні набуде більшого електричного заряду*! Ця особливість використовується для захисту електричних приладів від накопичення статичної електрики на їхніх корпусах. Оскільки розміри Землі більші за розміри будинків й електричних приладів, то майже весь заряд із тіл переходить на Землю. Для захисту застосовують металеві провідники, з'єднані з добре провідними шарами ґрунту. Такий вид захисту називають заземленням.

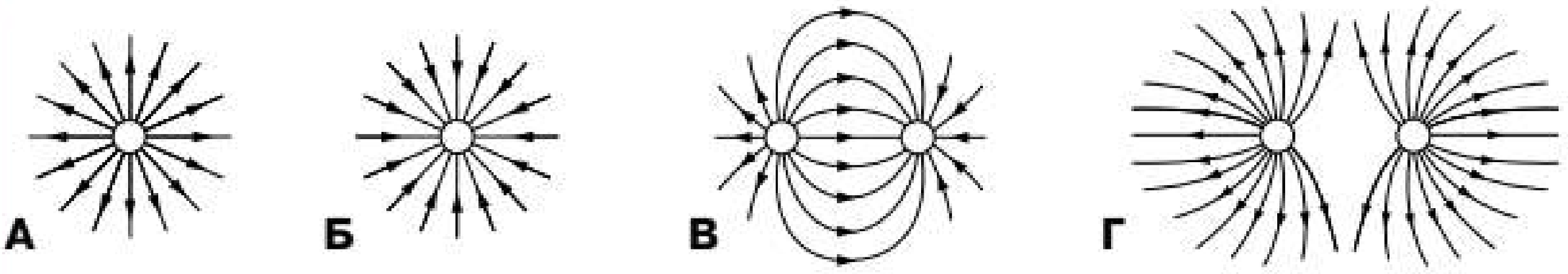
Переглянь в е-додатку симуляцію «Електроскоп» (19.3).

ДУМАЙ

1 Яким чином можна довести реальність існування електричного поля?

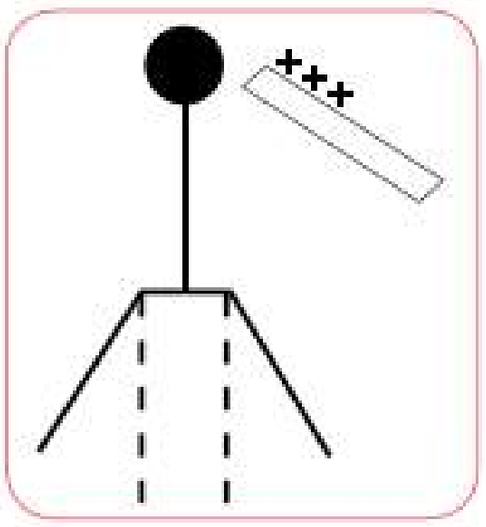
2 Як змінюється дія електричного поля в разі віддалення від електричного заряду, який його створює?

3 Установи відповідність між зображенням електричного поля (А–Г) та зарядами тіл, що його утворюють (1–5).



1 Негативний заряд
2 Позитивний і негативний заряди
3 Два негативні заряди
4 Позитивний заряд
5 Два позитивні заряди

4 Яким зарядом заряджено електроскоп? Пунктиром показано початкове положення смужок.



Виконай в е-додатку відеозавдання (19.4.1, 19.4.2).

ОПРАЦЮЙ ІНФОРМАЦІЮ

1 Людина, як і все живе, постійно перебуває в електростатичному полі Землі, яке певним чином впливає на життєдіяльність організму та може призвести до негативних наслідків. Поясни, у який спосіб можна зменшити вплив електричного поля на організм людини. З додаткових джерел дізнайся більше про *аеройонізатори*.

2 Дізнайся, як виміряли елементарний електричний заряд електрона.

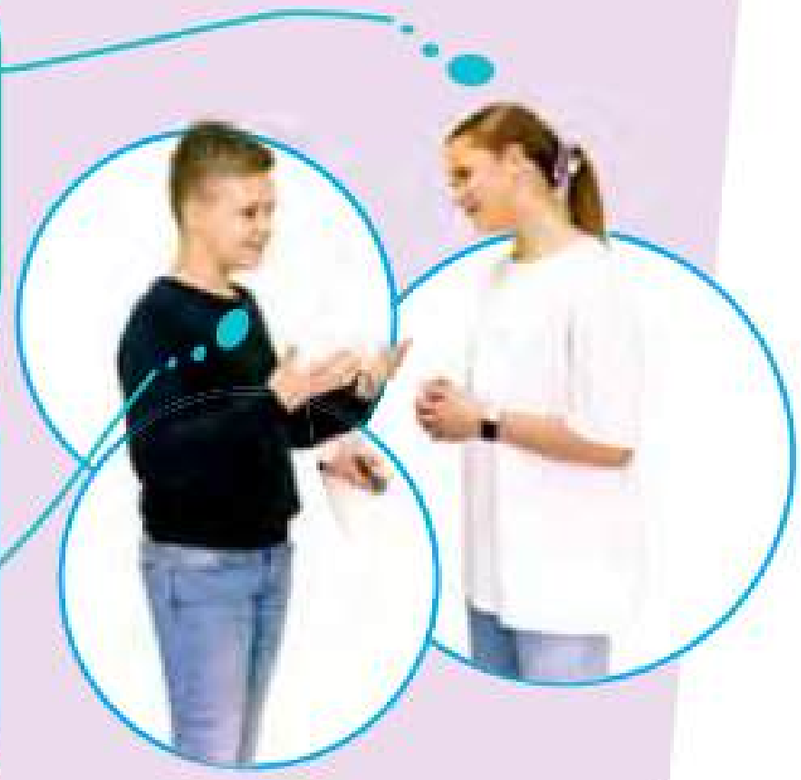
ОЦІНИ СЕБЕ

Виконай в е-додатку завдання для самооцінювання (19.5).

§ 20. ВИМІРЮЄМО СИЛУ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ВЗАЄМОДІЇ

Взаємодія. Сила. Поле. Здається, вже щось подібне ми вчили. О, пригадала! У 7 класі ми визначали силу тяжіння, що діє у гравітаційному полі під час взаємодії тіла із Землею.

Так, і попри те, що гравітаційна взаємодія є між усіма тілами, ми навчилися визначати силу тяжіння між Землею та окремим тілом. Можливо, можна виміряти і силу електричної взаємодії між двома зарядженими тілами?



ДОСЛІДЖУЙ

Для вимірювання сили електричної взаємодії можна скористатися відповідним обладнанням (мал. 20.1, а), комп'ютерною симуляцією (мал. 20.1, б) або вже отриманими результатами дослідів (мал. 20.1, в).

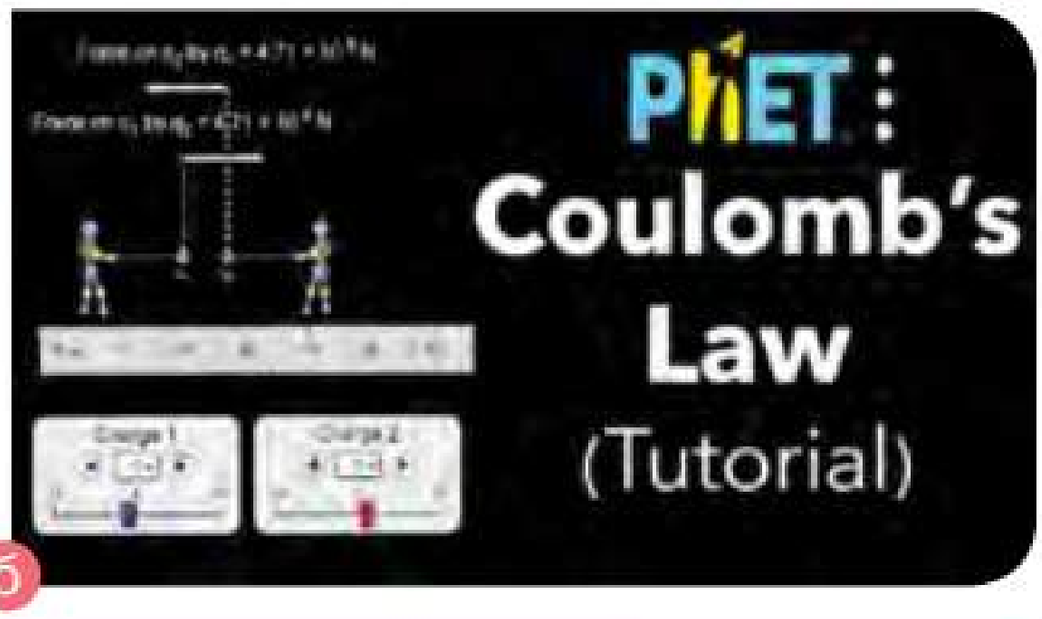
Роздивись уважно малюнок 20.1, в. На початку дослідів електрично заряджені тіла, що мали однакові заряди q, були розміщені на відстані R_1, і між ними діяла сила F_1.

У скільки разів змінили величину електричного заряду в досліді 2? Чи змінилася відстань між тілами? Як і у скільки разів при цьому змінилася сила F_2?

У скільки разів змінили відстань між зарядженими тілами в досліді 3? Яке значення електричних зарядів у цьому досліді? Як і у скільки разів при цьому змінилася сила F_3?

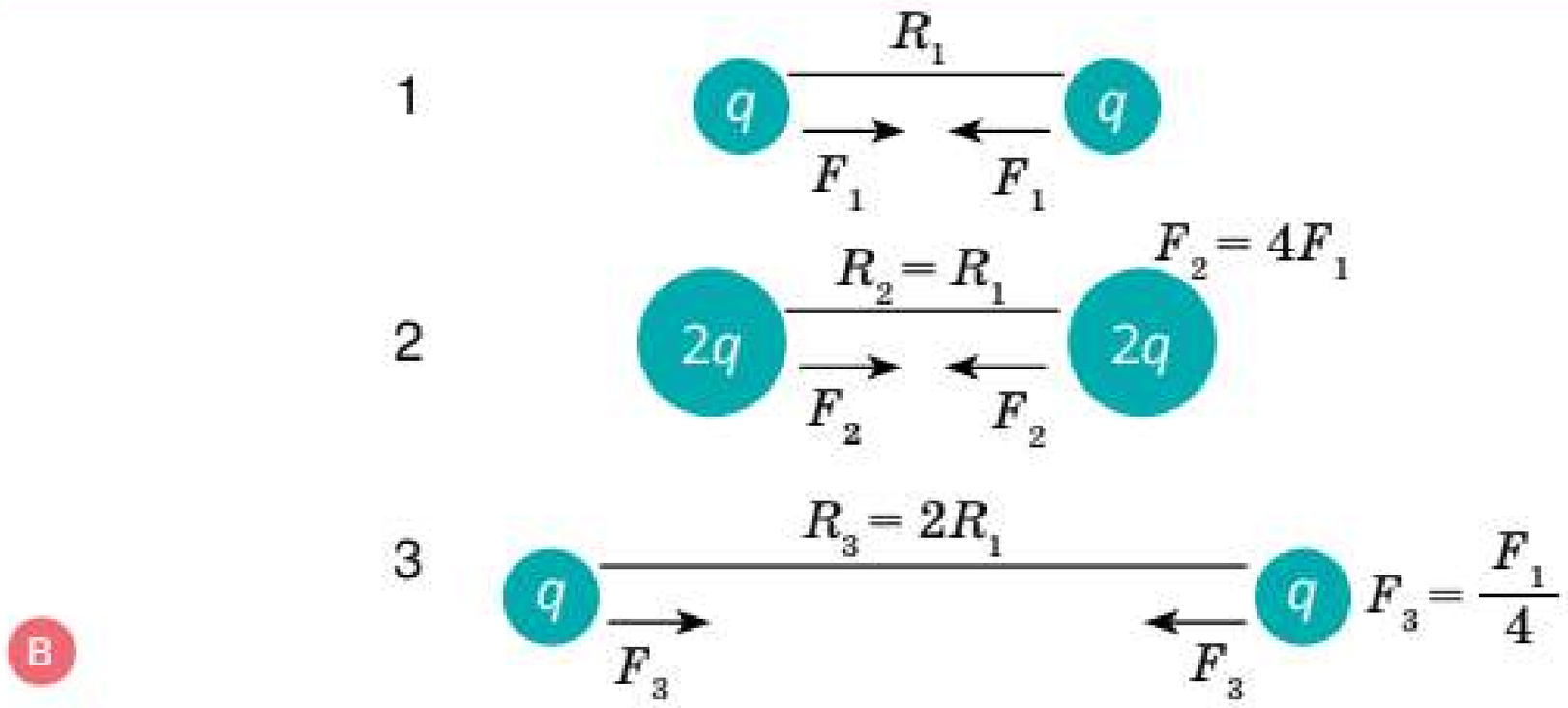


а



б

Мал. 20.1



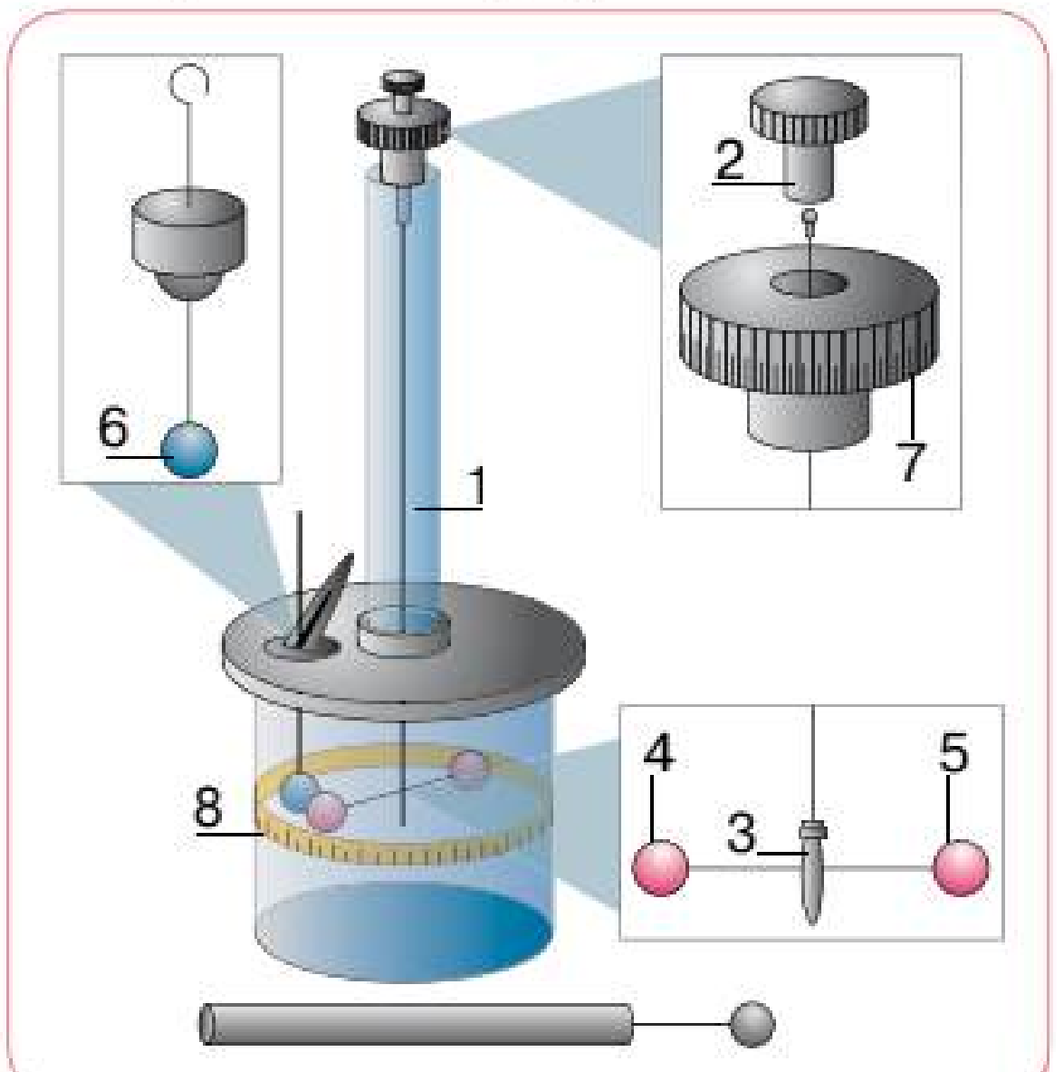
Продовження мал. 20.1

ДІЗНАВАЙСЯ

Хто і як уперше виміряв силу електричної взаємодії? Перш ніж про це дізнатись, зробимо ще деякі уточнення. Ми вживали терміни *електричний заряд*, *елементарний електричний заряд*. Інколи для спрощення вживали тільки термін *заряд*. Ще є термін *точковий електричний заряд*. Чи є принципова відмінність у цих термінах?

Терміном *заряд* називають фізичну величину q — значення електричного заряду на тілі. Будь-який заряд на тілі кратний елементарному електричному заряду: $q = eN$. Це тому, що для дослідження електричної взаємодії, коли не важливі розміри й інші параметри зарядженого тіла, використовують термін *точковий електричний заряд*. Пригадай: вивчаючи механічні явища, ми використовували термін *матеріальна точка*, маючи на увазі будь-яке тіло, розміри якого малі порівняно з відстанню. Аналогічно точковими електричними зарядами називають заряджені тіла, розміри яких малі порівняно з відстанню між ними. Інколи спрощено вживають просто термін *заряд*, під яким розуміють саме точковий електричний заряд $+q_1$ $-q_2$.

Взаємодію таких точкових електричних зарядів досліджував французький фізик Шарль Кулон. У своїх дослідах Кулон використав маленькі заряджені кульки (які можна вважати точковими електричними зарядами) і *крутильні терези*. Їх будову зображено на малюнку 20.2.



Мал. 20.2

Переглянь в е-додатку анімаційну модель досліду Кулона (20.1).

До верхньої кришки скляного циліндра прикріплено трубку, усередині якої розташований *пружний дріт* (1), прикріплений до *рукоятки* (2), яку можна обертати. До пружного дроту підвішене легке *коромисло* (3), з одного боку якого міститься *металева кулька* (4), а з іншого — *противага* (5). Через отвір у кришці на спеціальному тримачі у крутильні терези можна вносити наелектризовану *кульку* (6), однакову за розміром із кулькою 4. Обертаючи верхню кришку циліндра, наелектризованою кулькою 6, торкаються кульки 4. Електричний заряд розподіляється між кульками порівну. Внаслідок електромагнітної взаємодії коромисло з кулькою 4 повертається і закручує дріт доти, доки сила пружності, що виникла в ньому, не врівноважує силу електричної взаємодії. Кути закручування визначаються за допомогою двох шкал із градусними поділками: перша — на *верхній кришці* (7), що обертається, друга — на бічній поверхні *скляного циліндра* (8).

Спочатку Кулон з'ясовував, як залежить сила взаємодії від відстані між кульками. Виявилося, що в разі зменшення відстані у два, три, чотири рази сила взаємодії збільшувалася відповідно в чотири, дев'ять і шістнадцять разів. Це дало змогу зробити висновок: *сила взаємодії двох точкових зарядів обернено пропорційна квадрату відстані між ними*: $F_{ел} \sim \frac{1}{R^2}$.

Складність експерименту полягала в тому, що вчений не володів точним методом вимірювання заряду на кульках, тому йому довелося застосувати такий прийом. Спочатку він вимірював силу взаємодії кульок, що мали однакові заряди. Потім до однієї з кульок (наприклад, до кульки 4) він торкався незарядженою кулькою такого самого розміру, яку потім віддаляв на значну відстань. Оскільки при цьому заряд розподілявся порівну між обома кульками, заряд кульки 4 зменшувався вдвічі. І Кулон уже вимірював силу взаємодії між кульками, що мали різні заряди. Виконуючи дослід кілька разів, Кулон дійшов висновку: *сила електричної взаємодії зарядів пропорційна добутку модулів цих зарядів*: $F_{ел} \sim |q_1| \cdot |q_2|$.

У результаті досліджень Кулон встановив закон, що згодом отримав його ім'я, а силу взаємодії між електрично зарядженими тілами називають електричною, або кулонівською, силою.

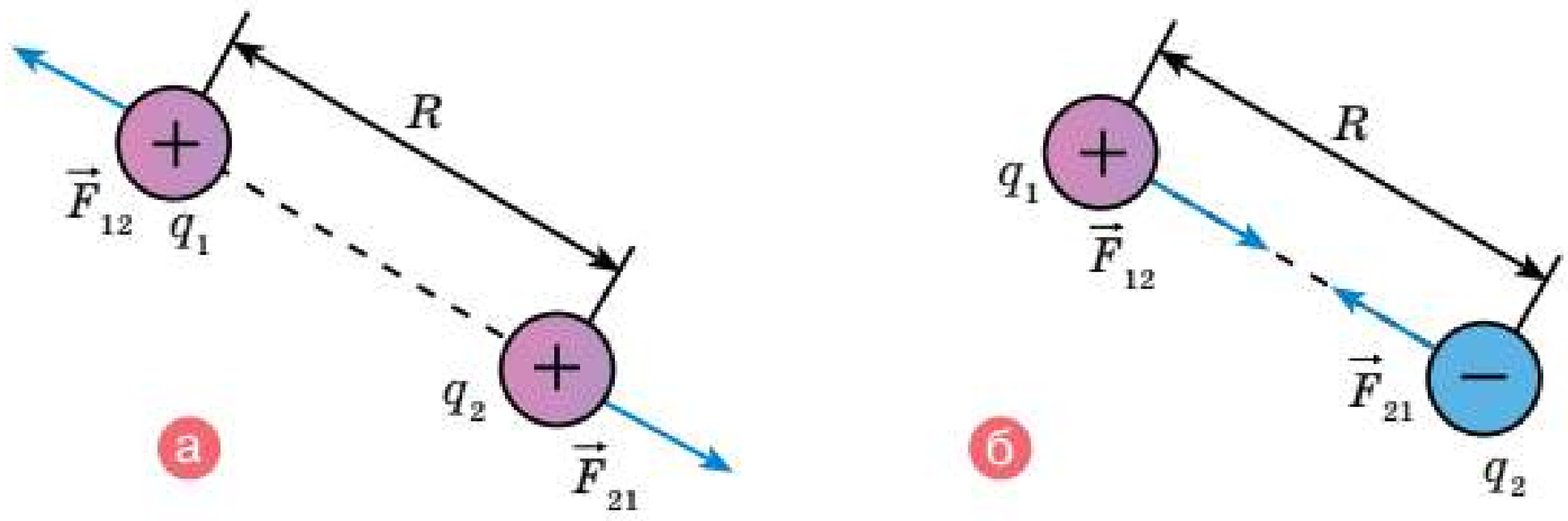
Коефіцієнт пропорційності показує, що два точкові заряди по 1 Кл, що містяться у вакуумі на відстані 1 м один від одного, взаємодіють із силою $9 \cdot 10^9$ Н. Як видно, це досить велика сила!

Закон Кулона (*Coulomb's law*): сила взаємодії двох нерухомих точкових зарядів прямо пропорційна добутку модулів цих зарядів, обернено пропорційна квадрату відстані між ними та напрямлена вздовж прямої лінії, що з'єднує ці заряди (мал. 20.3).

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

За інших значень електричних зарядів і відстаней між ними значення кулонівської сили буде іншим. На величину сили взаємодії електричних зарядів впливає також і середовище, в якому вони перебувають. У вакуумі сила взаємодії буде найбільшою.

Зверни увагу й на те, що у формулюванні закону йдеться про модулі електричних зарядів. Зрозуміло, що на числове значення сили взаємодії знак електричного заряду не впливає, проте напрямок сили взаємодії визначається саме знаками зарядів (мал. 20.3).



Мал. 20.3. Напрямки сил взаємодії точкових зарядів: а — однойменних; б — різнойменних

ДУМАЙ

1. Чому Ш. Кулон, виконуючи дослід, був упевнений, що електричний заряд змінюється саме вдвічі?
2. Яке призначення пружного дроту у крутильних терезах, що використовував Ш. Кулон у своїх дослідах?
3. Чому у формулюванні закону Кулона слід обов'язково користуватися терміном «точковий заряд»?
4. Як зміниться сила взаємодії двох точкових зарядів, якщо відстань між ними збільшити втричі? Якщо заряд кожного з них збільшити вдвічі?

ДІЙ

УЧИСЬ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ЗАДАЧІ

Заряди двох однакових маленьких кульок дорівнюють −2 нКл і 10 нКл. Кульки привели в контакт одна з одною, після чого їх розвели на початкову відстань. У скільки разів змінилася сила взаємодії між кульками?

Дано:	СІ	Розв'язання:
$q_1 = -2$ нКл $q_2 = 10$ нКл	$-2 \cdot 10^{-9}$ Кл $10 \cdot 10^{-9}$ Кл	Початкова сила взаємодії між кульками визначається за формулою: $F_0 = k\dfrac{\lvert q_1\rvert \cdot \lvert q_2\rvert}{R^2}$.
$\dfrac{F_0}{F}$ — ?		

Заряд на кожній кульці після дотику став однаковим:

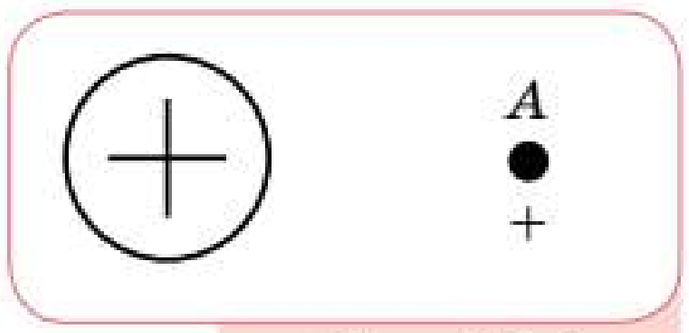
$q = \dfrac{q_1 + q_2}{2}$, $q = \dfrac{-2 \cdot 10^{-9}\ \text{Кл} + 10 \cdot 10^{-9}\ \text{Кл}}{2} = 4 \cdot 10^{-9}$ Кл. Відношення сил

$\dfrac{F_0}{F} = \dfrac{k\lvert q_1\rvert \cdot \lvert q_2\rvert \cdot R^2}{R^2 \cdot k \cdot q^2} = \dfrac{\lvert q_1\rvert \cdot \lvert q_2\rvert}{q^2}$, $\dfrac{F_0}{F} = \dfrac{2 \cdot 10^{-9}\ \text{Кл} \cdot 10 \cdot 10^{-9}\ \text{Кл}}{(4 \cdot 10^{-9})^2\ \text{Кл}^2} = 1{,}25.$

Відповідь: модуль сили зменшиться в 1,25 раза.

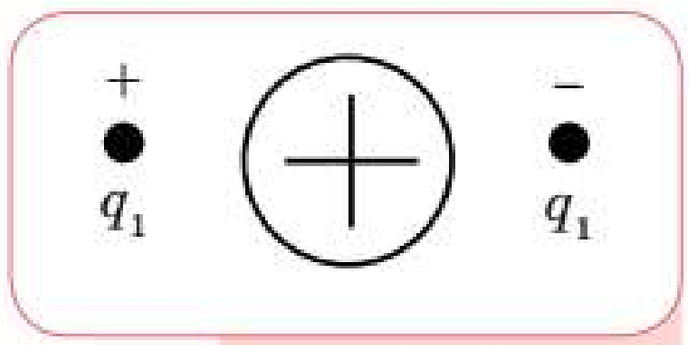
РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

1 В електричному полі рівномірно зарядженої кулі у точці A знаходиться заряджена пилинка (мал. 20.4). Виконай цей малюнок у зошиті і покажи на ньому силу, що діє на пилинку з боку електричного поля кулі.



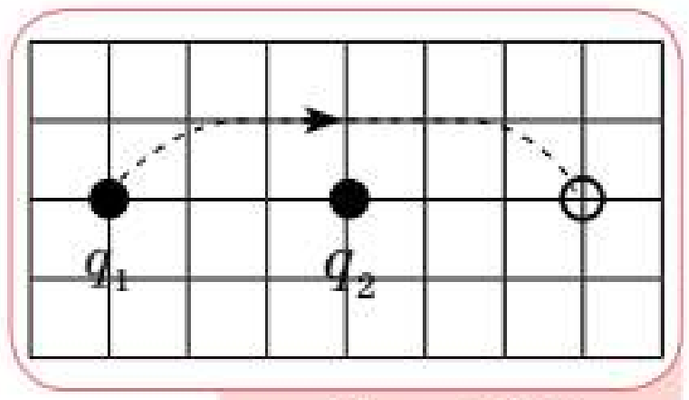
Мал. 20.4

2 Рівні за величиною заряди q_1 і q_2 розташовано з обох боків від зарядженої металевої кулі на однакових відстанях від неї (мал. 20.5). Виконай цей малюнок у зошиті і покажи на ньому сили, що діють на заряди q_1 і q_2. Порівняй ці сили.



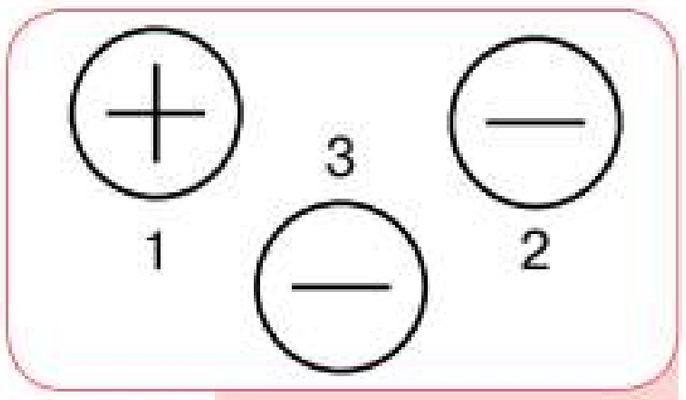
Мал. 20.5

3 На малюнку 20.6 схематично зображено два точкові заряди, розміщені у вакуумі. Як зміниться напрям і модуль сили взаємодії між зарядами, якщо один із них перенести у напрямку, показаному стрілкою?



Мал. 20.6

4 На малюнку 20.7 зображено розташування трьох однаково заряджених тіл у просторі. Вкажи правильний характер взаємодії між тілами.



Мал. 20.7

5 Поясни, як зміниться сила взаємодії двох точкових зарядів, якщо відстань між ними збільшити у 3 рази?

6 Поясни, як зміниться сила взаємодії між двома зарядженими точковими тілами, що мають заряди q і $-q$ і перебувають на деякій відстані, якщо: а) заряд кожного з них збільшити у два рази; б) кожній кульці додати заряд $2q$.

7 Обчисли відстань між двома розташованими у повітрі точковими зарядами 10 нКл і 3 нКл, якщо сила їх взаємодії становить $24 \cdot 10^{-5}$ Н.

8 Два однакових точкових позитивних заряди перебувають на відстані 10 мм один від одного. Заряди взаємодіють із силою $8{,}1 \cdot 10^{-4}$ Н. Визнач величини цих зарядів.

9 Електричні заряди двох хмар відповідно дорівнюють 20 і −30 Кл. Середня відстань між хмарами 30 км. З якою силою взаємодіють хмари?

10 Дві металеві кульки, кожна з яких має заряд 10^{-7} Кл, знаходяться на відстані 0,1 м одна від одної. Обчисли силу взаємодії між ними.

11 Визнач відстань між двома зарядженими кульками, якщо заряд кожної з них 10 нКл, а сила взаємодії — 1 мН.

12* Обчисли силу притягання між ядром атома Водню й електроном. Радіус атома водню $0{,}5 \cdot 10^{-8}$ см, заряд ядра рівний за величиною і протилежний за знаком заряду електрона.

13 Користуючись законом Кулона, заповни таблицю.

F, Н	q_1, Кл	q_2, Кл	R, м
?	$2 \cdot 10^{-9}$	$5 \cdot 10^{-9}$	0,2
$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-9}$	?	0,2
$2 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-9}$	$5 \cdot 10^{-9}$	?

Переглянь в е-додатку симуляції «Вивичаємо закон Кулона» (20.2).

ОЦІНИ СЕБЕ

Виконай в е-додатку завдання для самооцінювання (20.3).

§ 21. ДОСЛІДЖУЄМО ЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ РЕЧОВИН

Пригадуєш, коли ми вивчали теплові явища, то з'ясували, що є різні види передавання тепла і що різні речовини по-різному передають тепло.

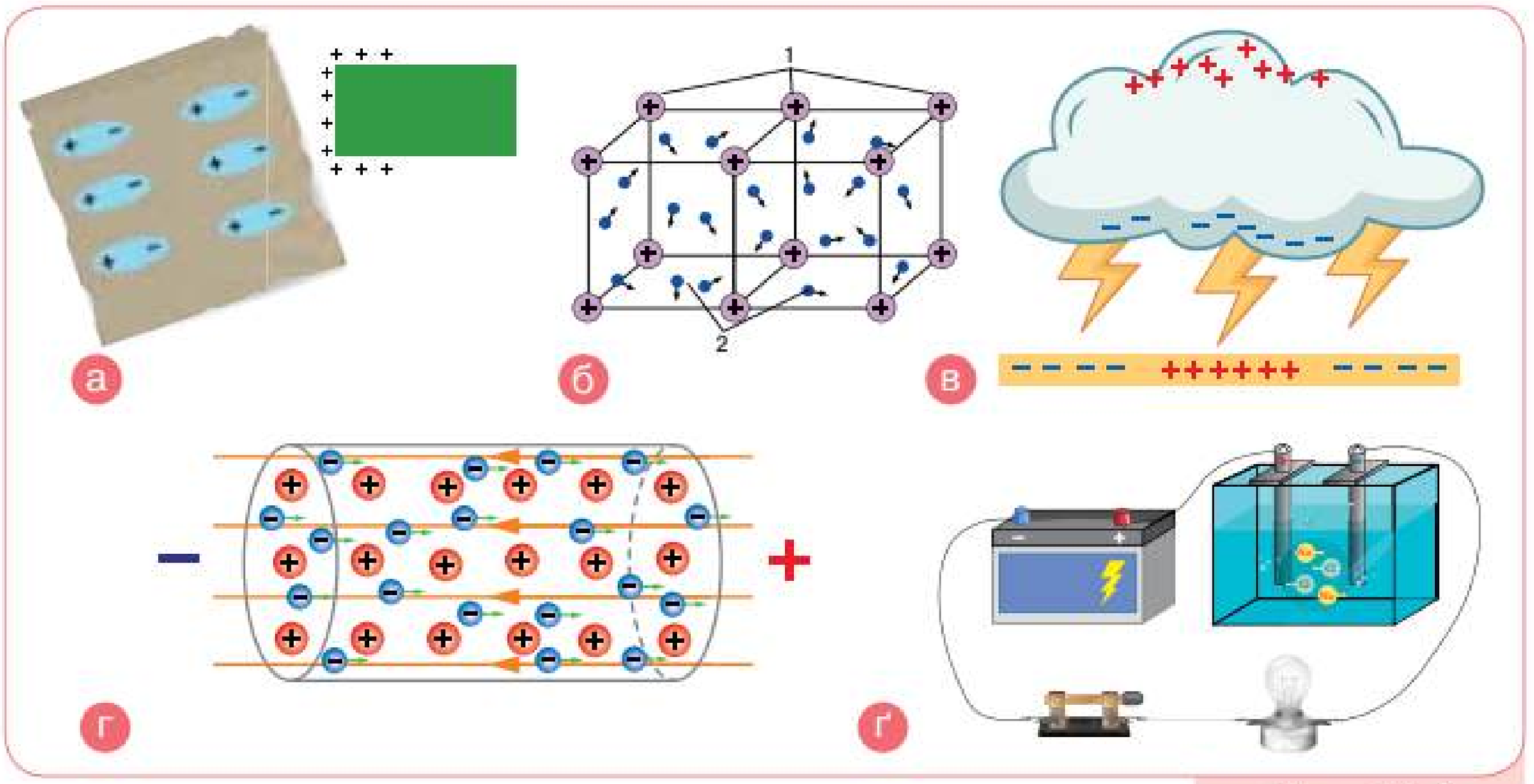




Так, і особливості передавання тепла різними речовинами були обумовлені різним характером руху і взаємодії частинок речовини. Цікаво, чи існує подібний зв'язок і в електричних явищах?

ДОСЛІДЖУЙ

Роздивись малюнки 21.1 (а–ґ). Деякі з них уже були розглянуті у цьому підручнику, деякі, можливо, тобі відомі із природничих курсів, а на деяких зображено об'єкти і процеси, які ти, можливо, упізнаєш. Спробуй установити відповідність між малюнком (а–ґ) та описом (1–6). Зверни увагу, що варіантів опису більше, ніж малюнків. Подумай, який опис підходить кільком малюнкам або є зайвим. Перевір своє припущення, прочитавши параграф.



Мал. 21.1

1 У металах кристалічні ґрати утворені позитивними йонами, поміж якими вільно хаотично рухаються електрони.

2 Існують речовини (тверді, рідкі й газуваті), які мають заряджені частинки, що здатні рухатися впорядковано по всьому об'єму тіла внаслідок електромагнітної дії.

3 Існують речовини (тверді, рідкі й газуваті), заряджені частинки яких можуть лише зміщуватися внаслідок електромагнітної дії.

4 Повітря, яке за нормальних умов містить електрично нейтральні молекули, може за певних умов електризуватись — розподіляти області, які будуть різнойменно заряджені.

5 Вода за нормальних умов містить електрично нейтральні молекули. У разі розчинення в ній кухонної солі утворюються йони, які за певних умов можуть рухатись упорядковано.

6 Метали завжди містять вільні електрони, здатні рухатися впорядковано внаслідок електромагнітної дії.

ДІЗНАВАЙСЯ

За якою ознакою речовини поділяють на провідники, ізолятори та напівпровідники? Проведені тобою дослідження переконують, що електричні властивості речовин залежатимуть від внутрішньої будови речовини, а, зокрема, від наявності в ній електрично заряджених частинок, здатних упорядковано рухатися внаслідок електромагнітної дії.

За цією ознакою речовини поділяють на провідники, ізолятори (діелектрики) та напівпровідники.

Провідниками є всі метали, деякі хімічні сполуки, водні розчини солей, кислот, лугів, розплави солей тощо. Провідником є і тіло людини, яке на дві третини складається з рідини.

Провідниками (*conductors*) називають речовини, які мають заряджені частинки, що внаслідок електромагнітної дії здатні рухатися впорядковано по всьому об'єму тіла.

Тому в завданні на початку параграфа до опису 2 підходять малюнки 21.1 (в, г, ґ).

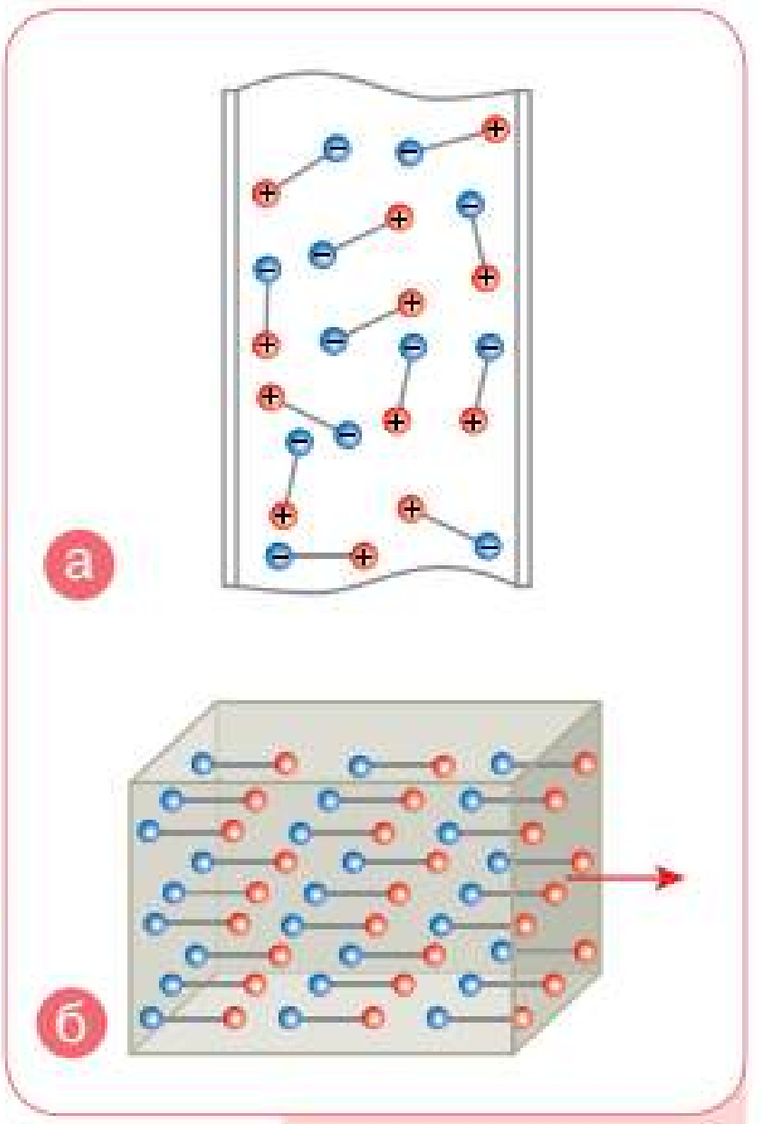
Найкращими провідниками серед твердих тіл є метали. Це обумовлено особливістю їх внутрішньої будови, а саме наявністю вільних електронів. За звичайних умов ці електрони рухаються хаотично (мал. 21.1, б) між вузлами кристалічних ґрат.

Переглянь в е-додатку анімаційну модель електропровідності металів (21.1).

Речовини, які не мають вільних носіїв електричного заряду, називають *ізоляторами* (*діелектриками*).

Серед діелектриків є такі, молекули яких складаються з різних атомів, при цьому розташування їх таке, що центри розподілу позитивного й негативного зарядів не збігаються (полярні діелектрики). За нормальних умов рух таких молекул хаотичний, але обмежений (вільно по всьому об'єму молекули рухатись не можуть (мал. 21.2, а). Проте у випадку зовнішньої електромагнітної взаємодії молекули можуть розташуватись упорядковано (продовжуючи хаотично коливатися) (мал. 21.2, б).

Діелектрики (*dielectrics*) — матеріали, в яких заряди зв'язані й можуть лише зміщуватися внаслідок електромагнітної дії.



Мал. 21.2

Переглянь в е-додатку симуляцію «Провідники-діелектрики» (21.2) та анімаційну модель поляризації діелектриків (21.3).

vse.ee/cnsf

Є діелектрики, у яких таке зміщення не є постійним, а виникає у випадку зовнішньої електромагнітної взаємодії (наприклад, за електризації).

До діелектриків належать усі гази за нормальних умов, рідини (гас, спирти, ацетон, дистильована вода тощо), тверді тіла (скло, пластмаси, сухе дерево, папір, гума тощо). Повітря також є діелектриком.

Проте, якщо умови змінюються, наприклад під час нагрівання, в діелектрику можуть виникнути вільні електричні заряди. Тому поділ речовин на провідники і діелектрики є умовним.

Напівпровідники (*semiconductors*) — матеріали, які можуть вивільнювати електрони під дією зовнішніх чинників.

Серед твердих діелектриків існує група речовин, які можуть тривалий час зберігати наелектризований стан. До них належить ряд органічних (парафін, бджолиний віск, нейлон, ебоніт тощо) і неорганічних (сірка, борне скло та інші) речовин.

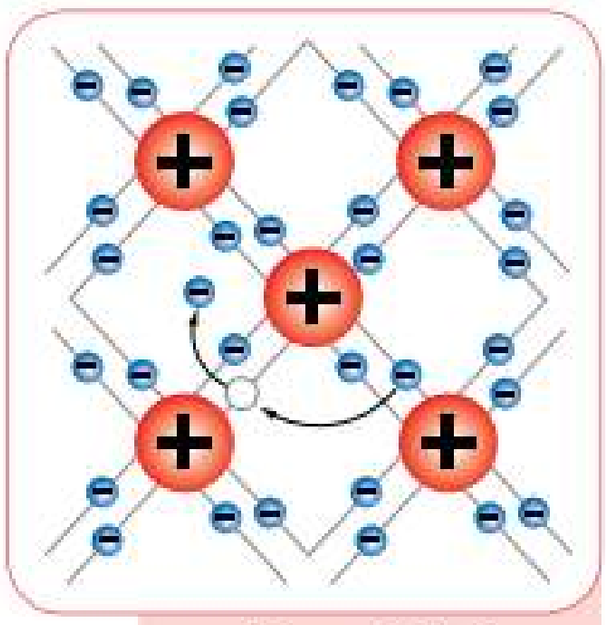
Існує й третя група речовин — *напівпровідники*.

За нормальних умов напівпровідник не має вільних електричних зарядів. Але під час нагрівання, опромінення або додавання домішок до напівпровідника може відбутись розривання зв'язків (мал. 21.3), внаслідок чого електрон може покинути своє місце, утворюючи дірку.

Таким чином утворюються електричні носії заряду, рух і кількість яких можна регулювати.

Переглянь в е-додатку анімаційну модель утворення вільних електронів і дірок в напівпровіднику (21.4).

vse.ee/cnsg



Мал. 21.3

До напівпровідників належать значно більше речовин, ніж до провідників і діелектриків разом. Напівпровідниками є ряд хімічних елементів (Силіцій, Германій, Селен) та деякі сполуки (оксиди, сульфіди, телуриди).

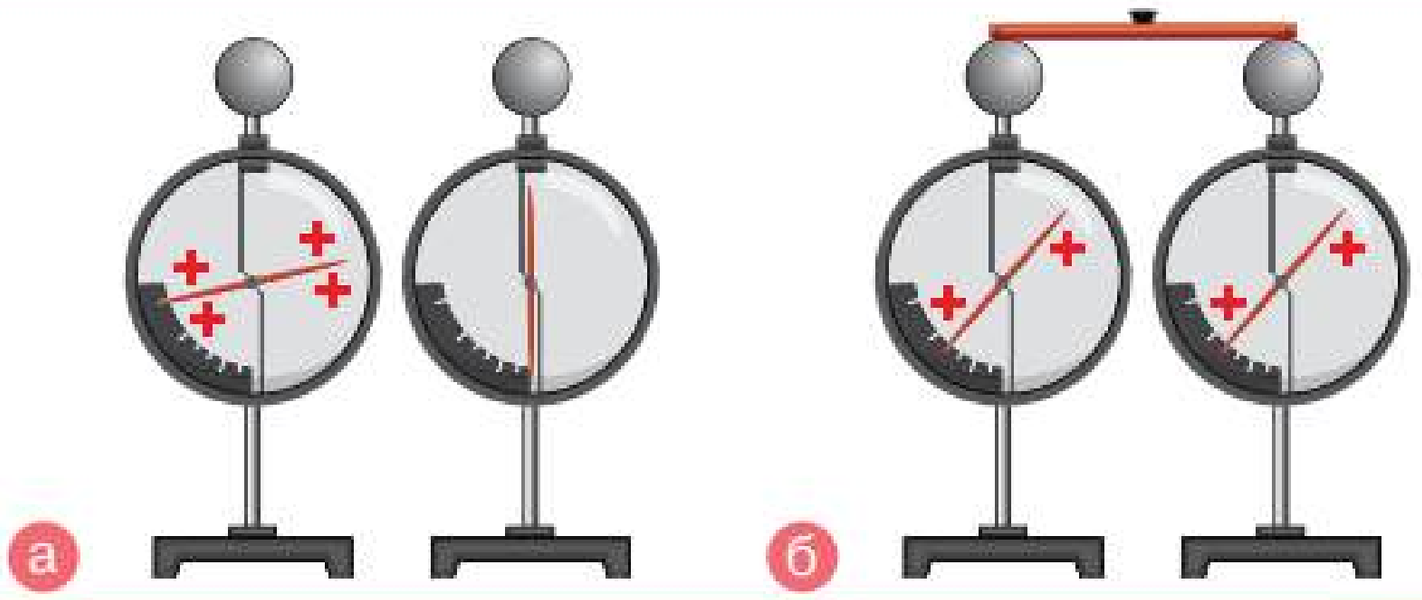
Незважаючи на те, що властивості напівпровідників були відомі досить давно, широко використовувати їх стали в середині минулого століття, що сприяло розвитку мікроелектроніки. Їх використовують у виготовленні сонячних батарей, комп'ютерів, мобільних телефонів.

Який рух заряджених частинок називають електричним струмом? Розглянуті електричні властивості речовин пов'язані у першу чергу із їхньою *електропровідністю*.

Електропровідність (*electrical conductivity*) — це здатність речовини проводити електричний струм.

Електропровідність матеріалу залежить від багатьох чинників, зокрема наявністю вільних електрично заряджених частинок або можливістю їх вивільнення (ці частинки називають носіями струму), їх рухливістю, а також від міжмолекулярних зв'язків, густини, нагрівання, освітлення, внесення домішок, розчинення.

Проведемо дослід. Наелектризуємо кулю на електрометрі (мал. 21.4, а). З'єднаємо його з іншим кондуктором металевим стрижнем. Побачимо, що певна кількість заряджених частинок (у цьому випадку електронів) перейшла стрижнем від одного приладу до іншого (мал. 21.4, б). Кажуть, що у стрижні існував електричний струм.



Мал. 21.4

Подумай, як зміняться результати досліду, якщо: а) обидва електрометри будуть заряджені однаково; б) металевий стрижень замінити на пластмасовий.

Електричний струм (*electric current*) — це процес напрямленого руху електрично заряджених частинок.

Залежно від середовища є особливості проходження електричного струму, зокрема у металах, рідинах і газах, де носіями струму можуть бути вільні електрони, позитивні й негативні йони. Ці особливості детальніше розглянемо згодом. У наступних параграфах розглядатимемо проходження електричного струму в металевих провідниках, у яких носіями струму є вільні електрони.

ДУМАЙ

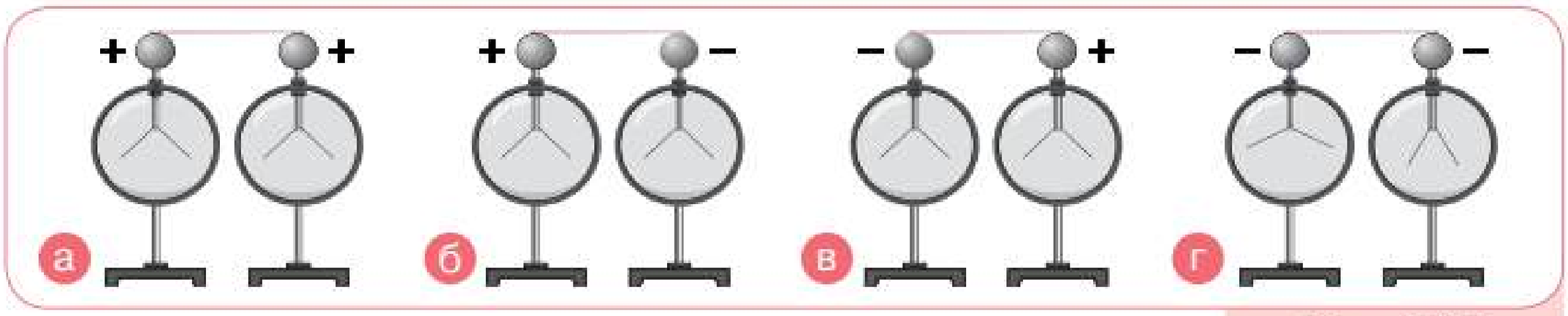
1. За якою ознакою речовини поділяють на провідники, діелектрики й напівпровідники? Наведи приклади провідників і діелектриків.
2. Чому метали добре проводять електричний струм?
3. Чому тепловий рух електронів у провіднику не можна назвати електричним струмом?
4. Поясни, чому напрямлений рух електронів у провіднику, що з'єднує два заряджених тіла, швидко припиняється? Що, на твою думку, необхідно для одержання тривалого безперервного електричного струму в провіднику?
4. Блискавка — це електричний струм?

ДІЙ

ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

Виконуй досліди з дотриманням правил безпеки життєдіяльності!

1. Розглянь малюнок 21.5 та вкажи, у яких випадках і в якому напрямку проходитиме електричний струм по металевій паличці, що з'єднує два заряджені електроскопи.



Мал. 21.5

2 Виготов пристрій для визначення, чи є домашні речі провідниками або ізоляторами. *Обладнання*: світлодіод, 2 мідні дротики, елемент живлення CR2032 (на 3 В), скотч (мал. 21.6). Довшою «ніжкою» під'єднай світлодіод до додатного полюса елемента живлення і зафіксуй скотчем. З іншого боку прикріпи до батарейки скотчем один мідний дротик. Другий мідний дротик намотай на коротшу «ніжку» світлодіода. Індикатор готовий. Прикладай вільні кінці дротиків до різних речей.



Мал. 21.6

ОПРАЦЮЙ ІНФОРМАЦІЮ

Дізнайся із додаткових джерел, яку роль відіграють напівпровідникові кристали у розвитку сучасної комп'ютерної та цифрової техніки. Роздивись мал. 21.7. Вислови припущення: як пов'язані між собою мікро- і макросвіт; чому люди за комп'ютером працюють у захисному одязі? Скільки часу потрібно, щоб виготовити мікрочіп? Відповіді на запитання шукай в мережі «Інтернет» та науково-популярних журналах.



Мал. 21.7

ОЦІНИ СЕБЕ

Виконай в е-додатку завдання для самооцінювання (21.5).

§ 22. ДОСЛІДЖУЄМО УМОВИ ІСНУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ



Короткочасний електричний струм нам вдалось отримати. А що потрібно зробити для того, щоб електричний струм проходив тривалий час?

ДОСЛІДЖУЙ

Розглянь малюнок 22.1 або виконай подібний дослід. Сформулюй умови існування електричного струму.



Мал. 22.1

ДІЗНАВАЙСЯ

За яких умов існує електричний струм? Умови, необхідні для існування струму, схожі з умовами перетікання води. Якщо відкрити кран верхнього бака, то під дією сили тяжіння вода з нього перетікатиме в нижній бак. Щоб вода цією системою рухалася безперервно, потрібен насос, який перекачував би воду нагору (мал. 22.2, а).



Мал. 22.2

Так само і для електричного струму має бути причина, яка б змушувала носії струму рухатись упорядковано. Такою причиною є дія електричного поля, яка надає руху зарядженим частинкам, які можуть вільно переміщатися в середовищі, впорядкованого (напрямленого) характеру.

Для того щоб дія електричного поля була постійною, необхідно забезпечувати на одному кінці провідника надлишок заряду певного знаку, а на другому — його нестачу. Такий сталий розподіл зарядів на кінцях провідника створюється та підтримується *джерелами електричного струму*.

Джерела електричного струму (*sources of electric current*) — це пристрої, в яких відбувається перетворення різних видів енергії (механічної, хімічної, теплової, світлової) на електричну.

Щоб по провіднику протікав електричний струм, його обидва кінці під'єднують до джерела струму. Якщо розімкнути коло, струм зникає.

Переглянь в е-додатку анімаційну модель утворення електричного струму в колі (22.1).



Умовами виникнення й існування електричного струму є наявність:
— вільних носіїв струму;
— електричного поля, дія якого створює й підтримує їхній напрямлений рух;
— замкнутого електричного кола (цілісного з'єднання проводів і елементів, якими проходить струм).

Розглянувши умови існування електричного струму, виникає питання: як визначити напрям струму? Оскільки вчені досліджували електричний струм ще до того, як було доведено існування електронів, то історично склалося так, що за напрям електричного струму приймають *напрям руху позитивно заряджених частинок*, тобто напрям від позитивно зарядженого полюса джерела струму до негативно зарядженого (мал. 22.2, б). Незважаючи на те, що найчастіше вільними носіями струму є електрони і їх напрям руху протилежний.

Сигнал, що виникає у провіднику, приєднаному до джерела струму (тобто поява електричного струму), поширюється у провіднику зі швидкістю 300 тис. км за секунду. Швидкість самого упорядкованого руху вільних електронів досить не значна — порядку 10^{-4} м/с. Тобто самі електрони залишаються практично на місці. Як таке можливо? Тобі доводилося на шкільному стадіоні «запускати хвилю вболівальників»? Щось подібне відбувається і під час поширення електричного струму.

Дізнаємося про джерела струму. Найпоширенішими джерелами струму є хімічні. Перше найпростіше хімічне джерело струму, яке не втратило свого практичного значення й дотепер, створив у 1799 р. італійський фізик Алессандро Вольта і назвав його гальванічним елементом на честь одного із засновників вчення про електрику Луїджі Гальвані.

Гальванічні елементи (*galvanic elements*) — хімічні джерела струму, у яких відбуваються хімічні реакції, завдяки яким виконується робота з розподілу зарядів, тобто хімічна енергія перетворюється на електричну.

Найпростіший гальванічний елемент можна виготовити, якщо взяти дві пластини — цинкову і мідну — й опустити їх в розчин сірчаної кислоти. Між пластинами й сірчаною кислотою відбуваються хімічні реакції, у результаті яких одна з пластин набуває позитивного заряду, інша — негативного. Ці пластини називають *електродами* (полюсами) джерела струму. Якщо полюси з'єднати провідником, то по ньому проходитиме електричний струм (мал. 22.3). З часом гальванічний елемент виходить з ладу, оскільки закінчується запас речовин, необхідних для хімічних реакцій.



Мал. 22.3

Різновидом гальванічних джерел струму є *електричні акумулятори* (від латинського слова «акумуляторе» — нагромаджувати). Найпростіший акумулятор складається з двох свинцевих пластин (електродів), вміщених у розчин сірчаної кислоти. Щоб акумулятор став джерелом струму, його потрібно зарядити. У процесі зарядки внаслідок хімічних реакцій один електрод акумулятора стає позитивно зарядженим, а другий — негативно. Після заряджання акумулятор можна використовувати як самостійне джерело струму. Акумулятор працює до того часу, поки свинцеві пластини не відновляться до початкового (чистого) стану. Потім акумулятор можна знову зарядити.

Як акумулятори, так і гальванічні елементи можна об'єднувати в *батареї* (мал. 22.4): акумуляторну (а) або батарею гальванічних елементів (б).



Мал. 22.4

Прикладом джерела електричного струму, в якому механічна енергія перетворюється на електричну, є *електрофорна машина* (мал.18.3, с. 139). Під час обертання її дисків відбувається неперервне розділення електричних зарядів.

Перетворення теплової енергії на електричну відбувається в *термоелементах* (мал. 22.5, а). Найпростішим термоелементом є два спаяні дроти з різних металів. Якщо нагріти місце спаю, то в провіднику протікатиме електричний струм. Особливо ефективним у термоелементах є поєднання металевих провідників та напівпровідників.

Джерелами струму, у яких енергія світла перетворюється на електричну енергію, є *фотоелементи* — напівпровідникові пристрої (мал. 22.5, б).



Мал. 22.5

Вибір джерел струму зумовлений сферою їх застосування. Так, в автомобілях, які працюють на двигунах внутрішнього згорання, використовують досить важкі, проте дешеві кислотні акумуляторні батареї, потрібні для електричного оснащення автомобіля: фар, підсвічування панелей, електричної іскри свічки запалювання тощо. В електромобілях акумулятори вже мають відповідати іншим потребам: бути потужними, легкими, швидко заряджатись, довго працювати.

У мобільних телефонах використовують легкі й безпечні літій-йонні акумулятори, а для освітлення й обігріву будинків, живлення побутових пристроїв — джерела електричного струму з фотоелементами.

Названі джерела струму слугують для утворення *постійного струму*. Усі промислові й побутові електричні прилади потребують *змінного електричного струму* (про цей вид струму ти дізнаєшся у 9 класі). Для утворення такого струму використовують генератори, електричні станції (мал. 22.6).



Мал. 22.6

ДУМАЙ

1. За яких умов виникає та існує електричний струм?
2. Як визначають напрям електричного струму?
3. Що називають джерелом електричного струму?
4. Назви види джерел електричного струму.

5 Які перетворення енергії відбуваються в джерелах електричного струму?

6 Чи можливо отримати електричний струм без джерела? Поясни на прикладах.

7 Що спільного й чим відрізняються гальванічний елемент й акумулятор?

8 Чи можна обчислити ККД батарейки, якщо відомо, що на її виготовлення витрачається у 500–600 разів більше енергії, ніж вона здатна віддати у процесі своєї роботи?

ДІЙ

ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

Скористайся інструкцією з е-додатку (22.2) та сконструюй батарейку.

ОПРАЦЮЙ ІНФОРМАЦІЮ

1 Разом з однокласниками/однокласницями організуй і проведи акцію «Обережно, батарейка!». Опитайте різних (за віком, статтю, професією тощо) людей щодо їхньої обізнаності про утилізацію батарейок. Узагальніть здобуті результати й проаналізуйте їх. Дізнайтеся більше про шкоду, якої завдають абияк викинуті батарейки.

2 Перевір достовірність інформації в порівняльній таблиці 22.1. З'ясуй, які батарейки використано в електричних приладах у тебе вдома. Доповни таблицю рядком «Зазвичай використовують у …». Чи достатньо інформації у таблиці, щоб приймати рішення щодо заощадження витрат на придбання батарейок?

Таблиця 22.1

Ознака порівняння	Батарейки		
	сольові	лужні	літієві
Ціна	Невисока	Дорожчі за сольові	Найдорожчі з поданих
Величина зарядів на полюсах	Невисока	Вища, ніж у сольових	Найвища з поданих
Термін зберігання	До 2 років	До 10 років	Понад 10 років

ОЦІНИ СЕБЕ

Виконай в е-додатку завдання для самооцінювання (22.3).

§ 23. СКЛАДАЄМО ЕЛЕКТРИЧНЕ КОЛО

Я уже користувалася різними схемами — для вишивки, для складання конструкторів. Також схеми ми використовували на різних уроках. Цікаво, наскільки складно буде працювати з електричними схемами? Хочу спробувати самостійно накреслити схему електричного кола!

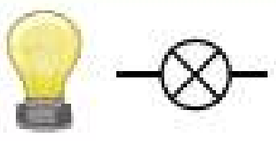


ДОСЛІДЖУЙ

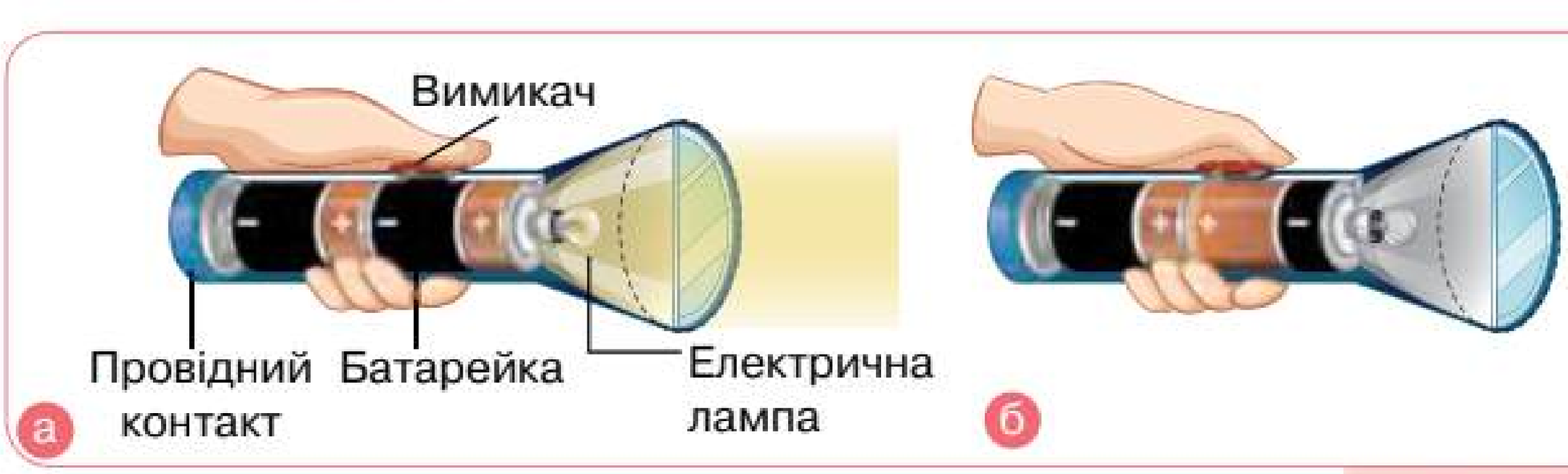
Роздивись малюнок 23.1. Звичайний електричний ліхтарик містить такі електричні елементи: джерело струму (батарейка), електричну лампу, провідні контакти (з'єднувальні проводи), вимикач. Чому, на твою думку, у випадку б ліхтар не світиться?

Для того щоб працювали електричні прилади, потрібно дотримуватись умов, за яких електричний струм має існувати в потрібний час і в потрібному місці. Для цього користуються електричними схемами, на яких позначають елементи кола. Розглянь умовні позначення елементів ліхтарика (табл. 23.1).

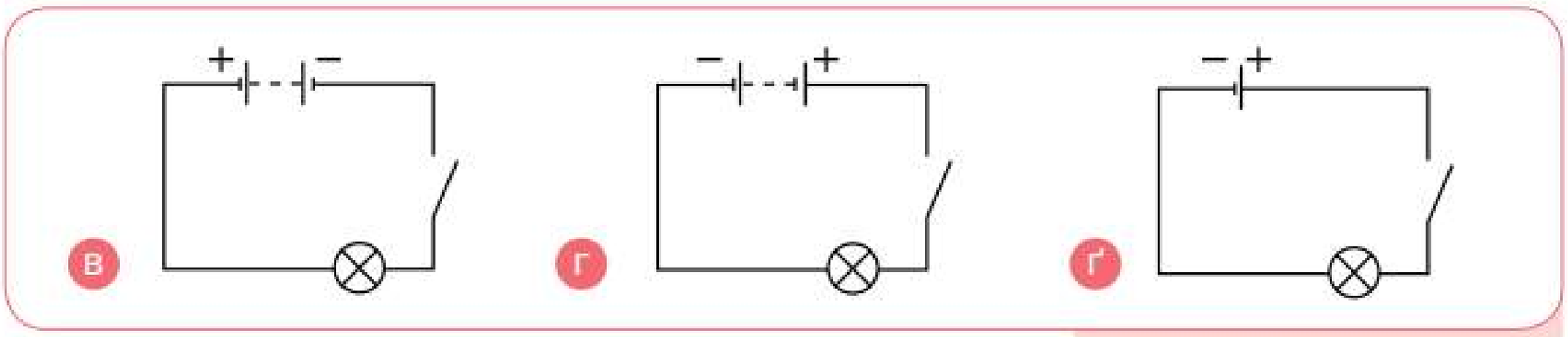
Таблиця 23.1

Гальванічний елемент	Батарея елементів	Вимикач	Електрична лампа	З'єднувальні проводи
				

Роздивись уважно схеми (мал. 23.1, в, г). Зверни увагу, у позначенні гальванічного елементу позитивний полюс позначено довшою рискою. Яка зі схем (в–г), на твою думку, відповідає ліхтарику, що світиться?



Мал. 23.1



Продовження мал. 23.1

ДІЗНАВАЙСЯ

Дізнаємося про умовне зображення, що застосовують на електричних схемах. Будь-який електричний пристрій — мобільний телефон, планшет, ноутбук, ліхтарик, кавоварка, фари автомобіля, електромобіль, моноколесо — має певний набір обов'язкових електричних елементів, які мають бути під'єднані відповідним чином. Такі з'єднання, як правило, називають *електричним колом*. Ми розглядатимемо найпростіші електричні кола, до складу яких входять: джерело струму, споживачі електричної енергії (електричні лампи або інші пристрої), вимикачі для вмикання та вимикання електричного струму, електровимірювальні пристрої, з'єднані між собою проводами.

Важливим є певний порядок з'єднання елементів електричного кола. Так, електричний струм має пройти замкнене коло від позитивного полюса джерела струму до негативного. Неправильне з'єднання гальванічних елементів (мал. 23.1, б) не створює перерозподілу електричних зарядів на початку і в кінці електричного кола, а отже, відповідної дії електричного поля, яка б змушувала рухатись електрони.

Способи з'єднання електричних приладів у коло зображують на кресленнях, які називають *електричними схемами*. Прилади на схемах зображують умовними позначеннями (мал. 23.2).

Мал. 23.2. Умовні позначення елементів електричних кіл:
1 — гальванічний елемент; 2 — батарея гальванічних елементів; 3 — з'єднання проводів; 4 — перетин проводів (без з'єднання); 5 — затискачі для під'єднання споживача електричного струму (клеми); 6 — вимикач (електричний ключ); 7 — електрична лампа; 8 — електричний дзвінок; 9 — провідник, що має деякий опір (резистор); 10 — нагрівальний елемент; 11 — електровимірювальний прилад (амперметр); 12 — електровимірювальний прилад (вольтметр)

Використання електричних схем дає можливість компактно зображати навіть досить громіздкі електричні кола, що значно полегшує роботу інженерів, конструкторів та фахівців з обслуговування і ремонту електричних приладів.

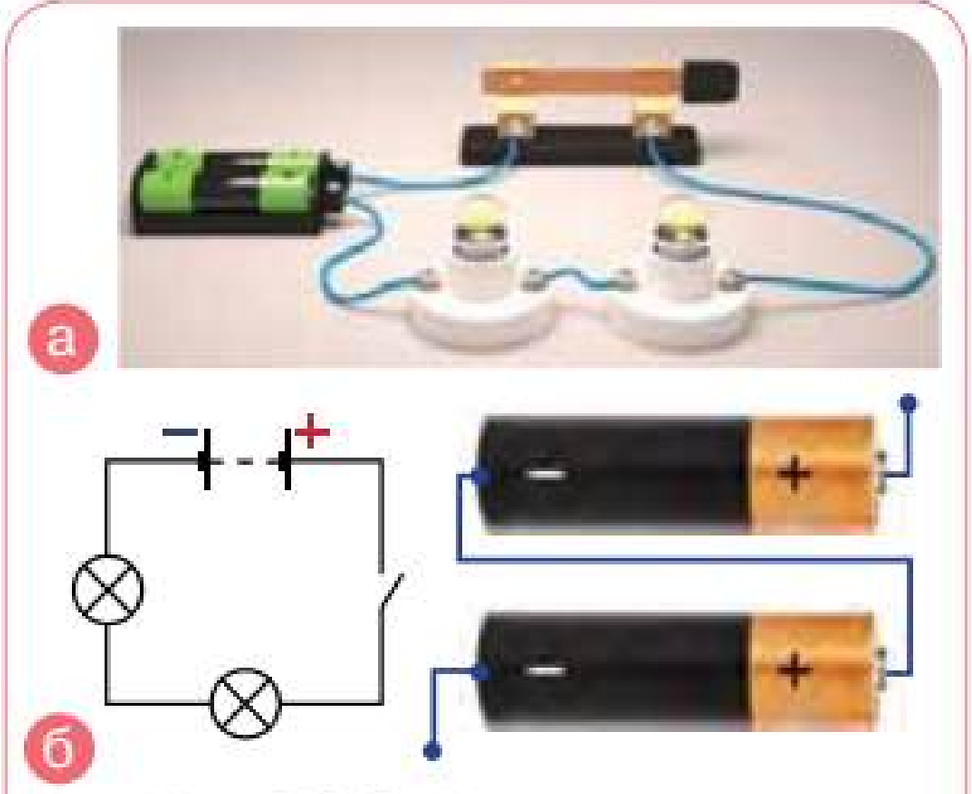
Дізнаємося про послідовне і паралельне підключення споживачів у колі. Розглянемо електричне коло, в якому одна за одною підключено дві електролампи. Таке з'єднання споживачів називають послідовним (мал. 23.3).

Зверни увагу, що послідовно з'єднані і гальванічні елементи.

Якщо лампи під'єднати так, як зображено на мал. 23.4, а, то таке з'єднання споживачів називають паралельним. У цьому випадку коло називають розгалуженим. Його схему зображено на мал. 23.4, б.

У розгалужених колах (мал. 23.4, б) є так звані вузлові точки, у яких з'єднуються три і більше проводи. Вузлові точки розділяють електричне коло на окремі гілки.

Паралельно можна під'єднувати і джерела струму (мал. 23.5).



Мал. 23.3. Електричне коло з послідовним з'єднанням споживачів і джерел струму: а — світлина, б — електрична схема



Мал. 23.4. Електричне коло з паралельним з'єднанням споживачів: а — світлина, б — електрична схема



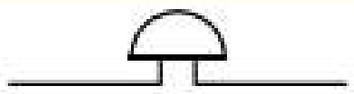
Мал. 23.5

Переглянь в е-додатку анімаційну модель електричного кола з послідовним і паралельним з'єднанням споживачів (23.1).

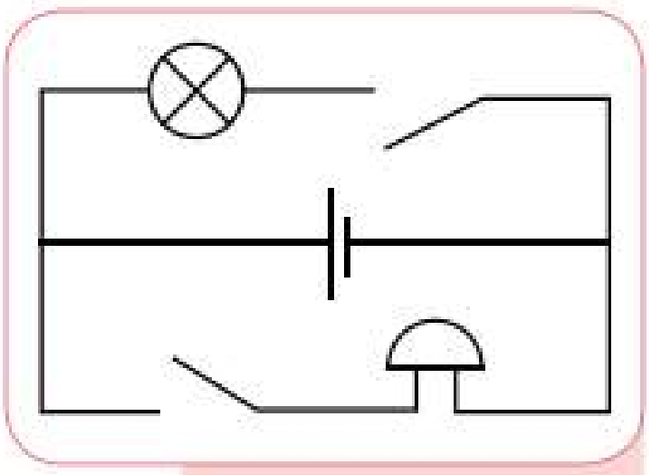
vse.ee/cnsi

ДУМАЙ

1. Що потрібно для існування електричного струму в електричному колі?
2. Накресли в зошиті таблицю. Запиши назву елемента кола або накресли його умовне позначення.

Назва елемента кола	Умовне позначення	Назва елемента кола	Умовне позначення
			
Гальванічний елемент		Амперметр	
			
Провідник, що має деякий опір (резистор)		Вимикач (електричний ключ)	

3 Назви́ основні елементи електричного кола, зображеного на малюнку 23.6.



Мал. 23.6

ДІЙ

РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

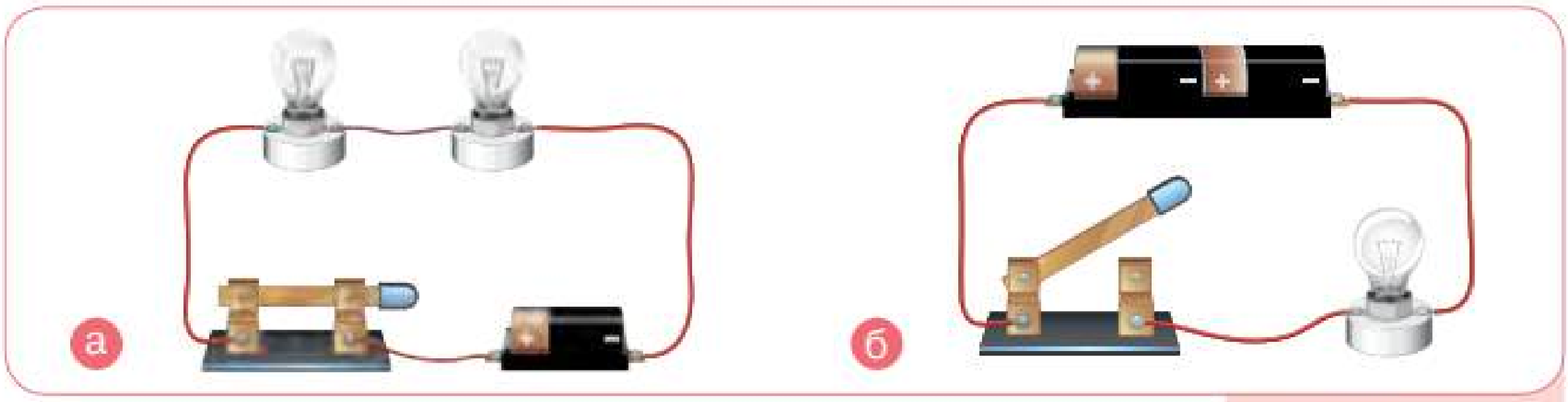
1 Електричне коло складається із джерела струму, двох ключів та лампи. Який вигляд матиме схема, якщо одним ключем вмикається тільки лампа, іншим — тільки дзвінок?

2 Накресли можливі схеми електричних кіл, що складаються з батареї гальванічних елементів, електричної лампи, електродвигуна, електричного дзвінка і ключа.

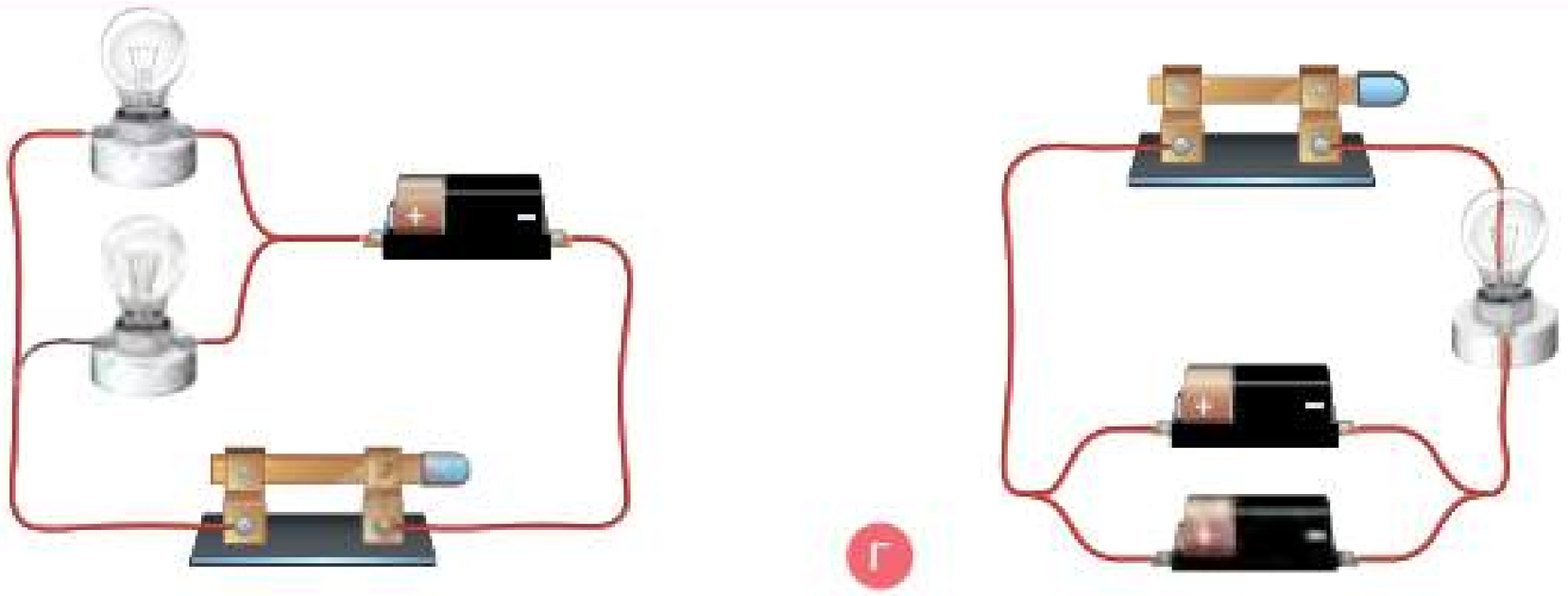
ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

Виконуй досліди з дотриманням правил безпеки життєдіяльності!

1 *Обладнання*: дві електролампи, дві батарейки, вимикач та з'єднувальні проводи. Роздивись схеми, зображені на малюнку 23.7. Спрогнозуй, у якому випадку буде отримане найяскравіше світло. Перевір своє припущення на досліді.

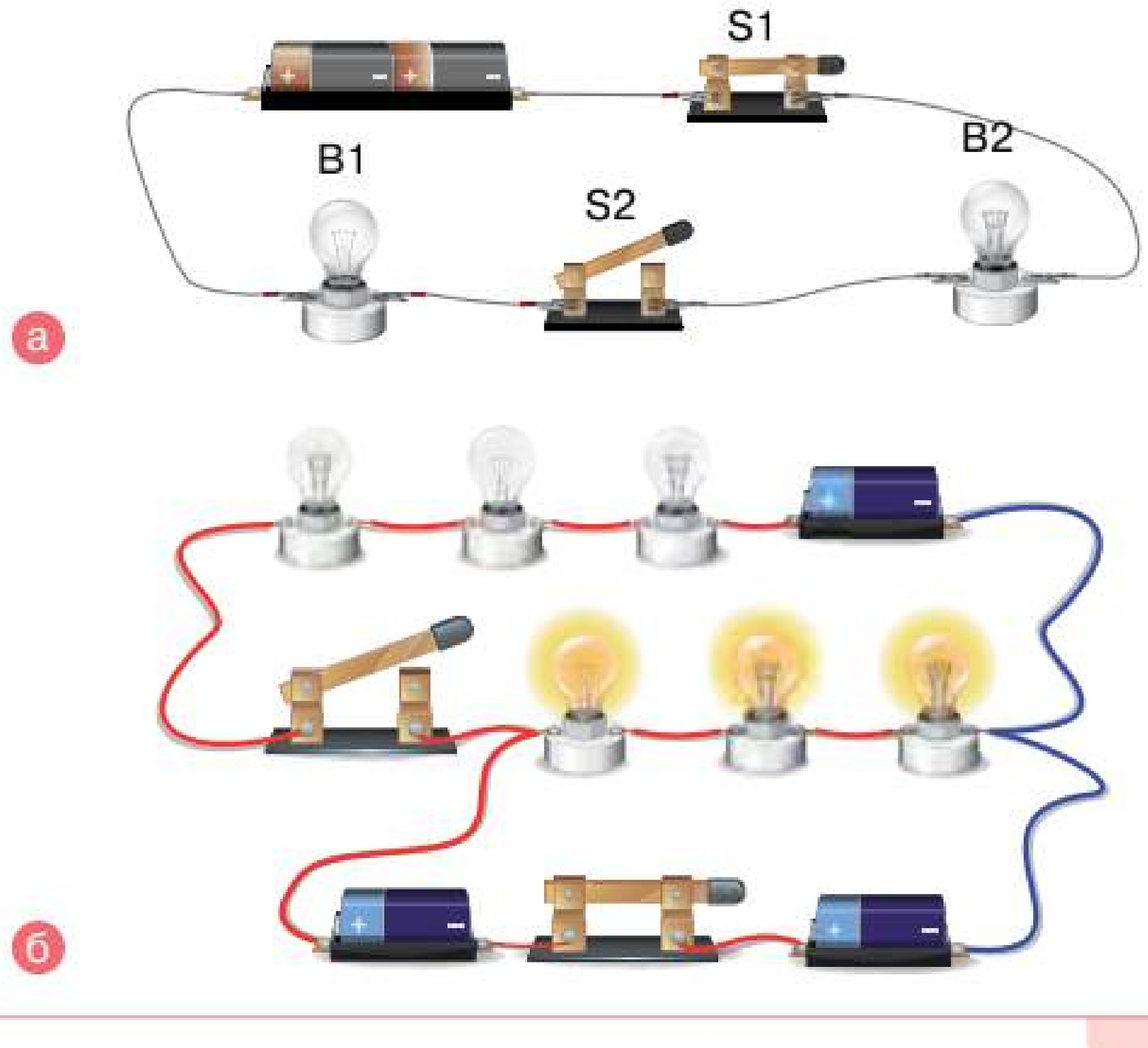


Мал. 23.7



Продовження мал. 23.7

2 **Роздивись схему (мал. 23.8). Як потрібно під'єднати лампи, щоб одним ключем вмикалась одна лампа, іншим — друга? Накресли схему й перевір її. Які ще варіанти вмикання і вимикання ламп можеш запропонувати, якщо залишити те саме обладнання (мал. 23.8, а) або якщо збільшити кількість ламп до 6, а батарей — до 3 (мал. 23.8, б)?**



Мал. 23.8

Виконай в е-додатку відеозавдання (23.2) та переглянь симуляції «Електричне коло» (23.3).

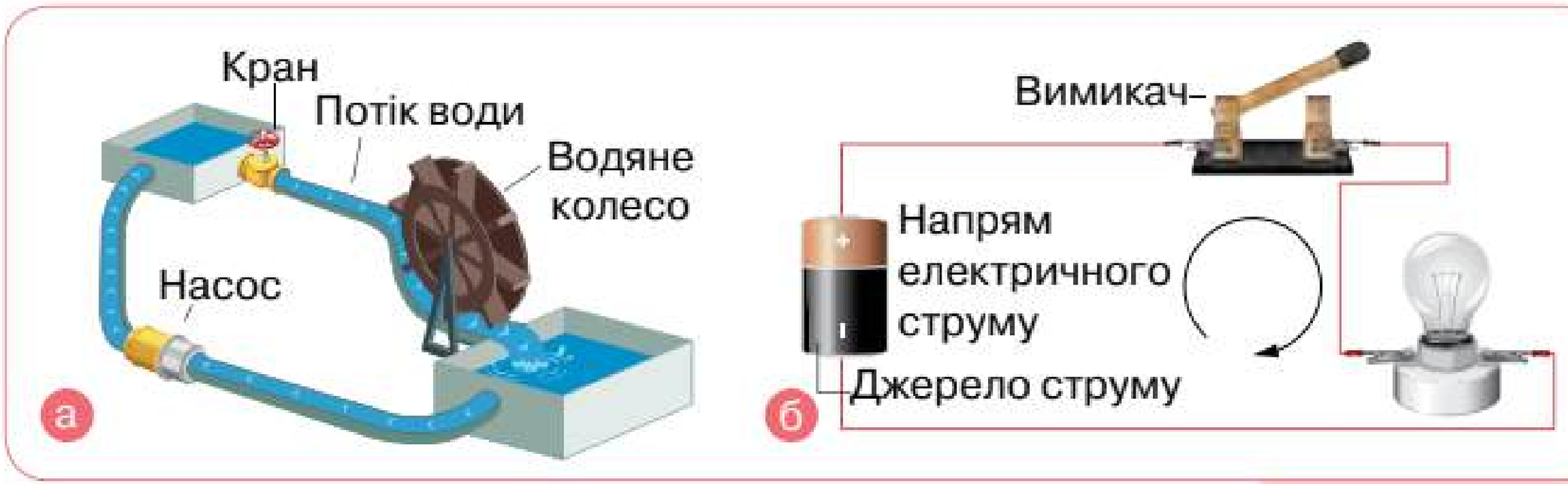
§ 24. ДІЗНАЄМОСЬ ПРО СИЛУ СТРУМУ І НАПРУГУ



Ми з'ясували, як можна з'єднувати елементи електричного кола. Чи зміниться світіння лампи, якщо я до неї приєднаю ще 10 ламп або навіть і 100, як у гірлянді? Чи треба мені для цього взяти більше батарейок?

ДОСЛІДЖУЙ

Роздивись малюнок 24.1. Ми уже порівнювали циркуляцію води із протіканням електричного струму. Продовжимо порівнювати і розміркувати. Вислови свої припущення щодо можливих змін у роботі зображеної насосної станції. Чи впливає на роботу водяного колеса швидкість потоку води? Як, на твою думку, зміниться потік води, якщо верхній бак підняти ще вище? Що відбудеться, якщо звузити жолоби, якими тече вода? Перевір свої припущення, прочитавши параграф.



Мал. 24.1

ДІЗНАВАЙСЯ

Дізнаємося про силу струму. Якщо звузити жолоби, якими тече вода, то очевидно, що на причину потоку і його напрям це не вплине (вода тече внаслідок зміни рівнів води). На загальну кількість води це також не вплине. Проте зміниться швидкість потоку (кількість води, що протікає за одиницю часу), що вплине на інтенсивність обертання лопатей колеса. Аналогічні процеси відбуваються і в колі електричного струму. Величиною, аналогічною швидкості потоку, є фізична величина, що характеризує швидкість проходження електричних зарядів через попе-

речний переріз провідника. Таку величину назвали *сила струму*. Цей термін виник задовго до того, як було встановлено природу електричного струму, і є дещо невдалим, оскільки ніякого відношення до «сили» він не має.

Ампер є основною одиницею Міжнародної системи. Названа ця одиниця на честь відомого французького фізика Андре Ампера. Щоб уявити струм силою в 1 А, наведемо такі дані. Безпечною для людини є сила струму 1 мА ($1 \cdot 10^{-3}$ А), а сила струму 100 мА (0,1 А) вже призводить до серйозних уражень.

Сила струму (*current*) — це фізична величина, що характеризує електричний струм у колі і дорівнює відношенню електричного заряду q, що пройшов через поперечний переріз провідника, до часу його проходження t. Силу струму позначають великою латинською літерою I та визначають за формулою: $I = \frac{q}{t}$. Одиницею сили струму є ампер, 1 А.

Як видно із таблиці 24.1 в кінці параграфа, для роботи побутових приладів потрібні такі значення сили струму, що значно перевищують безпечні для людини норми.

Дізнаємося про електричну напругу. Очевидно, якщо збільшити висоту, з якої буде падати вода, збільшиться «роботоздатність» потоку. Які зміни відбудуться у разі зміни рівнів води? Що більшою є різниця висот, тим більшу роботу виконує сила тяжіння під час падіння води, і тим більшою є енергія водяного потоку. Якщо рівні води будуть однаковими, то вода стоятиме у жолобах, причини для її переміщення немає.

В електричному колі величину, аналогічну різниці висот, називають *напругою*. З'ясуємо детальніше, що таке напруга. Причиною електричного струму в колі є наявність електричного поля, під дією якого відбувається переміщення електричного заряду. Електричне поле створюється джерелом струму.

Щоб подавати воду на більшу висоту, потрібен потужніший насос, у випадку електричного кола — потужніше джерело струму. Під дією електричного поля, що створюється джерелом струму, заряджені частинки рухаються по провіднику. При цьому виконується робота з переміщення зарядів. Це свідчить про те, що головну роль у протіканні електричного струму в провідниках відіграє електричне поле, створюване джерелом струму. Для характеристики електричного поля і вводять фізичну величину — напругу.

Можливо, ти чув/чула вираз «Обережно, висока напруга!». У цьому разі слово «висока» пояснює той факт, що чим більшою є напруга на кінцях ділянки кола, тим більшу роботу виконає сила, що діє з боку електричного поля для переміщення заряду 1 Кл. Аналогічно з потоком

води: чим вищою є різниця рівнів води, тим більшу роботу виконає сила тяжіння під час падіння води масою 1 кг.

Названа ця одиниця на честь відомого італійського фізика Алессандро Вольта. 1 вольт дорівнює такій електричній напрузі на кінцях провідника, за якої робота з переміщення електричного заряду в 1 Кл по цій ділянці провідника дорівнює 1 джоуль:

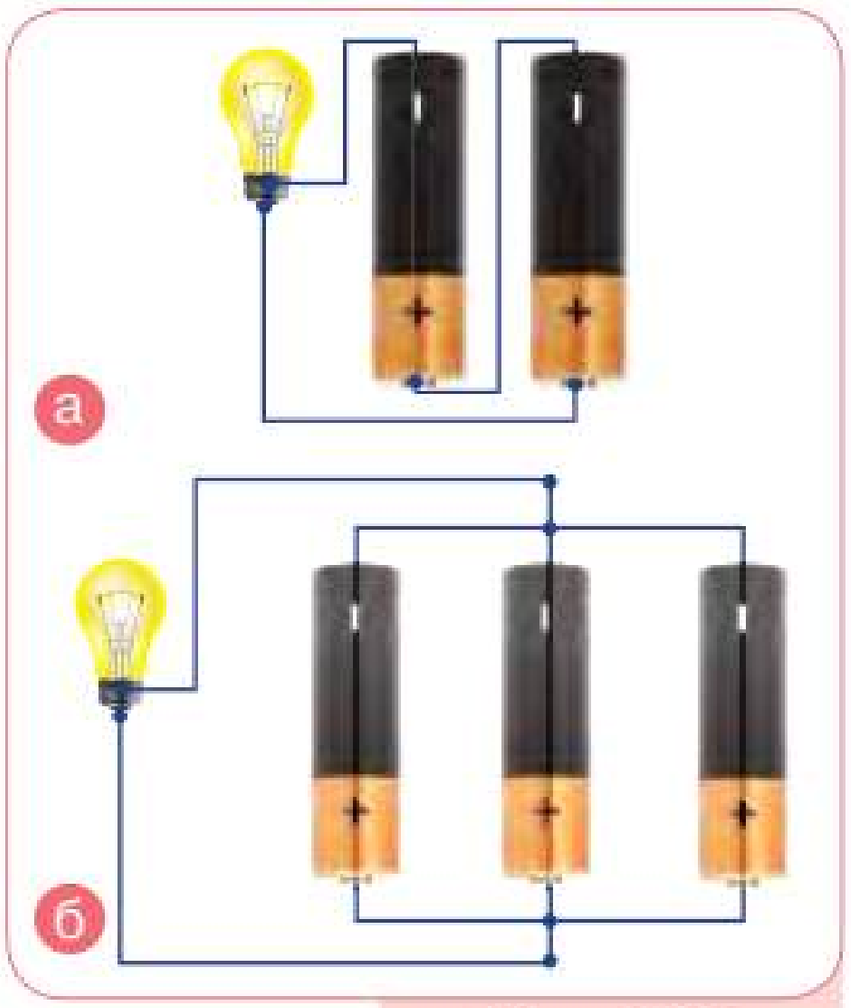
$$1\ \text{В} = \frac{1\ \text{Дж}}{1\ \text{Кл}}.$$

Напруга (*voltage*) — це фізична величина, що характеризує електричне поле і визначається відношенням роботи електричного поля на певній ділянці кола до електричного заряду, що пройшов по цій ділянці. Напругу позначають великою латинською літерою U та визначають за формулою: $U = \frac{A}{q}$. Одиницею напруги є вольт, 1 В.

Різні джерела струму характеризуються робочою напругою.

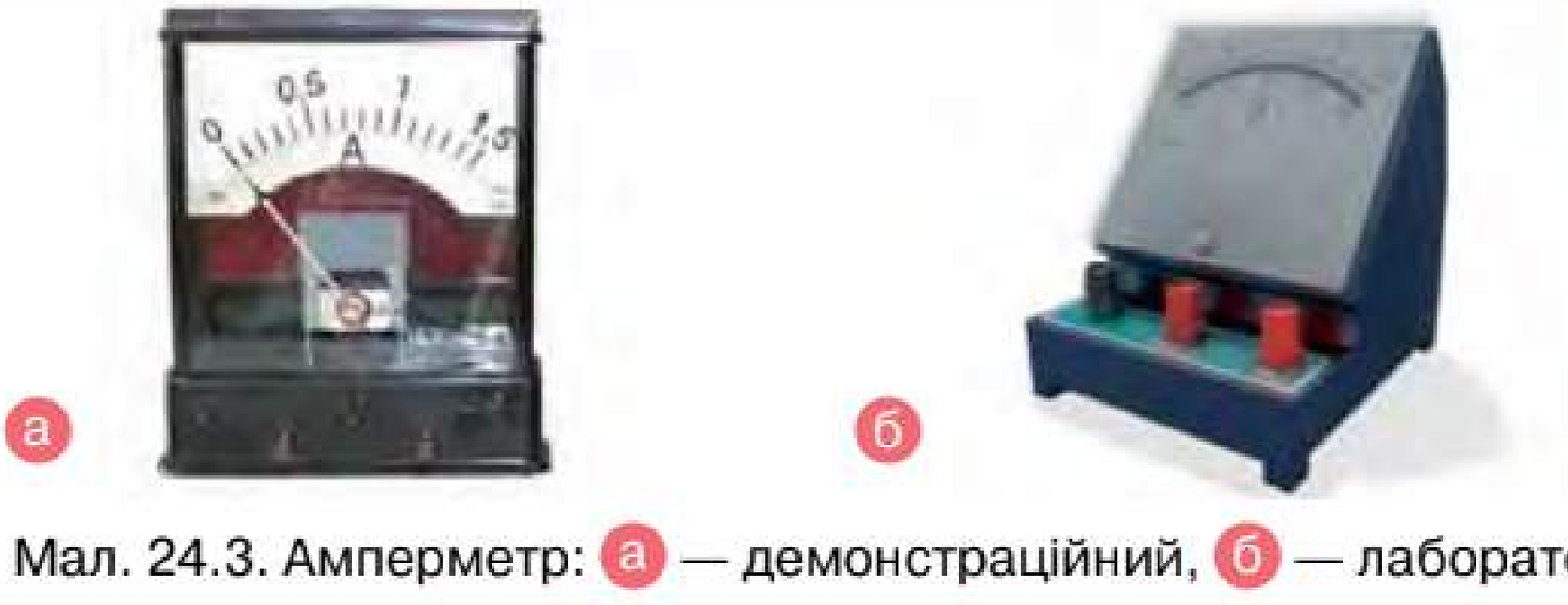
Щоб отримати більші напруги, гальванічні елементи, акумулятори, термо- і фотоелементи з'єднують у батареї.

Якщо треба одержати більшу напругу, використовують послідовне з'єднання елементів (мал. 24.2, а): окремі елементи приєднують один до одного різнойменними полюсами. Якщо хочуть одержати джерело, що дає більший струм, використовують паралельне з'єднання елементів (мал. 24.2, б): окремі елементи з'єднують у батарею однойменними полюсами.



Мал. 24.2

Якими приладами вимірюють силу струму й напругу. Силу струму в колі вимірюють за допомогою спеціального приладу — амперметра (мал. 24.3). Віднайди на с. 168, як позначають амперметр на електричних схемах.



Мал. 24.3. Амперметр: а — демонстраційний, б — лабораторний

Оскільки за законом збереження електричного заряду кількість зарядів, що надходить в коло з одного з полюсів джерела струму, дорівнює кількості зарядів, що повертаються на другий полюс джерела, то сила струму однакова в різних ділянках кола із послідовно з'єднаних приладів. Тому, щоб виміряти силу струму в такому колі, амперметр можна вмикати у будь-якому місці. Для цього треба «розірвати» коло, і в проміжок, що утвориться, ввімкнути амперметр за допомогою двох клем або затискачів, розташованих на його корпусі. Таке вмикання у коло, як ти уже знаєш, називають послідовним. Вмикаючи амперметр в довільних місцях кола, переконайся, що його показання будуть однаковими.

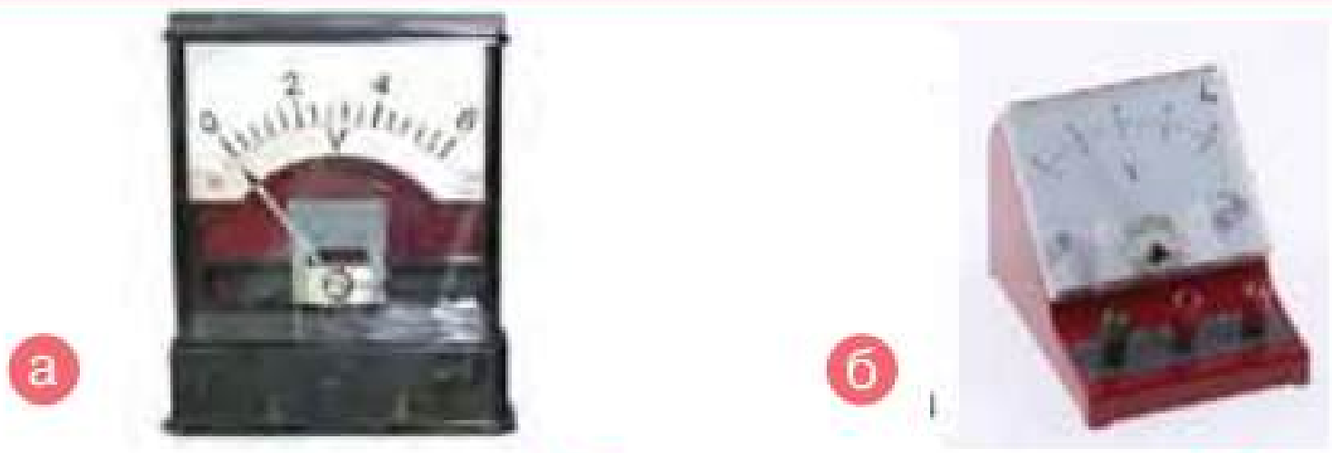


На практиці використовують різні амперметри. За їхніми шкалами або іншими позначеннями видно, на яку найбільшу силу струму вони розраховані. Перевищувати цю силу струму не можна, бо прилад може зіпсуватися. Виконуючи вимірювання амперметром, слід дотримуватися ще й таких правил:

- вмикати амперметр в коло послідовно;
- дотримуватися полярності підключення, тобто до клеми приладу, позначеної знаком «+», під'єднувати провід, що виходить від позитивного полюса джерела струму;
- не можна під'єднувати амперметр у коло, у якому відсутній споживач струму.

На практиці також використовують амперметри з цифровими індикаторами, а також кіло-, мілі- та мікроамперметри.

Для вимірювання напруги використовують спеціальні прилади — *вольтметри* (мал. 24.4). Віднайди на с. 168 як позначають вольтметр на електричних схемах.



Мал. 24.4. Вольтметр: а — демонстраційний, б — лабораторний

Оскільки електрична напруга характеризує «роботоздатність» електричного поля між двома точками, то вольтметр, на відміну від амперметра, включається в електричне коло без його розриву. Вольтметр приєднують паралельно до тієї ділянки, на кінцях якої вимірюють напругу.

Як і у випадку з амперметром, підключаючи вольтметр, потрібно слідкувати за полярністю. Для вимірювання напруги на полюсах джерела струму вольтметр приєднують безпосередньо до клем джерела.



Тобі неодноразово доводилось вивчати і повторювати правила безпеки життєдіяльності, зокрема щодо роботи з електричними приладами і пристроями, і бачити такі застережливі та інформаційні позначення (мал. 24.5). Зверни увагу, що одиницю напруги В (вольт) можуть указувати і в міжнародних одиницях V (volt). Більшість електричних приладів і пристроїв працюють за значення напруги у 220 В, але струми в них можуть мати різні значення. У таблиці 24.1 вказано значення сили струму і напруги для деяких пристроїв.



Мал. 24.5

Наше життя не можливо уявити без використання різних електричних приладів і пристроїв, для роботи яких потрібна відповідна електрична напруга і у яких проходить струм різної сили. У таблиці 24.1 вказано силу струму й електричну напругу в різних технічних пристроях і приладах.

Таблиця 24.1

Пристрій	Сила струму, А	Напруга, В
Електронний мікроскоп	0,00001	130 000
Рентгенівський медичний апарат	0,02–0,1	70 000–200 000
Електричний ліхтарик	0,3	4,5
Мобільний телефон у режимі роботи	0,53	3,7

Продовження таблиці 24.1

Електрична лампа	0,3–0,4	220
Пилосос	1,9–4,2	220
Електроплита	3–4	220
Пральна машина	3–7	220
Генератор автомобіля	17	12
Двигун тролейбуса	160–220	550
Двигун електровоза	350	1500
Апарат для контактного зварювання	10 000	0,1

ДУМАЙ

1. Що характеризує сила електричного струму?
2. Як сила струму залежить від електричного заряду, що проходить через провідник, та часу?
3. Поясни, чому термін «сила струму» не можна вважати вдалим.
4. Як називають одиницю сили струму?
5. Що називають електричною напругою?
6. Як можна визначити напругу, якщо відомі робота струму й електричний заряд?
7. Що прийнято за одиницю напруги? Як називають цю одиницю?
8. Яким приладом вимірюють силу струму? А напругу? Які правила вмикання цих приладів в електричне коло?
9. Чи однакові за фізичним змістом такі твердження: а) у провіднику пройшов великий електричний заряд; б) у провіднику пройшов струм великої сили?

ДІЙ

РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

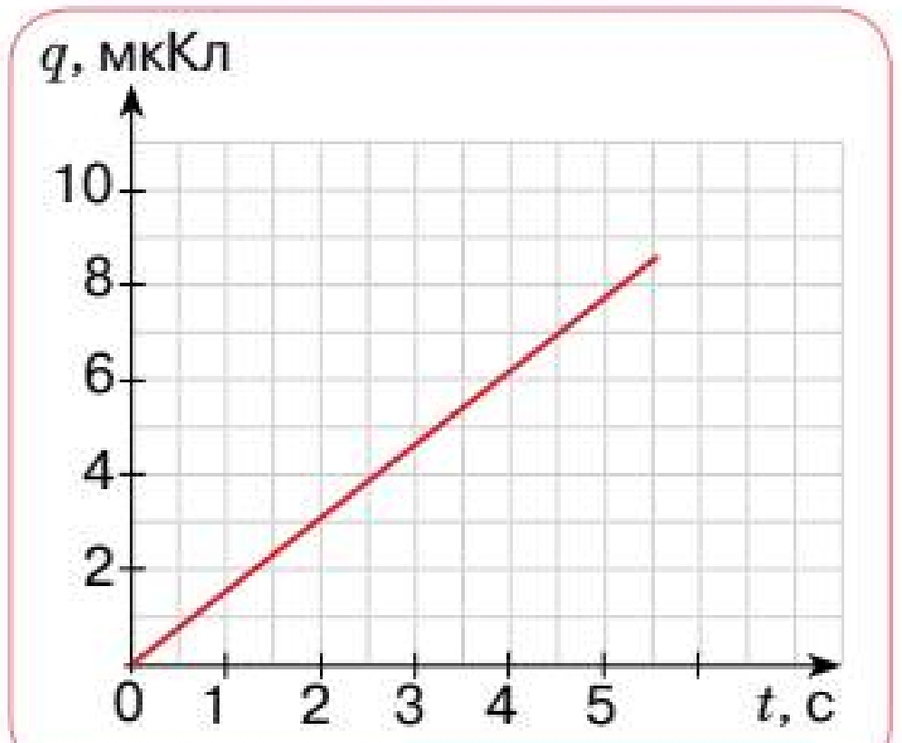
1. Визнач, скільки електронів проходить через поперечний переріз провідника за секунду за сили струму 1 А.
2. Визнач силу струму в провіднику, якщо за 20 с через поперечний переріз провідника проходить електричний заряд 68 Кл.

3 Визнач час проходження електричного струму по провіднику, якщо за сили струму 0,5 А по провіднику пройшов електричний заряд 7,7 Кл.

4 Обчисли силу струму в провіднику, крізь поперечний переріз якого за кожну хвилину проходить заряд 36 Кл.

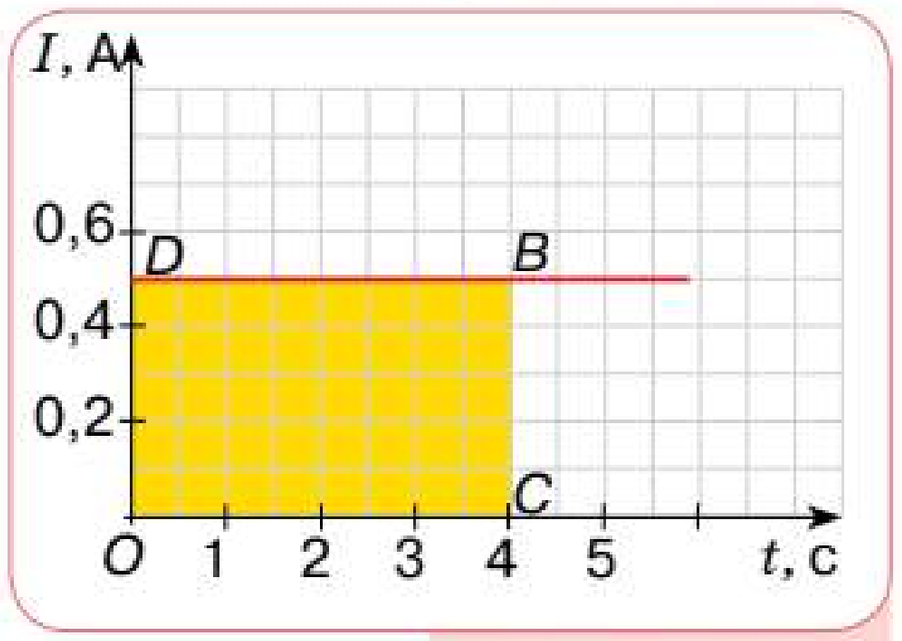
5 Визнач кількість електронів, що проходять за 1 с через переріз металевого провідника за сили струму в ньому 0,8 мкА.

6 За графіком залежності перенесеного заряду від часу (мал. 24.6) визнач силу струму в провіднику.



Мал. 24.6

7 За графіком залежності сили струму від часу (мал. 24.7) визнач заряд, що проходить через поперечний переріз провідника за час 3 с. Яку фізичну величину можна визначити, обчисливши площу прямокутника *ODBC*?



Мал. 24.7

8 Визнач напругу на ділянці електричного кола, якщо під час перенесення заряду 50 Кл електричне поле виконує роботу 1,2 кДж.

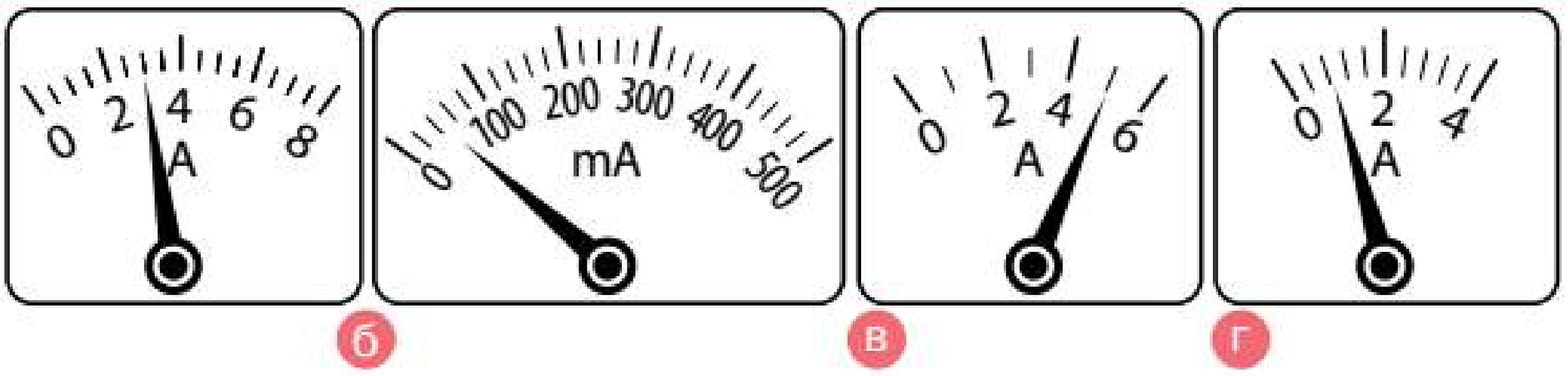
9 Під час світіння лампи розжарювання виконується робота 3,96 кДж. Визнач електричний заряд, який пройшов через лампу, якщо її увімкнено в мережу 220 В.

10 Чому дорівнює напруга на ділянці кола, в якій при силі струму 2 А за 20 с було здійснено роботу 800 Дж?

11 Напруга на кінцях провідника 5 В. Яка сила струму в провіднику, якщо за 40 с здійснено роботу 500 Дж?

12 Яку роботу здійснить струм силою 3 А за 10 хв за напруги в колі 15 В?

13 На малюнку 24.8 зображено шкали амперметрів та вольтметрів. Визнач для кожного приладу межі вимірювання і ціну поділки шкали. Яку силу струму показує кожний амперметр? Яку напругу показує кожен вольтметр?



Мал. 24.8

Переглянь в е-додатку симуляцію «Сила струму» (24.1).

ОЦІНИ СЕБЕ

Виконай в е-додатку завдання для самооцінювання (24.2).

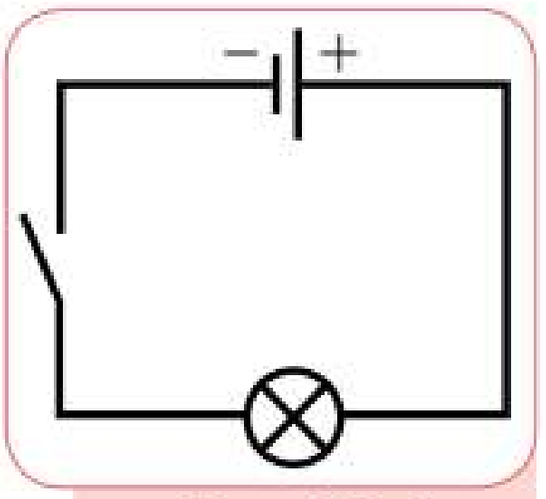
ВИКОНАЙ ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

ВИКОНАЙ ЛАБОРАТОРНУ РОБОТУ №6

Виконуй роботу із дотриманням правил безпеки життєдіяльності.

Научись вимірювати силу струму і напругу вимірювальними приладами.

Обладнання: джерело струму, електрична лампа, ключ, амперметр, вольтметр, з'єднувальні проводи.



Мал. 24.9

1. Визнач ціну поділки та межі вимірювання амперметра (шкала 0–3 А).
2. Склади електричне коло, зображене на мал. 24.9.
3. Вимірюй силу струму, приєднавши амперметр: а) між джерелом струму і ключем; б) між джерелом струму і лампою; в) між ключем і лампою.
4. Накресли схеми складених електричних кіл. Поруч запиши результати вимірювань.
5. Визнач ціну поділки та межі вимірювання вольтметра (шкала 0–6 В).
6. За допомогою вольтметра виміряй напругу: а) на лампі; б) на джерелі струму.
7. Накресли схеми складених електричних кіл. Поруч запиши результати вимірювань.

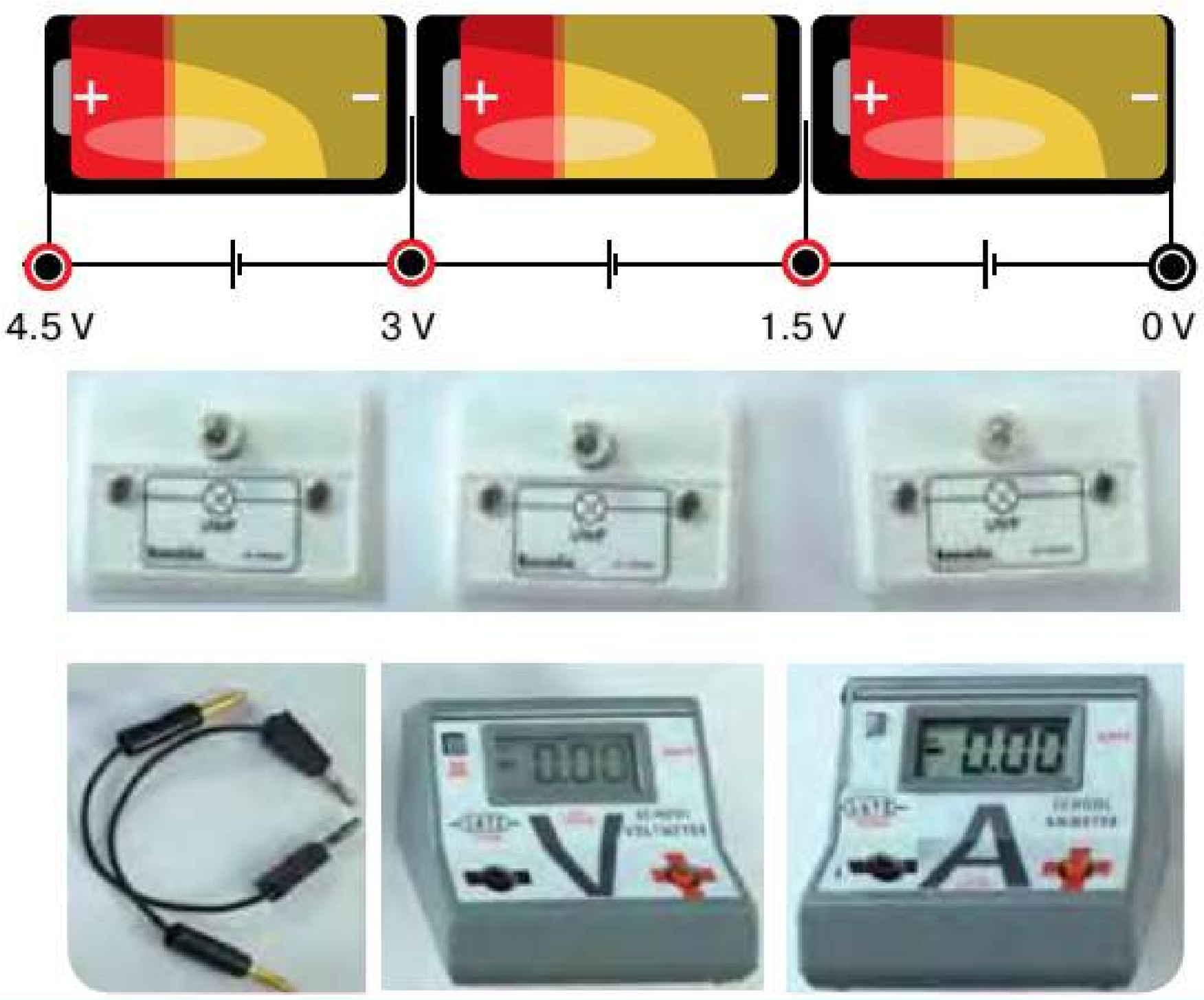
§ 25. ВИМІРЮЄМО ЕЛЕКТРИЧНИЙ ОПІР В КОЛІ



Якщо напруга характеризує електричне поле, яке змушує рухатись електрони, а рух самих електронів характеризує електричний струм, то, можливо, існує взаємозв'язок між напругою і силою струму?

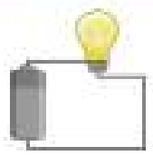
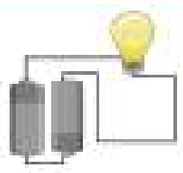
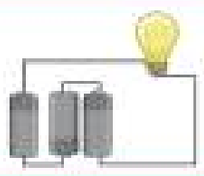
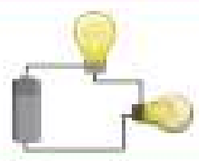
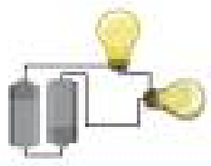
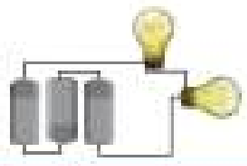
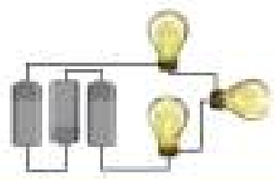
ДОСЛІДЖУЙ

Роздивись обладнання (мал. 25.1). Ти можеш змінювати кількість джерел струму та кількість споживачів струму (електричних ламп) від одного до трьох і щоразу за допомогою приладів (вольтметра та амперметра) вимірювати напругу і силу струму в колі. Виконай дослід самостійно або скористайся результатами вимірювань, зазначеними у таблиці 25.1.



Мал. 25.1

Таблиця 25.1

Номер досліду	Схема з'єднання джерел струму й електричних ламп	Напруга, U	Сила струму, I	Відношення $\frac{U}{I}$
1		$U_1 = 1{,}5$ В	$I_1 = 0{,}5$ А	
2		$U_2 = 3$ В	$I_2 = 1$ А	
3		$U_3 = 4{,}5$ В	$I_3 = 1{,}5$ А	
4		$U_4 = 1{,}5$ В	$I_4 = 0{,}25$ А	
5		$U_5 = 3$ В	$I_5 = 0{,}5$ А	
6		$U_6 = 4{,}5$ В	$I_6 = 0{,}75$ А	
7		$U_7 = 4{,}5$ В	$I_7 = 0{,}5$ А	

Які ще варіанти з'єднань у таблиці не вказано?

Проаналізуй, у скільки разів збільшується напруга U_2 по відношенню до U_1, U_3 по відношенню до U_2. У скільки разів при цьому змінюється I_2 до I_1, I_3 до I_2? Обчисли відношення $\frac{U}{I}$ у дослідах 1–3.

Проаналізуй, у скільки разів збільшується напруга U_5 по відношенню до U_4, U_6 по відношенню до U_5. У скільки разів при цьому змінюється I_5 до I_4, I_6 до I_5? Обчисли відношення $\frac{U}{I}$ у дослідах 4–6.

Порівняй результати дослідів 1 і 4, 2 і 5, 3 і 6. Як залежить обчислене значення $\frac{U}{I}$ від кількості джерел струму та від кількості споживачів струму (електричних ламп)?

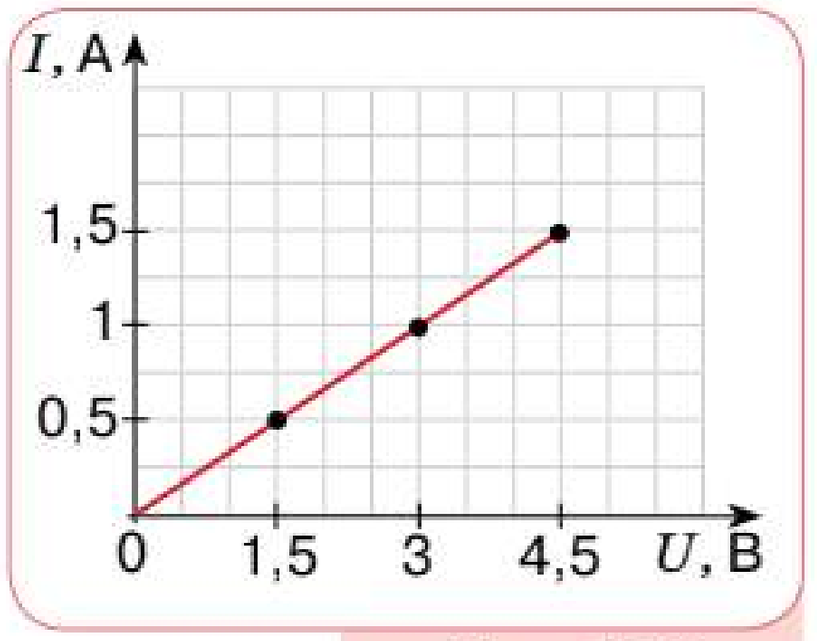
Спрогнозуй залежність I від U. Ти за крок до відкриття закону!

ДІЗНАВАЙСЯ

Дізнаємось про закон Ома. Із дослідження можна зробити такий висновок: у скільки разів збільшиться (зменшиться) напруга на споживачі, у стільки ж разів збільшиться (зменшиться) в ньому сила струму.

Іншими словами, сила струму в провіднику прямо пропорційна напрузі на кінцях провідника: $I \sim U$.

За результатами перших трьох дослідів побудуємо графік залежності I від U (мал. 25.2).



Мал. 25.2

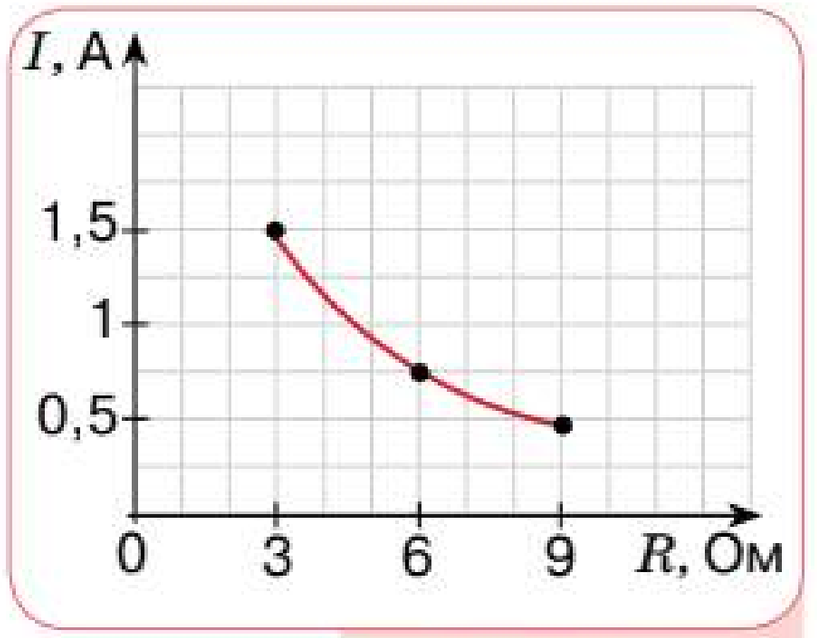
Якщо збільшувати кількість споживачів у колі, то за однакового значення напруги електричний струм буде менший. Подібний висновок можна було отримати і у тому разі, якби, наприклад, у першому досліді замість лампи використали якийсь інший споживач і порівняли ці два результати.

Іншими словами, можна стверджувати, що струм в колі залежить від властивостей провідника, увімкненого в коло. Цю властивість називають *електричним опором*.

Коли введено таку величину, можна стверджувати, що залежність сили струму від властивостей провідника пояснюється тим, що різні провідники мають різний електричний опір.

Електричний опір (*electrical resistance*) — це фізична величина, що характеризує властивість провідника протидіяти проходженню електричного струму. Електричний опір позначають літерою R. Одиницею електричного опору є ом, 1 Ом.

Оберемо результати дослідів 3, 6 і 7 і побудуємо графік залежності R від U (мал. 25.3).



Мал. 25.3

Отримали графік оберненої залежності: що більший опір провідника, тим менша сила струму в ньому.

Іншими словами, сила струму в провіднику обернено пропорційна опору провідника: $I \sim \frac{1}{R}$.

З дослідів встановлено, що сила струму в ділянці електричного кола прямо пропорційна напрузі на цій ділянці й обернено пропорційна опору цієї ділянки. Цю залежність уперше встановив експериментально у 1826 р. німецький учений Георг Ом, і вона отримала назву закон Ома.

Закон Ома (*Ohm's law*) для ділянки кола формулюється так: сила струму в однорідній ділянці кола прямо пропорційна напрузі на кінцях цієї ділянки та обернено пропорційна її електричному опору: $I = \frac{U}{R}$.

За законом Ома можна розрахувати силу струму на ділянці кола $I = \frac{U}{R}$, напругу на її кінцях $U = I \cdot R$ та опір ділянки кола $R = \frac{U}{I}$.

Електричний опір характеризує протидію електричному струму у певному середовищі. У з'єднувальних проводах така протидія незначна, тому під час розв'язування задач опором з'єднувальних проводів можна нехтувати.

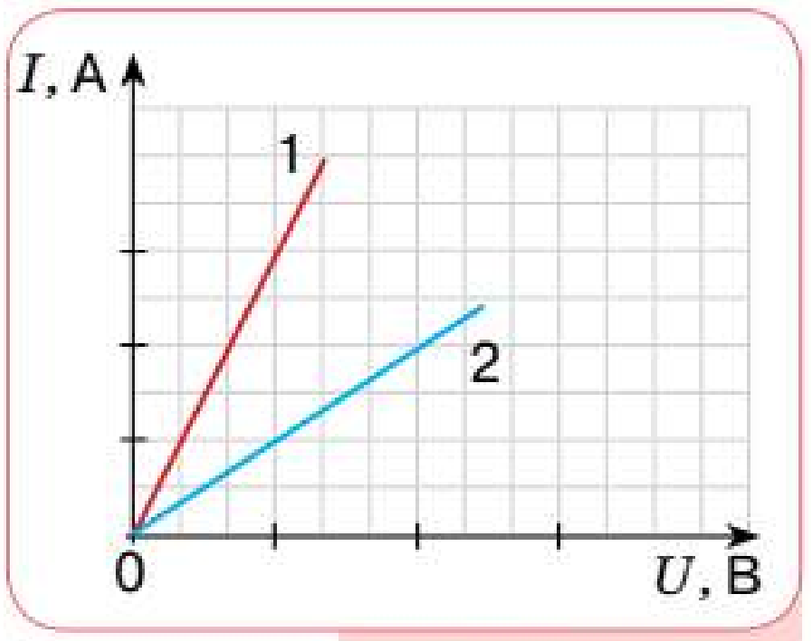
Електричним опором характеризуються усі інші споживачі, у тому числі і вимірювальні прилади. Будь-який вимірювальний прилад під час вмикання в коло не повинен впливати на значення вимірюваної величини. Тому амперметр конструюють так, щоб його електричний опір був якомога меншим, натомість опір вольтметра — якомога більшим.

Якщо замкнути електричне коло, що не міститиме споживача, може настати коротке замикання. Це випадок, за якого електричний опір у колі дуже малий, і сила струму в такому разі набуває великих значень. Як наслідок, можуть вийти з ладу вимірювальні прилади й джерело струму, з'єднувальні проводи сильно нагріються й можуть стати причиною пожежі.

ДУМАЙ

1. Про зв'язок яких електричних величин йде мова в законі Ома для ділянки кола?
2. Напругу на кінцях провідника збільшили вдвічі. Як при цьому змінилася сила струму, що протікає у провіднику?
3. В одне й те саме коло ввімкнені електрична лампа й електрична плитка. Сила струму у плитці більша, ніж у лампі. Чому?
4. Потрібно збільшити у 4 рази струм у колі при опорі, який зріс удвічі. Що треба для цього зробити?
5. Проаналізуй формулу $R = \frac{U}{I}$. Чи можна вважати, що опір ділянки електричного кола залежить від сили струму в ній та напруги на її кінцях?

6 На малюнку 25.4 зображено графіки залежності сили струму від напруги для двох провідників. Який із провідників має більший опір?



Мал. 25.4

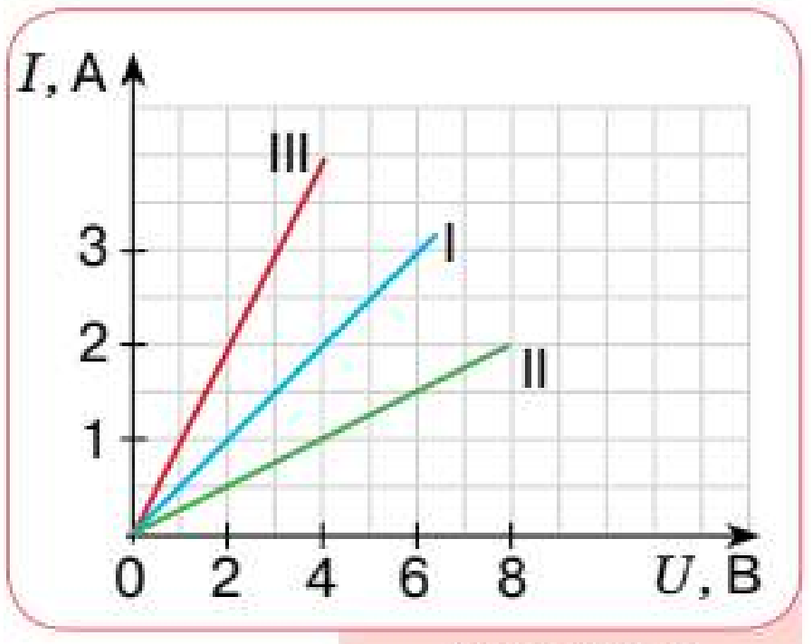
ДІЙ

РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

1 Електрична плитка розрахована на напругу 220 В. Опір її спіралі дорівнює 75 Ом. Визнач силу струму в ній.

2 Визнач силу струму в електричній лампі кишенькового ліхтаря, якщо опір нитки розжарювання дорівнює 15 Ом і вона приєднана до батареї гальванічних елементів напругою 4,5 В.

3 На малюнку 25.5 зображено графіки залежності сили струму в провіднику від напруги. Поясни причину розбіжностей значень сили струму на графіках I, II, III за напруги 2, 4, 6 В. Визнач електричний опір кожного з провідників.



Мал. 25.5

4 У провіднику за 30 хв проходить електричний заряд 1800 Кл. Визнач опір провідника, якщо напруга на ньому 12 В.

5 В електричній лампі, розрахованій на напругу 220 В, сила струму дорівнює 0,5 А. Визнач опір нитки лампи в робочому стані.

6 Визнач силу струму в електрочайнику, ввімкненому в мережу з напругою 220 В, якщо опір нитки розжарювання дорівнює 40 Ом.

7 У вольтметрі, який показує 120 В, сила струму дорівнює 15 мА. Визнач опір вольтметра.

8 Яку напругу слід прикласти до опору в 1000 Ом, щоб одержати у ньому струм 8 мА?

9 При електрозварюванні в електричній дузі за напруги 30 В сила струму досягає 150 А. Який опір дуги?

Переглянь в е-додатку симуляції «Закон Ома» (25.1, 25.2).

ВИКОНАЙ ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

ВИКОНАЙ ЛАБОРАТОРНУ РОБОТУ №7

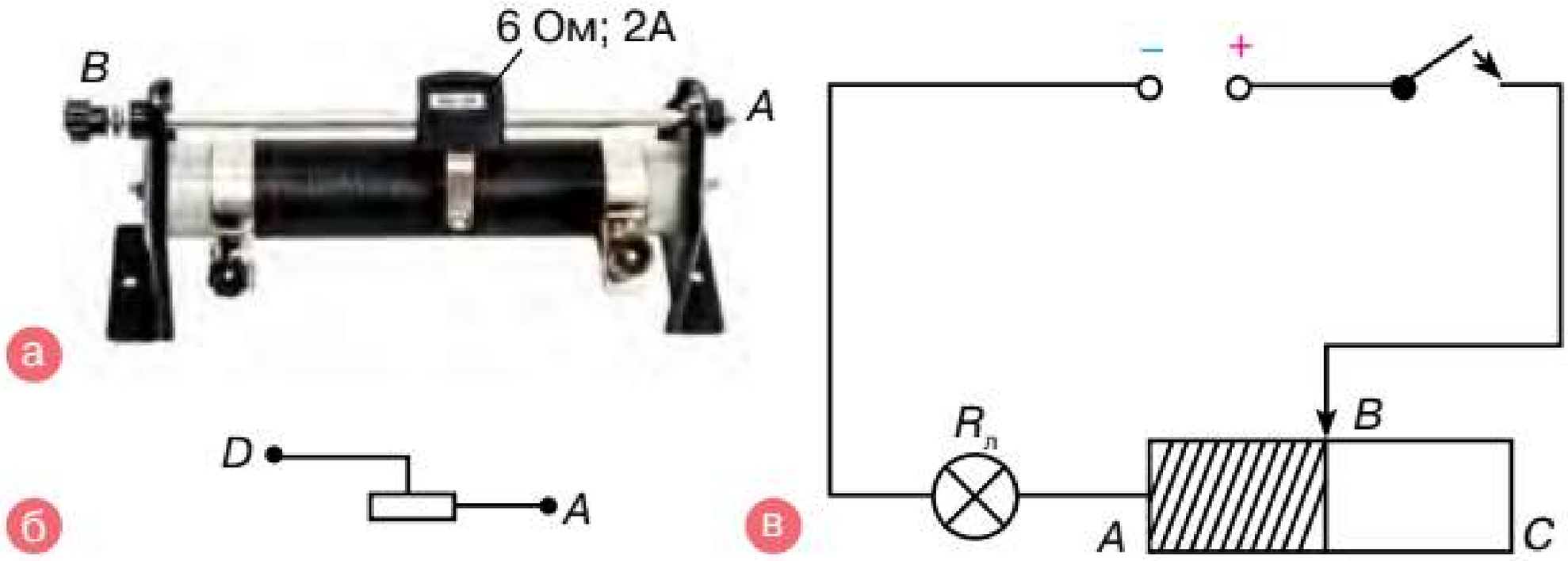
Виконуй роботу із дотриманням правил безпеки життєдіяльності.

Виміряй опір проводу (спіралі) за допомогою амперметра й вольтметра. Переконайся на дослідах, що опір проводу (спіралі) не залежить від сили струму в ньому і напруги на його кінцях. *Обладнання*: джерело струму, досліджуваний провід (ніхромова спіраль), амперметр, вольтметр, реостат, ключ, з'єднувальні проводи.

У цій роботі для регулювання сили струму в колі використовують спеціальний прилад — реостат.



На мал. 25.6, а зображено зовнішній вигляд повзункового реостату. Для виготовлення такого приладу на керамічний каркас щільно намотують металевий дріт, наприклад константан. Для ізолювання витків дроту між собою їх покривають тонким шаром окалини. Над обмоткою кріпиться металевий стрижень, по якому може вільно рухатися повзунок з контактами та ізольованою ручкою, що щільно прилягають до обмотки. Під час переміщення повзунка його контакти стирають шар окалини у місцях дотику, й електричний струм проходить від дроту до повзунка та металевого стрижня. На верхній частині ручки вказано максимальні значення опору й сили струму, за яких можна використовувати реостат.



Мал. 25.6. Реостат: а — зовнішній вигляд, б — умовне зображення, в — схема роботи

Реостат вмикається в електричне коло за допомогою двох затискачів, один із яких розташований на корпусі A і з'єднаний з дротом, а інший — на протилежному кінці металевого стрижня B, по якому рухається повзунок.

На мал. 25.6, б показано умовне позначення реостату на електричних схемах.

На мал. 25.6, в зображено схему роботи реостата. За такого вмикання задіяно половину дроту реостата (незаштриховану частину дроту в коло не ввімкнено). Змінюючи положення повзунка, змінюють довжину дроту, яким проходить струм до повзунка, і, відповідно, опір активної частини реостата. Так, якщо пересунути повзунок у крайнє ліве положення (т. A), то опір в колі зменшиться. Якщо окрім реостату в колі немає споживачів, то сила струму в такому разі згідно із законом Ома стрімко зросте (коротке замикання!). Тому, включаючи реостат в електричне коло, його повзунок переміщують в середнє положення, щоб не вийшли з ладу інші елементи кола.

1. Склади електричне коло, з'єднавши послідовно джерело струму, амперметр, досліджуваний провід (спіраль), реостат, ключ. До кінців спіралі приєднай вольтметр (враховуй знаки «+» і «−»).
2. Накресли схему складеного електричного кола.
3. Виміряй силу струму в колі і напругу на проводі (спіралі).
4. За допомогою реостата зміни опір кола й знову виміряй силу струму в колі та напругу на проводі (спіралі).
5. Користуючись законом Ома, обчисли опір проводу (спіралі) за даними кожного окремого вимірювання.
6. За отриманими значеннями фізичних величин побудуй графік залежності сили струму в проводі (спіралі) від напруги на її кінцях. Проаналізуй графік. За графіком визнач опір проводу (спіралі) за будь-якого проміжного значення сили струму.

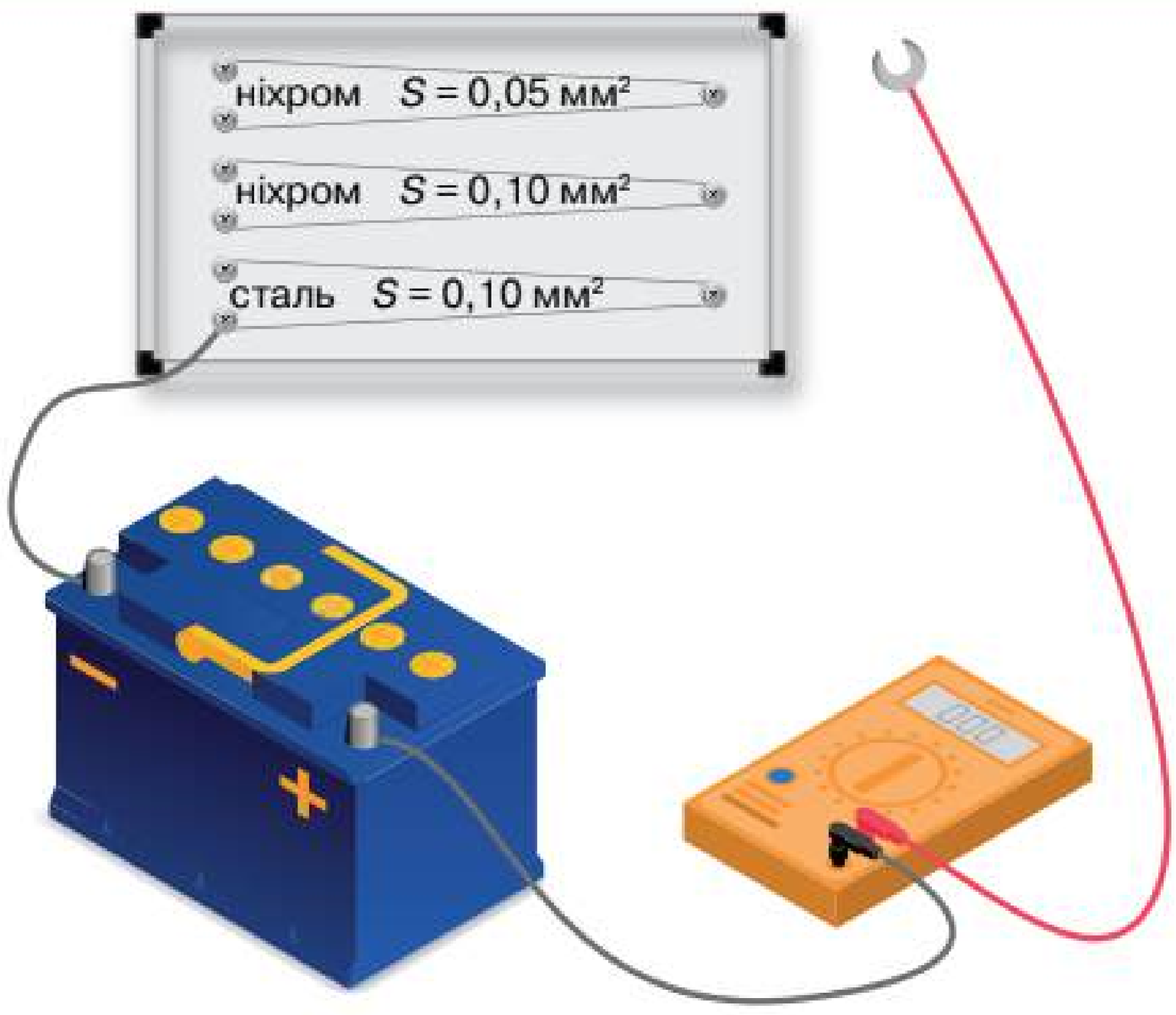
§ 26. ВИМІРЮЄМО ЕЛЕКТРИЧНИЙ ОПІР МЕТАЛЕВОГО ПРОВІДНИКА

Якщо опір реостата залежить від довжини провідника, то логічно буде з'ясувати, чи залежить опір й від інших величин, таких як товщина провідника, або від речовини, із якої його виготовлено.



ДОСЛІДЖУЙ

Досліди, як залежить електричний опір металевих провідників від їх довжини, площі поперечного перерізу, а також від роду речовини. Склади електричне коло, в якому послідовно з'єднано джерело струму, амперметр та демонстраційна панель, на якій закріпленіо провідники (мал. 26.1). Два з них виготовлено з ніхрому і мають однакову довжину, але різну площу поперечного перерізу. Третій виготовлений зі сталі і має таку саму довжину, як і інші провідники, та площу поперечного перерізу, як у другого провідника з ніхрому. Прилад сконструйовано таким чином, що в електричне коло можна включати як цілий провідник (контакти з лівого боку), так і його половину (один контакт з лівого боку панелі, а інший — з правого).



Мал. 26.1

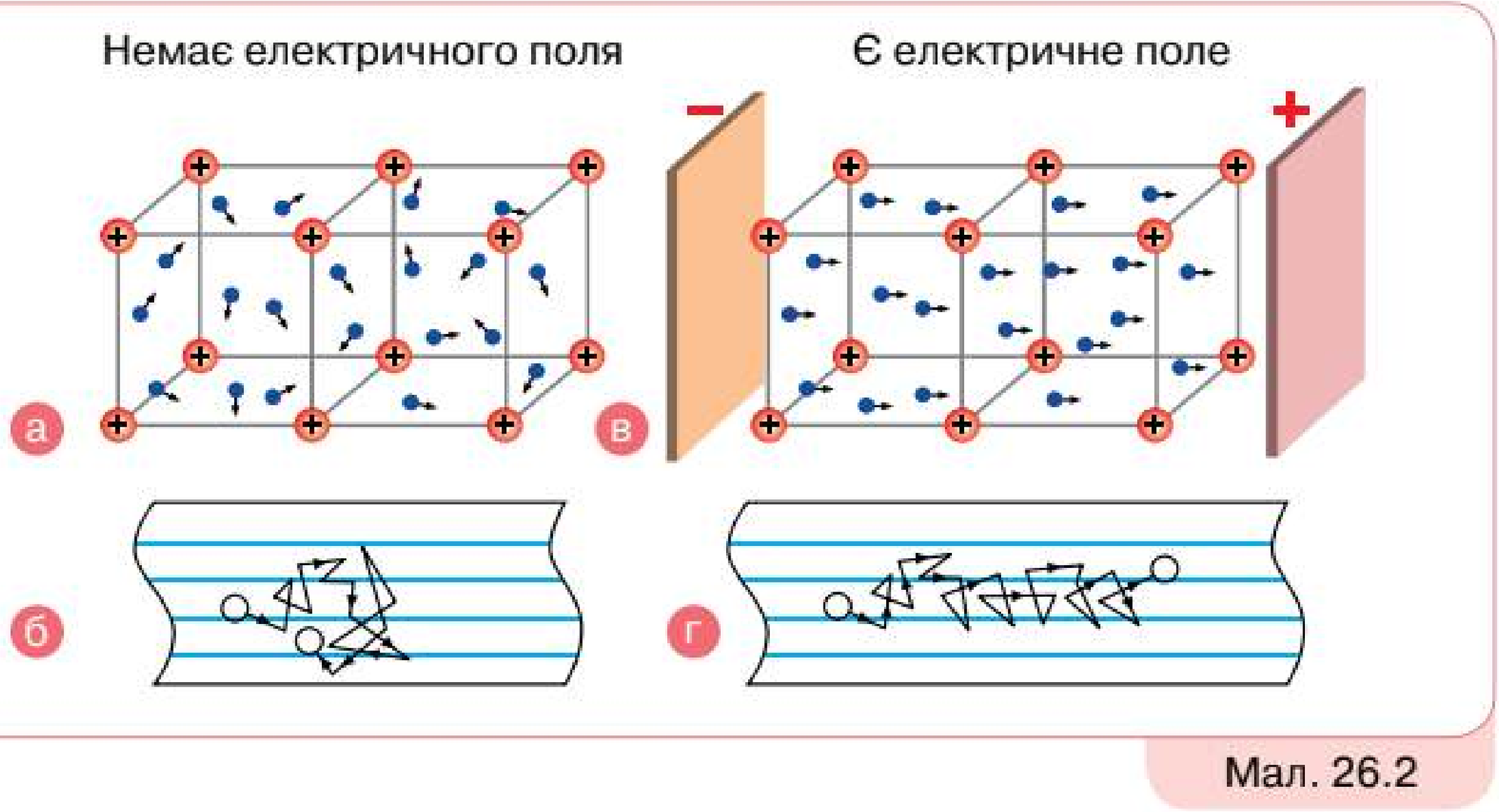
Дай відповіді на запитання:

1. У скільки разів відрізняється опір провідника, увімкненого на усю довжину, порівняно із увімкненням лише наполовину?
2. Опір якого провідника більший: того, що має більшу площу поперечного перерізу чи меншу?
3. Чи однаковий опір провідників з ніхрому і сталі за умови підключення їх на повну довжину?

Знайди підтвердження своїх відповідей у тексті параграфа.

ДІЗНАВАЙСЯ

Дізнаємося про електронну провідність металів. За відсутності у провіднику електричного поля електрони рухаються хаотично, подібно до того, як рухаються молекули газів (мал. 26.2, а). Саме тому сукупність вільних електронів у металах ще називають «електронним газом». У будь-який момент часу швидкості руху різних електронів відрізняються значенням і напрямком. Траєкторією руху електронів є довільні ламані (мал. 26.2, б).



Мал. 26.2

За наявності у провіднику електричного поля електрони, зберігаючи свій хаотичний рух, починають зміщуватися у напрямку позитивного полюса джерела (мал. 26.2, в). Разом з безладним рухом електронів виникає і їх упорядкований рух. На малюнку 26.2, г схематично зображено траєкторію руху одного електрона під дією електричного поля.

Учені обчислили середню швидкість упорядкованого руху електронів, вона приблизно дорівнює 10^{-4} м/с, що у 10^9 разів менше від середньої швидкості теплового руху електронів за кімнатної температури, яка приблизно дорівнює 10^5 м/с. А швидкість поширення електричного струму в провіднику становить близько 300 000 км/с.

Згідно з електронною теорією цей факт пояснюється таким чином. Як відомо, тепловий рух електронів не припиняється ніколи, тому електрони з величезними швидкостями рухаються в усіх напрямках. У разі створення на кінцях провідника електричного поля на електрони діє електрична сила, і на фоні цього хаотичного руху відбувається повільний «дрейф» у напрямку електричного поля. Швидкість поширення самого електричного поля в провіднику дорівнює швидкості поширення будь-якого електромагнітного випромінювання — 300 000 км/с.

Встановлюємо, від чого залежить опір металевого провідника. Якщо в електричне коло спочатку включати цілий провідник і спостерігати за показами амперметра, а потім половину провідника, то видно, що незалежно від речовини, із якої виготовлено провідник, його площі поперечного перерізу, струм при включенні цілого провідника вдвічі менший, ніж при включенні половини провідника. Тобто опір цілого провідника вдвічі більший, ніж його половини.

Опір провідника прямо пропорційний його довжині: $R \sim l$. Це пояснюється тим, що чим більшою є довжина l провідника, тим більше електронів, що упорядковано рухаються, стикатимуться з йонами металу, а, отже, більшим буде електричний опір.

Спостереження за показами амперметра у разі підключення провідників з ніхрому однакової довжини, але різної площі поперечного перерізу свідчать про наступне: якщо включено провідник з більшою площею поперечного перерізу, амперметр показує більший струм. Оскільки напруга однакова, а струм в провіднику з більшою площею поперечного перерізу більший, то опір такого провідника буде менший.

Опір провідника обернено пропорційний площі його поперечного перерізу: $R \sim \frac{1}{S}$. Пояснюється це тим, що чим більший поперечний переріз провідника S, тим з меншими перешкодами рухатимуться впорядковані електрони і тим меншим буде електричний опір.

Спостереження за показами амперметра у разі включення в електричне коло за однієї і тієї ж напруги провідників з ніхрому та сталі, які мають однакову довжину та різну площу поперечного перерізу, свідчать, що величина струму відрізнятиметься.

Опір провідника залежить від роду речовини, з якої виготовлений провідник. Це пояснюється тим, що провідники з різних металів мають різні кристалічні структури, отже, гальмівна дія зіткнень йонів і вільних електронів виявляється різною. Залежність опору провідника від речовини, з якої він виготовлений, характеризують спеціальним параметром — питомим опором речовини.

Позначається літерою ρ (читається «ро»). Одиницею питомого опору в СІ є 1 Ом · м.

Питомий опір речовини провідника (*resistivity of the conductor substance*) — це фізична величина, що показує, який опір має виготовлений із цієї речовини провідник довжиною 1 м і площею поперечного перерізу 1 м^2.

1 Ом · м — це питомий опір провідника довжиною 1 м та площею поперечного перерізу 1 м^2, що має опір 1 Ом: $1\,\frac{\text{Ом} \cdot \text{м}^2}{\text{м}} = 1\ \text{Ом} \cdot \text{м}$.

Оскільки на практиці площу поперечного перерізу провідника найчастіше виражають у мм^2, оскільки вона невелика (наприклад, поперечний переріз провідників електричної мережі в квартирі становить 2,5 мм^2), то користуються такою одиницею питомого опору: $1\,\frac{\text{Ом} \cdot 1\ \text{мм}^2}{\text{м}}$.

У таблиці на форзаці наведено питомі опори деяких речовин і сплавів за температури 20 °С. Відкрий форзац і прочитай значення питомого опору. Бачиш, що метали (срібло, мідь, свинець, алюміній) мають порівняно невеликий питомий опір. Для електричної мережі використовують дроти з міді, алюмінію. В електричних лампах, електронагрівальних приладах найчастіше використовують сплави з великим питомим опором (нікелін, ніхром, фехраль).

Залежність опору провідника від його розмірів і речовини, з якої виготовлено провідник, уперше встановив дослідним шляхом Георг Ом.

Опір провідника прямо пропорційний його довжині, обернено пропорційний площі його поперечного перерізу і залежить від речовини, з якої виготовлено провідник: $R = \rho \cdot \frac{l}{S}$, де R — опір провідника, l — довжина провідника, S — площа поперечного перерізу провідника, ρ — питомий опір речовини провідника.

У сучасній радіоелектроніці широко використовують резистори — *прилади, призначені для зміни опору в електричному колі* (мал. 26.3, а). Резистор (від латинського «resisto» — опираюсь) включають в електричне коло, щоб змінити його опір, і відповідно до зако-

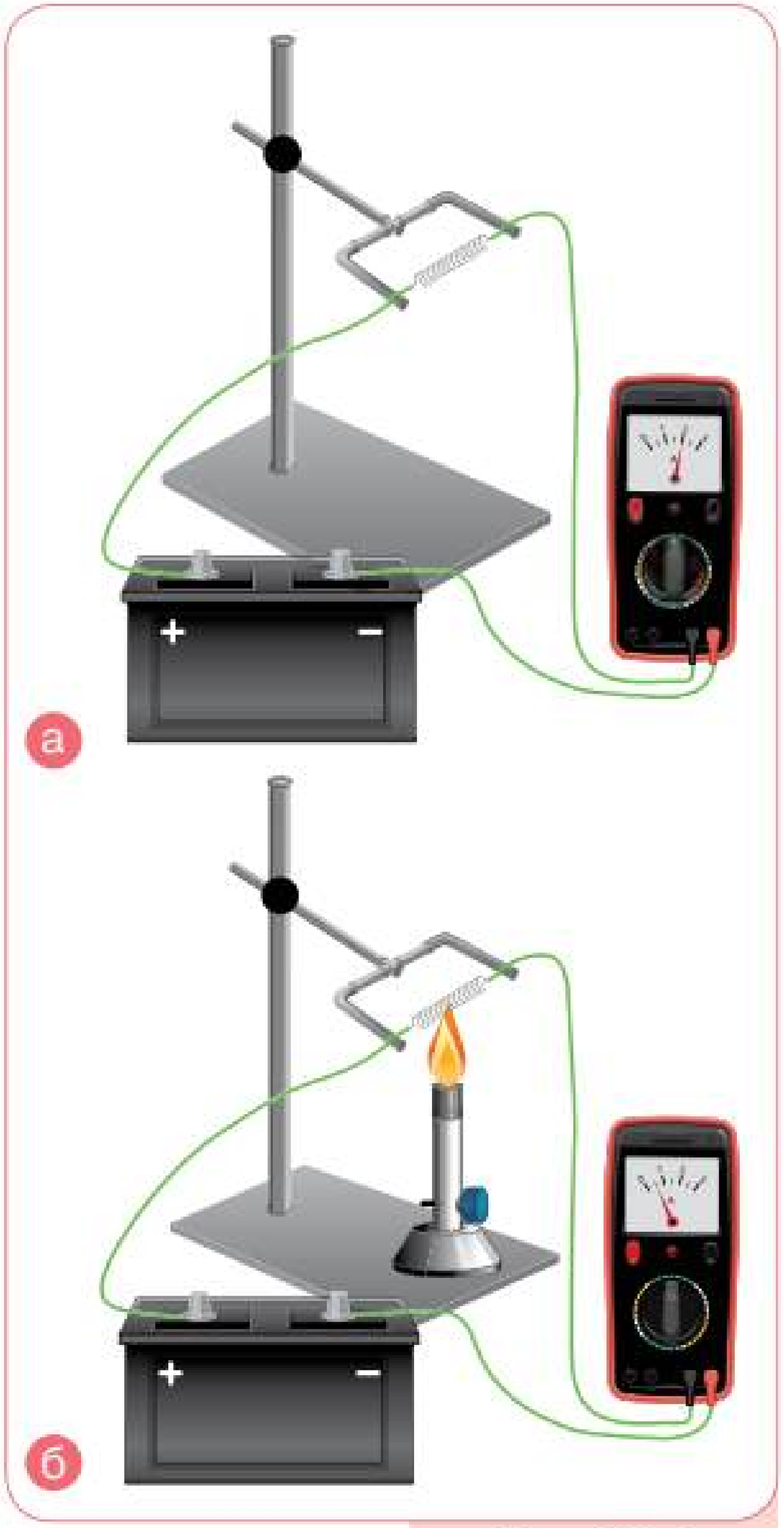
ну Ома, силу струму в колі (мал. 26.3, б). Залежно від призначення резисторів їх виготовляють різних розмірів та конструкції. На електричних схемах резистори зображають у вигляді умовних позначень (мал. 26.3, в).



Мал. 26.3. Резистор: а — зовнішній вигляд, б — принцип дії, в — умовне позначення

З'ясовуємо, чи залежить опір провідників від температури. Роздивись малюнок 26.4. До джерела струму послідовно підключено металеву спіраль, закріплену на штативі, й амперметр. Вимірюють силу струму на спіралі за кімнатної температури (мал. 26.4, а). Під час нагрівання спіралі в колі спостерігається зменшення сили струму (мал. 26.4, б).

Електрони в металах беруть участь одночасно в двох рухах: тепловому хаотичному та напрямленому. Нагрівання спіралі призводить до того, що кінетична енергія теплового руху електронів та вузлів кристалічних ґрат збільшується. Зі збільшенням кінетичної енергії збільшується і кількість зіткнень вільних електронів з йонами, які розташовані у вузлах кристалічних ґрат. Оскільки ці зіткнення і є причиною опору металів, то зі збільшенням кількості зіткнень опір металів збільшується. Крім того, в процесі нагрівання від-



Мал. 26.4

бувається теплове розширення провідника, в результаті чого змінюються його лінійні розміри.

Використовуючи спіралі з різних металів, можна переконатися, що при підвищенні температури опір усіх металів зростає пропорційно температурі.

Чи можеш тепер пояснити, чому у таблиці питомого опору речовини вказано, що ці значення дійсні за температури 20 °С?



Існує і протилежне явище. Деякі провідники стрибкоподібно зменшують свій електричний опір до нуля за умови охолодження нижче певної критичної температури. Це явище носить назву *надпровідність*.

ДУМАЙ

1. Як рухаються електрони у провіднику у разі відсутності в ньому електричного поля і за його наявності?
2. Поясни природу електричного струму в металах.
3. Як довести, що електричний струм у металах виникає внаслідок руху електронів, а не руху йонів?
4. Від чого залежить опір металевого провідника?
5. За якою формулою визначають опір провідника?
6. Що показує питомий опір?

ДІЙ

УЧИСЬ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ЗАДАЧІ

Обмотку реостату виготовлено з нікелінового дроту довжиною 50 м і площею поперечного перерізу 0,5 мм^2. Напруга на затискачах реостата становить 40 В. Яка сила струму, що проходить крізь реостат?

Дано:

$l = 50$ м

$S = 0,5$ мм^2

$U = 40$ В

$\rho = 0,4 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$

I — ?

Розв'язання:

Силу струму визначимо за законом Ома: $I = \frac{U}{R}$.

Опір нікелінового дроту визначимо за формулою $R = \rho \cdot \frac{l}{S}$.

Тоді сила струму визначатиметься за формулою: $I = \dfrac{US}{\rho l}$.

Підставивши значення, отримаємо: $I = \dfrac{40\ \text{В} \cdot 0{,}5\ \text{мм}^2}{0{,}4 \dfrac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}} \cdot 50\ \text{м}} = 1\ \text{А}$.

Відповідь: сила струму в реостаті дорівнює 1 А.

РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

1. Обчисли опір залізного дроту завдовжки 1 м, якщо його поперечний переріз 10 мм^2.
2. Опір мідного дроту довжиною 90 м дорівнює 2 Ом. Визнач площу поперечного перерізу дроту.
3. Електричне коло містить дві ділянки з мідного дроту, що мають однакову довжину, але різну площу перерізу: 1,6 і 0,8 мм^2. Яка ділянка має менший опір і у скільки разів?
4. Визнач, скільки метрів нікелінового дроту перерізом 0,1 мм^2 потрібно для виготовлення реостата опором 180 Ом.
5. * Визнач масу мідного дроту, довжина якого 2 км і опір 8,5 Ом. Густина міді — 8,9 г/см^3.
6. До будинку підведено кабель з мідними жилами загальним перерізом 100 мм^2. Довжина кабеля дорівнює 80 м. Який його опір?
7. Визнач опір кожного кілометра мідного трамвайного проводу, поперечний переріз якого дорівнює 51 мм^2.
8. Крізь нікеліновий провідник довжиною 5 м і поперечним перерізом 0,12 мм^2 протікає струм силою 1,5 А за напруги 24 В. Визнач питомий опір нікеліну.
9. Скільки треба взяти метрів мідного дроту перерізом 3 мм^2, щоб його опір був таким самим, як опір алюмінієвого дроту перерізом 4 мм^2 і довжиною 15 м?

Переглянь в е-додатку симуляції «Електричний струм в металевих провідниках» (26.1) та «Вимірюємо електричний опір металевого провідника» (26.2).

ОЦІНИ СЕБЕ

Виконай в е-додатку завдання для самооцінювання (26.3).

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ



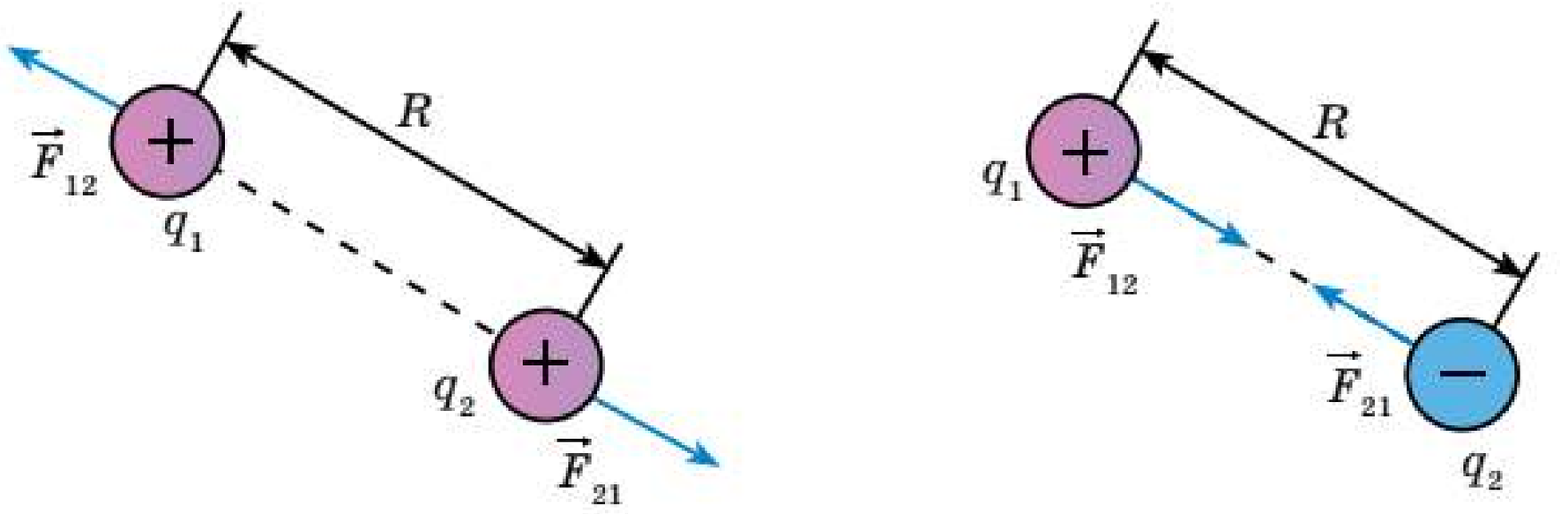
Ти знаєш, що причиною електромагнітної взаємодії є електрично заряджені частинки речовини: електрони і протони. Фізичну величину, яка характеризує властивість частинок і тіл вступати в електромагнітну взаємодію, називають електричним зарядом. Позначається q. Вимірюється в Кл.

Протон — носій елементарного позитивного заряду:
$q_p = +1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл

Електрон — носій елементарного негативного заряду:
$e = -1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл

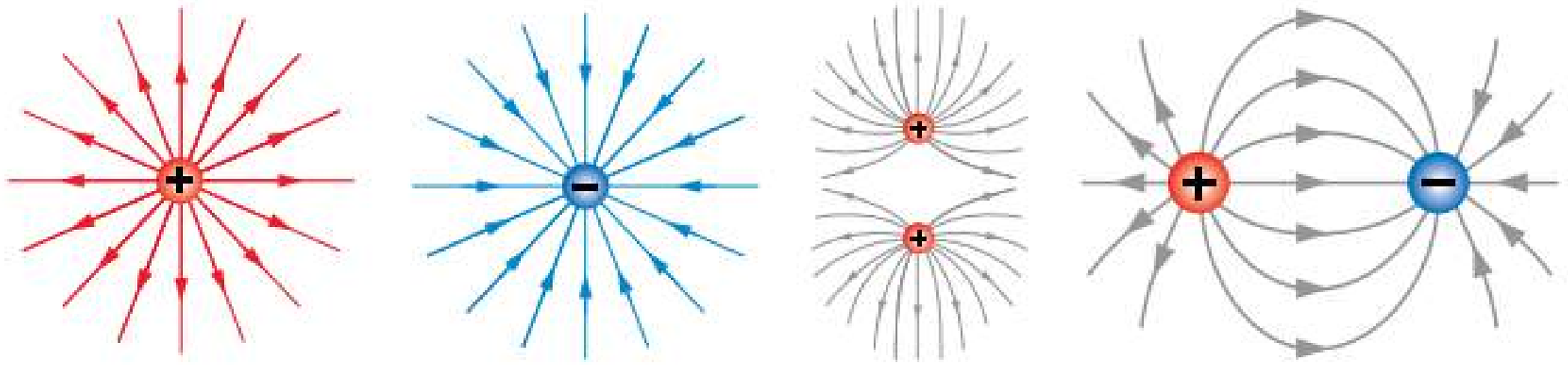
Ти можеш описувати електричну взаємодію тіл:

✔ якісно: однойменно заряджені тіла відштовхуються, різнойменно заряджені — притягуються;



✔ кількісно (*закон Кулона*): сила взаємодії двох нерухомих точкових зарядів прямо пропорційна добутку модулів цих зарядів, обернено пропорційна квадрату відстані між ними та напрямлена вздовж прямої лінії, що з'єднує ці заряди: $F_{ел} = k\dfrac{|q_1| \cdot |q_2|}{R^2}$, де k — коефіцієнт пропорційності, $k = 9 \cdot 10^9 \dfrac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$.

✔ графічно — лініями електричного поля.



Ти розумієш, що електрично нейтральні тіла можуть електризуватися:

- через тертя (електризація дотиком);
- через вплив (електростатична індукція).

Під час електризації тіло завжди одержує або віддає деяку кількість електронів: $|q| = -N|e|$ — тіло одержало N електронів; $|q| = +N|e|$ — тіло віддало N 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).

Ти можеш пояснити, чому речовини поділяють на *провідники*, *напівпровідники* і *діелектрики* (ізолятори).

Ти знаєш, що умовами виникнення й існування електричного струму є наявність:

- вільних носіїв струму;
- електричного поля, дія якого створює й підтримує їхній напрямлений рух;
- замкненого електричного кола (цілісного з'єднання провідників і елементів, якими проходить струм).

Ти розумієш, що протікання електричного струму характеризується такими величинами, як сила струму, напруга й опір.

Величина	Що характеризує	Позначення	Одиниця	Формула	Прилад для вимірювання
Сила струму	Швидкість проходження електричних зарядів через поперечний переріз провідника	I	А	$I = \frac{q}{t}$	Амперметр
Напруга	Роботу з переміщення зарядів	U	В	$U = \frac{A}{q}$	Вольтметр
Опір	Властивість провідника протидіяти проходженню електричного струму	R	Ом	$R = \rho \cdot \frac{l}{S}$	Омметр

Ти дослідив/дослідила зв'язок між величинами, що характеризують електричний струм на ділянці електричного кола (*закон Ома*): сила струму в однорідній ділянці кола прямо пропорційна напрузі на кінцях цієї ділянки та обернено пропорційна її електричному опору: $I = \frac{U}{R}$.

Ти навчився/навчилася креслити схеми електричних кіл, складати електричні кола, регулювати силу струму і напругу в колі.

ПЕРЕВІР СЕБЕ



1. (0,5 б.) Укажи, що відбуватиметься з підвішеною на шовковій нитці незарядженою легкою кулькою, якщо до неї піднести заряджене тіло.

А кулька притягнеться до зарядженого тіла

Б кулька відштовхнеться від зарядженого тіла

В кулька спочатку притягнеться до зарядженого тіла, а після контакту з ним — відштовхнеться

Г оскільки кулька незаряджена, то вона не взаємодіятиме із зарядженим тілом

2. (0,5 б.) Укажи, що є вільними носіями заряду в металевих провідниках.

А негативно заряджені йони

Б позитивно заряджені йони

В йони обох знаків

Г електрони

3. (1 б.) Сила струму в колі електричної лампи дорівнює 0,3 А. Скільки електронів проходить крізь поперечний переріз спіралі за 5 хв?

А $56 \cdot 10^{20}$ електронів

Б $5{,}6 \cdot 10^{20}$ електронів

В 5600 електронів

Г 56 електронів

4. (1 б.) Укажи напругу на реостаті, якщо під час проходження по ньому електричного заряду 12 Кл електричне поле виконало роботу 720 Дж.

А 20 В

Б 60 В

В 0,2 В

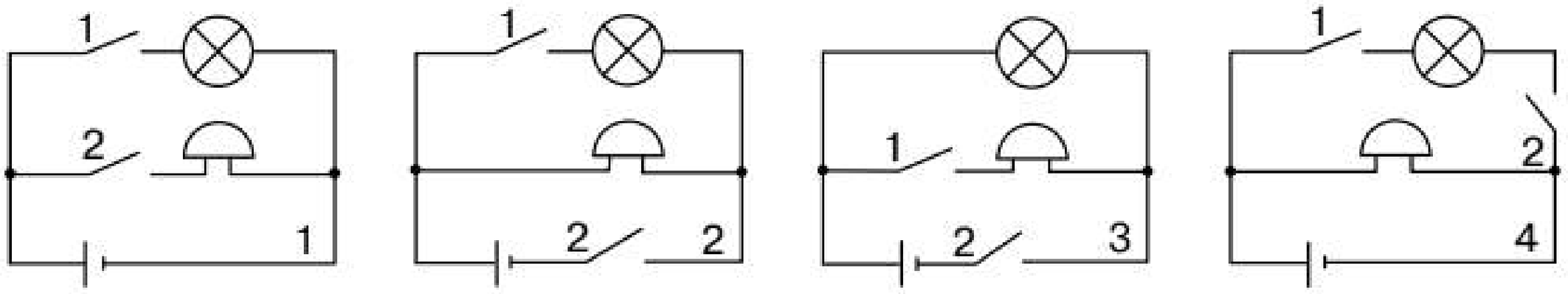
Г 8,64 кВ

5. (1 б.) Сила струму в залізному провіднику завдовжки 150 см і площею поперечного перерізу 0,02 мм^2 дорівнює 250 мА. Яка напруга на кінцях провідника?

А 2 В **В** 0,2 В

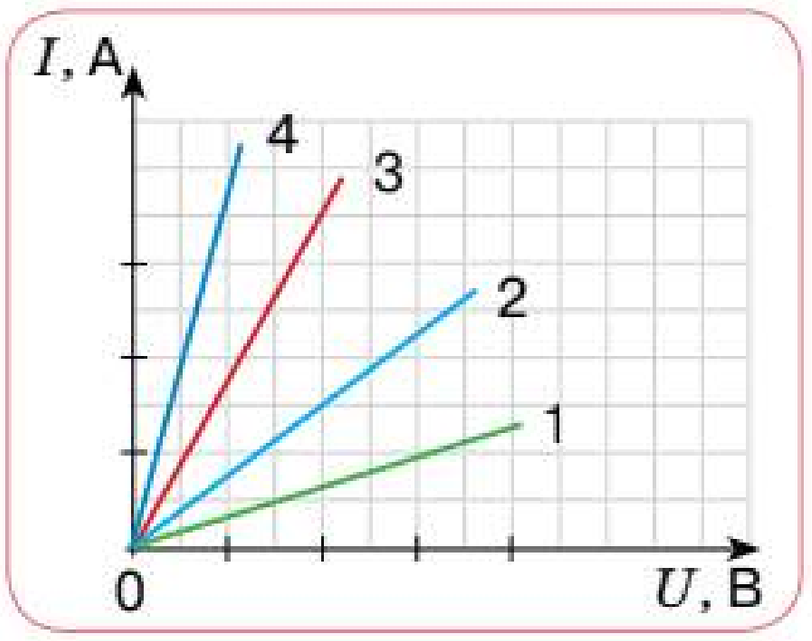
Б 20 В **Г** 200 В

6. (1 б.) Укажи електричну схему електричного кола, у якому при замиканні ключа 2 дзвінок не працює, а лампа світиться.



А 1 і 2 **Б** 3 **В** 2 **Г** 1, 2 і 4

7. (1 б.) Обери графік залежності сили струму в металевому провіднику від напруги, який відповідає провіднику з найменшим опором.

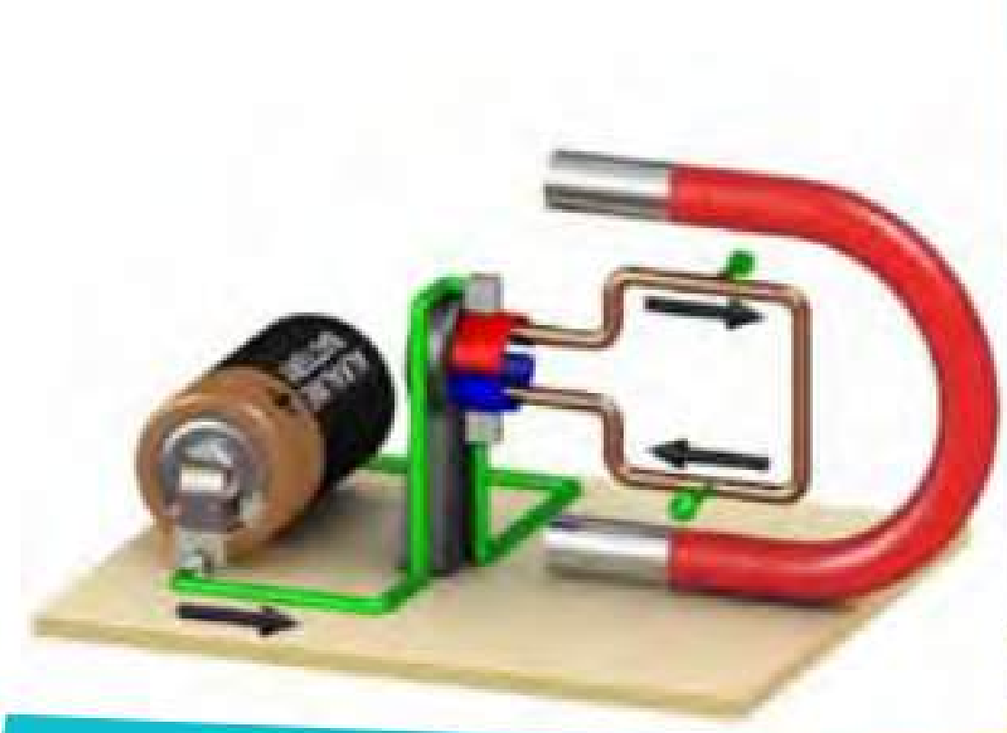


А 1 **Б** 2 **В** 3 **Г** 4

8. (2 б.) Маємо три однакові металеві кульки, підвішені на шовкових нитках. Заряд однієї дорівнює 2 нКл, другої — (−10 нКл), а третьої — 5 нКл. Кульки зіткнули і розвели. Який заряд матимуть кульки після цього?

9. (2 б.) У спіралі електронагрівача, виготовленого з нікелінового дроту площею поперечного перерізу 0,1 мм^2, за напруги 220 В сила струму 4 А. Визнач довжину дроту.

10. (2 б.) Скільки електронів проходить через залізний дріт впродовж 10 с за напруги на ньому 10 В? Довжина дроту — 150 см, площа поперечного перерізу — 10 мм^2.





ТЕМА 4. ЗАКОНИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ. ЕЛЕКТРИЧНА ЕНЕРГІЯ

ТИ НАВЧИШСЯ:

- вибирати пізнавальну ситуацію, яку можна розв'язати дослідницьким способом, формулювати висновки, презентувати результати, здійснювати самоаналіз дослідницької діяльності;
- опрацьовувати, систематизувати та представляти інформацію природничого змісту;
- формулювати проблему й обирати стратегії її розв'язання;
- досліджувати розподіл струму й напруги в електричних колах з послідовним і паралельним з'єднанням провідників та джерел струму, дії електричного струму, особливості протікання електричного струму в різних середовищах;
- розв'язувати фізичні задачі на закони постійного струму, електролізу; Джоуля — Ленца, роботу і потужність електричного струму.

ТИ ЗРОЗУМІЄШ:

- які є співвідношення між силою струму, напругою та опором у колах з послідовно і паралельно з'єднаними провідниками;
- як виявити електричний струм за його діями;
- як визначають роботу електричного струму і потужність;
- як обчислюють кількість теплоти в металевих провідниках;
- чому важливе енергозбереження.

ТИ ЗМОЖЕШ:

- креслити еквівалентні схеми електричних кіл;
- пояснювати особливості протікання електричного струму в різних середовищах, у тому числі в живих організмах;
- визначати роботу і потужність електричного струму;
- порівнювати побутові електричні прилади за їхньою енергоефективністю.

§ 27. ДОСЛІДЖУЄМО ЕЛЕКТРИЧНІ КОЛА З ПОСЛІДОВНИМ З'ЄДНАННЯМ ПРОВІДНИКІВ

Уявляєш, є такі ялинкові гірлянди, у яких під час перегорання однієї лампочки не світиться уся гірлянда. Оце диво!



ДОСЛІДЖУЙ

1 **З'ясуй, чи однакова сила струму в усіх точках електричного кола з послідовним з'єднанням провідників (мал. 27.1). Виконай подібний дослід.**

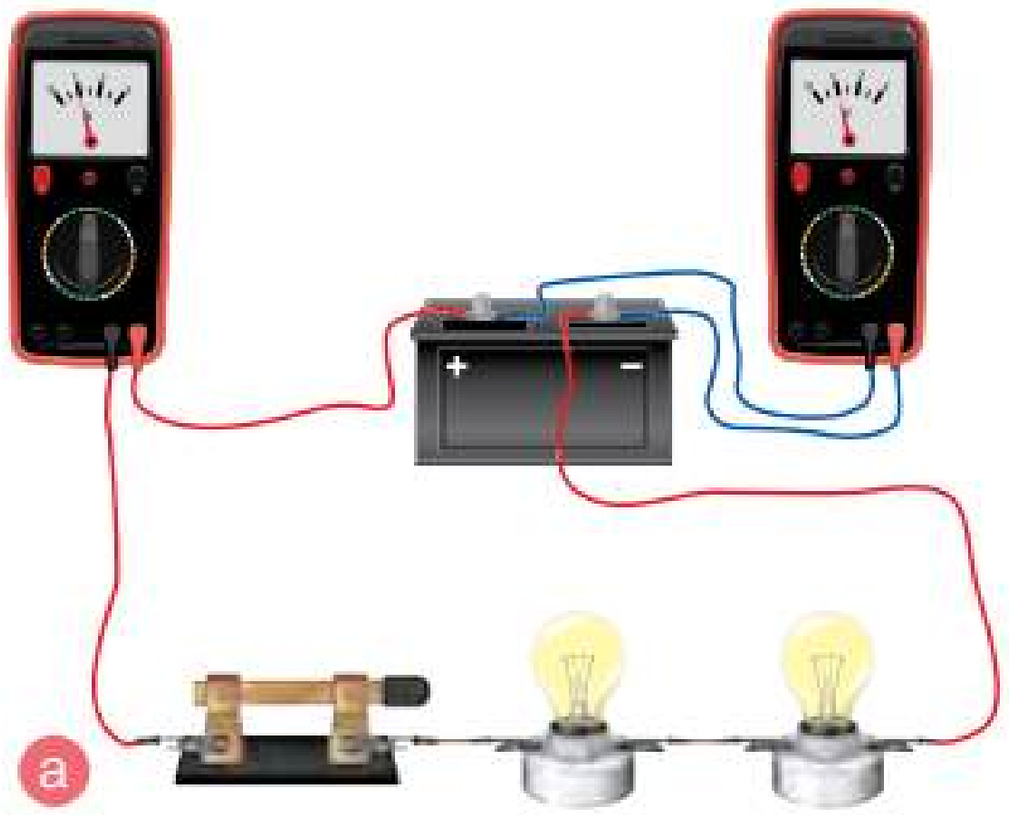




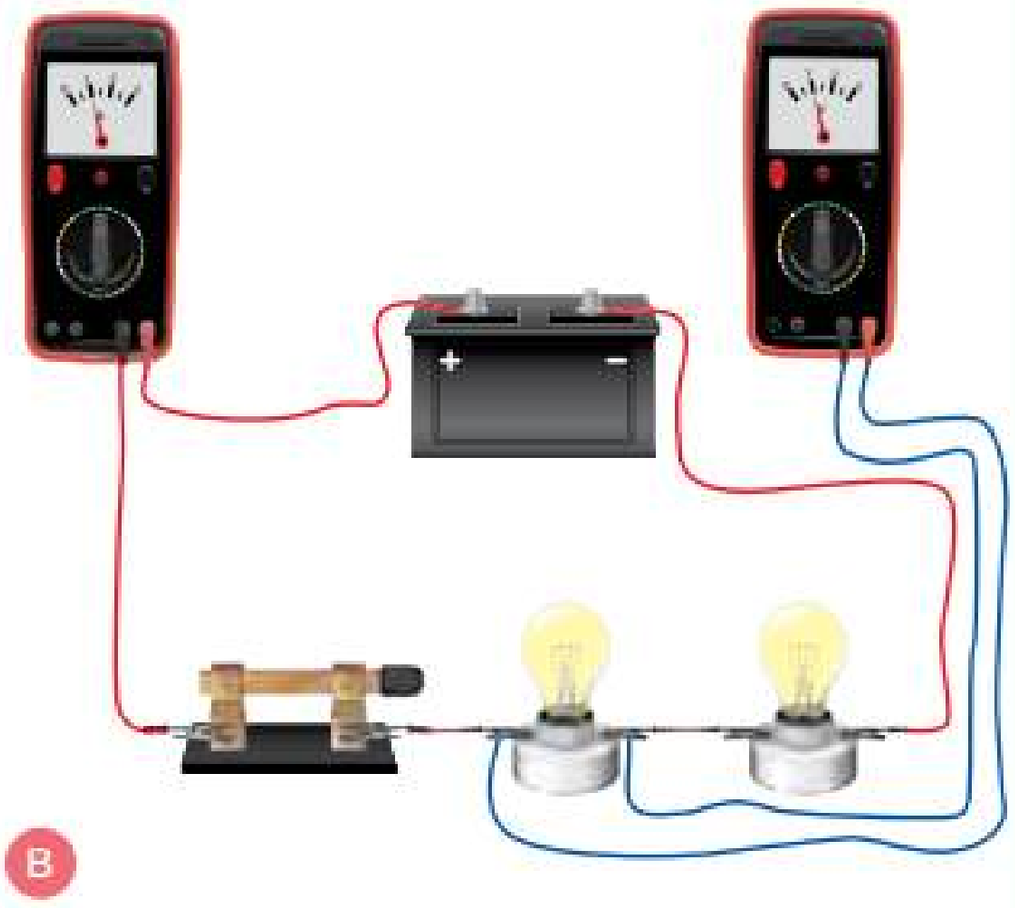


Мал. 27.1. Вимірювання силу струму в електричному колі з послідовним з'єднанням провідників:
а — між ключем і джерелом струму,
б — між електролампами,
в — між джерелом і електролампами

2 **З'ясуй, чи однакова напруга в усіх елементах електричного кола (мал. 27.2). Виконай подібний дослід.**







Мал. 27.2. Вимірювання напруги в колі з послідовним з'єднанням провідників:

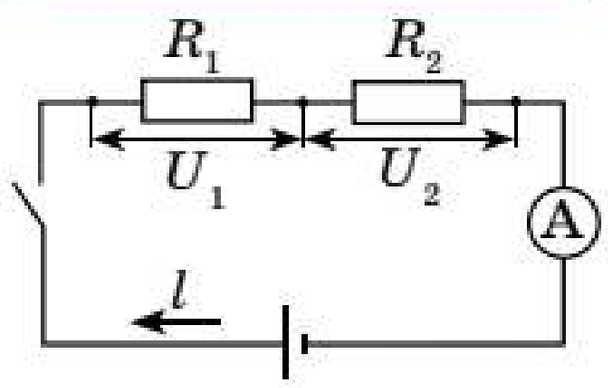
а — на джерелі,

б — на першій лампі,

в — на другій лампі

ДІЗНАВАЙСЯ

Які є співвідношення між силою струму, напругою та опором у колі з послідовно з'єднаними провідниками? *Послідовне з'єднання елементів електричного кола (serial connection)* — це з'єднання, за якого елементи електричного кола приєднуються один за одним — кінець одного елемента сполучають з початком наступного (мал. 27.3).



Мал. 27.3

Послідовно з'єднують резистори, елементи акумуляторної батареї. Послідовно вмикають в електричне коло амперметр.

Будь-які споживачі струму (електричні лампи, резистори тощо) проводять електричний струм, тому для спрощення такі елементи кола можна називати узагальнено — провідники. Висновки, які будуть отримані під час дослідження, формулюватимемо, вживаючи термін «провідники».

Якщо порівняти виміряні значення сили струму (мал. 27.1), ти побачиш, що сила струму в будь-яких частинах електричного кола однакова.

За послідовного з'єднання провідників сила струму в усіх частинах електричного кола однакова: $I = I_1 = I_2$.

Сила електричного струму, який тече через послідовно з'єднані провідники, однакова, тому що за такого з'єднання струм не розгалужується, а тече послідовно через кожен провідник. Електричні заряди ніде не накопичуються, і через будь-який переріз провідника проходить один і той самий заряд за однакові проміжки часу.

Якщо порівняти виміряні значення напруги (мал. 27.2), ти побачиш, що напруга на полюсах джерела струму дорівнює сумі напруг на електролампах: $U = U_1 + U_2$.

Таким чином, повна напруга в електричному колі (або напруга на полюсах джерела струму) за послідовного з'єднання провідників дорівнює сумі напруг на окремих ділянках кола: $U = U_1 + U_2$.

Застосуємо закон Ома для всього кола та окремих його ділянок.

Отримаємо: $U = I \cdot R$, $U_1 = I \cdot R_1$, $U_2 = I \cdot R_2$, де I — сила струму в колі, R, R_1, R_2 — загальний опір кола та його ділянок.

Оскільки загальна напруга на кінцях послідовного з'єднання дорівнює сумі напруг на окремих ділянках кола, тобто $U = U_1 + U_2$, то $I \cdot R = I \cdot R_1 + I \cdot R_2$. Звідси: $R = R_1 + R_2$.

Загальний опір послідовно з'єднаних провідників дорівнює сумі опорів окремих провідників або ділянок електричного кола: $R = R_1 + R_2 + ... + R_n$.

Цю властивість послідовного з'єднання елементів електричного кола враховують, виготовляючи амперметри. Оскільки амперметр включається в коло послідовно, то його опір має бути дуже малим (десяті або соті частки ома), щоб він суттєво не впливав на загальний опір і, відповідно, на силу струму в колі.

Проаналізувавши останню формулу, можна зробити такі висновки:

— загальний опір послідовно з'єднаних провідників більший за опір кожного з цих провідників;

— загальний опір послідовно з'єднаних провідників, які мають однаковий опір, можна розрахувати за формулою: $R = n \cdot R_0$, де n — кількість провідників; R_0 — опір кожного провідника.

Отримані співвідношення виконуються для будь-якої кількості n послідовно з'єднаних провідників:

— сила струму на кожному з провідників однакова і дорівнює загальній силі струму в колі: $I = I_1 = I_2 = ... = I_n$;

— загальна напруга на кінцях послідовного з'єднання дорівнює сумі напруг між кінцями кожного з провідників: $U = U_1 + U_2 + ... + U_n$;

— загальний опір послідовно з'єднаних провідників дорівнює сумі опорів окремих провідників: $R_1 + R_2 + ... + R_n$.

Головним недоліком послідовного з'єднання провідників є те, що у разі виходу з ладу одного з елементів з'єднання перестають діяти всі інші. Наприклад, якщо перегорить одна лампочка новорічної гірлянди, то перестають світитись усі інші.

Переглянь в е-додатку анімаційну модель кола з послідовним з'єднанням провідників (27.1).

vse.ae/tpd3

ДУМАЙ

1. Чи залежить виміряне значення від точки включення амперметра в електричне коло?
2. Як визначити повну напругу в електричному колі, якщо є виміряні значення напруг кожної з його ділянок, з'єднаних послідовно?
3. Як визначити опір ділянки кола, що складається із декількох послідовно з'єднаних резисторів із відомими опорами?
4. Чому внутрішній опір амперметра має бути дуже малим?

ДІЙ

УЧИСЬ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ЗАДАЧІ

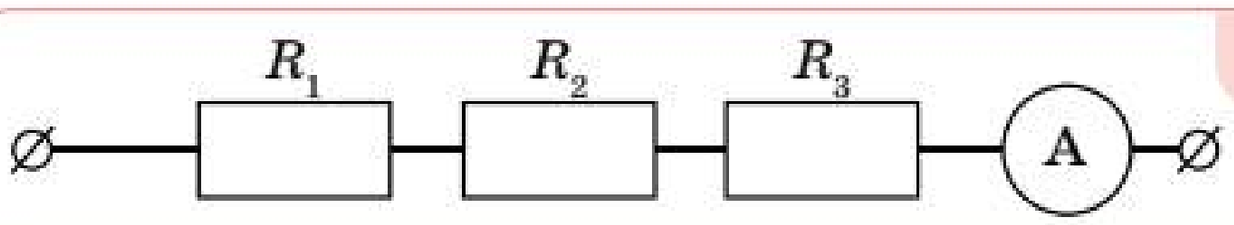
Три резистори з опорами 2 Ом, 3 Ом, 5 Ом з'єднані послідовно. Амперметр, увімкнений у коло, показує струм 1 А. Визнач опір кола, напругу на кожному резисторі та повну напругу на кінцях ділянки кола.

Дано:
$R_1 = 2$ Ом
$R_2 = 3$ Ом
$R_3 = 5$ Ом
$I = 1$ А

R — ?

Розв'язання:

Схема ділянки кола, яка розглядається в задачі, має такий вигляд (мал. 27.4):



Мал. 27.4

Резистори з'єднані послідовно, тому загальний опір кола:
$R = R_1 + R_2 + R_3$, $R = 2$ Ом $+ 3$ Ом $+ 5$ Ом $= 10$ Ом.
Сила струму за послідовного з'єднання однакова в усіх резисторах:
$I_1 = I_2 = I_3 = I = 1$ А.
Напругу на кожному з резисторів визначаємо за законом Ома для ділянки кола: $U_1 = I \cdot R_1$, $U_1 = 1$ А $\cdot 2$ Ом $= 2$ В; $U_2 = I \cdot R_2$, $U_2 = 1$ А $\cdot 3$ Ом $= 3$ В; $U_3 = I \cdot R_3$, $U_3 = 1$ А $\cdot 5$ Ом $= 5$ В.
Повна напруга в колі за послідовного з'єднання: $U = U_1 + U_2 + U_3$, або $U = I \cdot R$, $U = 2$ В $+ 3$ В $+ 5$ В $= 10$ В, або $U = 1$ А $\cdot 10$ Ом $= 10$ В.

Відповідь: $R = 10$ Ом, $U_1 = 2$ В, $U_2 = 3$ В, $U_3 = 5$ В, $U = 10$ В.

РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

1 Користуючись даними, зображеними на малюнку 27.5, визнач напругу джерела струму та напругу на кожному резисторі.

2 В освітлювальну мережу 220 В послідовно увімкнули дві електричні лампи з однаковим опором. Якою буде напруга на кожній із ламп?

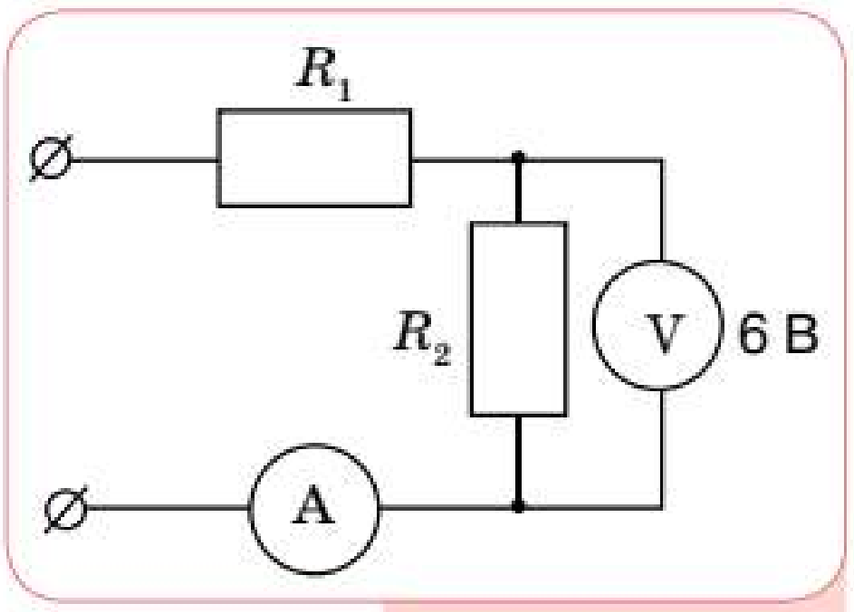


Мал. 27.5

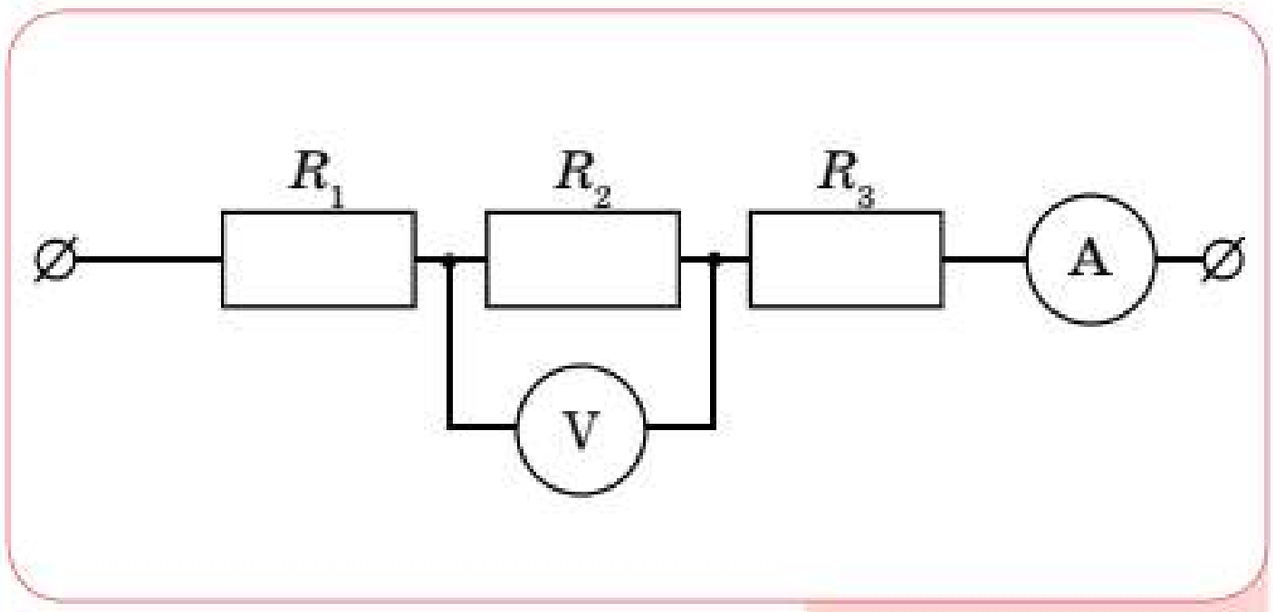
3 Опір електричного кола, що складається з двох послідовно з'єднаних однакових ламп і реостата, дорівнює 1000 Ом. Визнач опір кожної лампи, якщо опір реостата дорівнює 120 Ом.

4 На малюнку 27.6 зображено електричне коло. Опори резисторів, увімкнутих у коло, відповідно, $R_1 = 6$ Ом, $R_2 = 12$ Ом. Покази вольтметра — 6 В. Визнач напругу на резисторі опором R_1 та напругу U на всій ділянці кола.

5 Ділянка електричного кола містить три послідовно з'єднаних резистори (мал. 27.7). Опори резисторів: $R_1 = 50$ Ом, $R_2 = 60$ Ом, $R_3 = 120$ Ом. Яку силу струму показує амперметр і яка напруга у колі, якщо покази вольтметра 12 В?



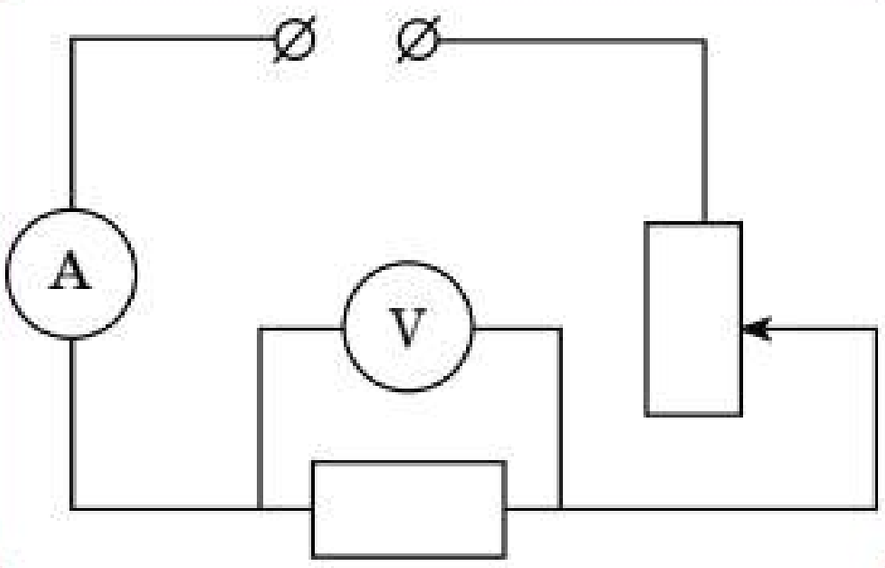
Мал. 27.6



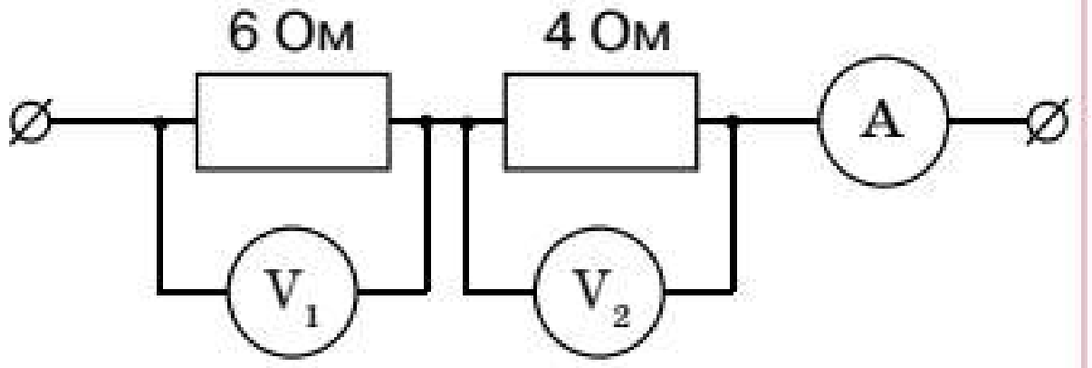
Мал. 27.7

6 Як зміняться покази електричних приладів, зображених на мал. 27.8, якщо повзунок реостата перемістити вниз; вгору?

7 Визнач покази амперметра й другого вольтметра (мал. 27.9), якщо покази першого вольтметра 18 В.

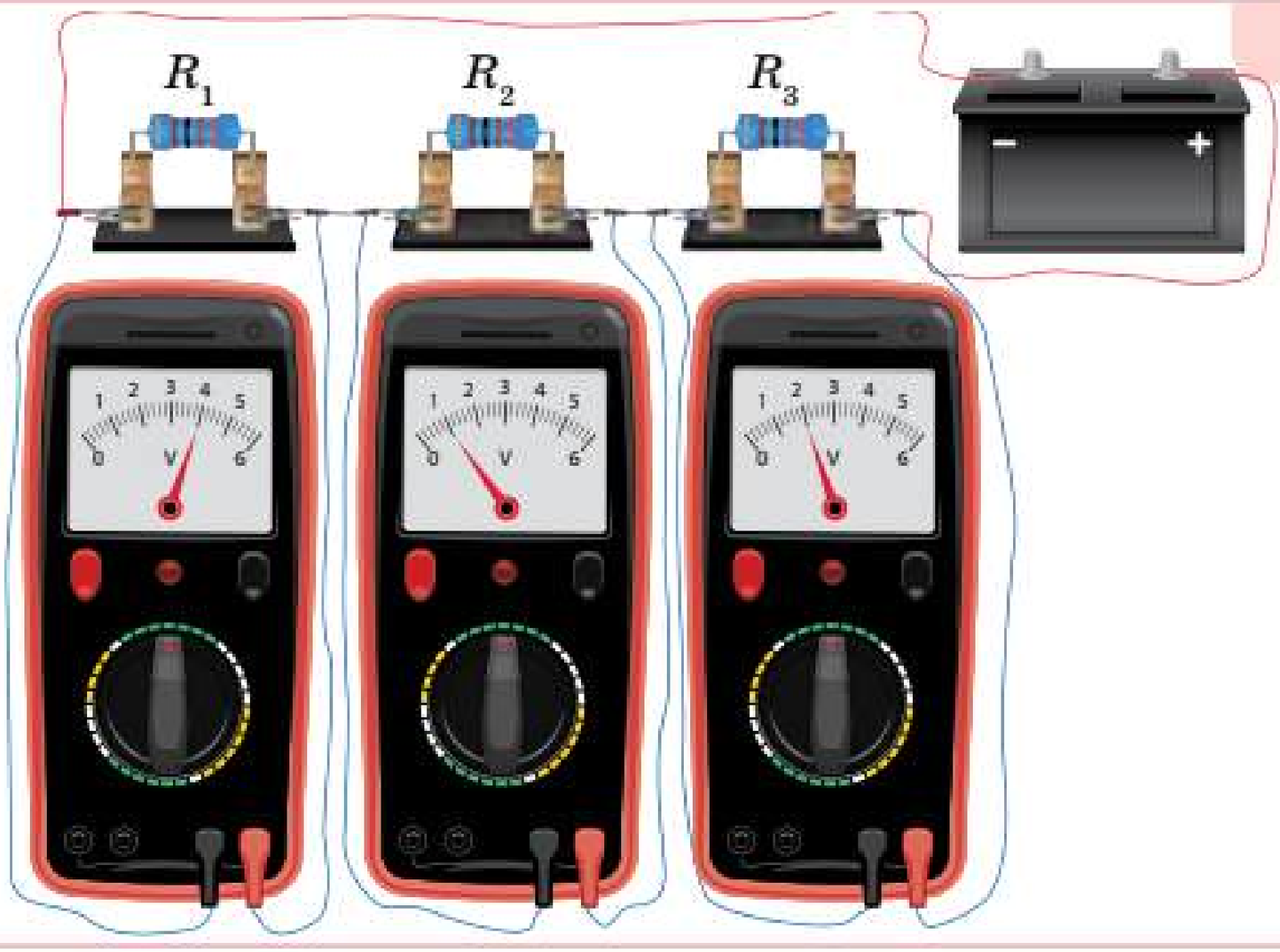


Мал. 27.8



Мал. 27.9

8 Використовуючи покази вольтметрів, зображених на мал. 27.10, дай відповідь на запитання: яким є опір резистора R_1, якщо опір резистора R_2 дорівнює 10 Ом?



Мал. 27.10

9 До полюсів джерела струму приєднано послідовно два дроти однакових розмірів. Перший дріт виготовлено з алюмінію, другий — із міді. На кінцях якого дроту вольтметр покаже більшу напругу? У скільки разів відрізняються покази вольтметра?

ВИКОНАЙ ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

ВИКОНАЙ ЛАБОРАТОРНУ РОБОТУ №7

Виконай в е-додатку віртуальну лабораторну роботу 7.

Виконуй роботу із дотриманням правил безпеки життєдіяльності.

Дослідѝ електричне коло з послідовним з'єднанням провідників. *Обладнання*: батарея акумуляторів, дві електролампи, амперметр постійного струму на 2 А, вольтметр постійного струму на 4 В, перемикач, з'єднувальні проводи.

1. Накресли схему електричного кола, що складається з джерела струму, двох електричних ламп, з'єднаних послідовно, амперметра і ключа.
2. Склади коло за накресленою схемою для вивчення послідовного з'єднання елементів.
3. Визнач силу струму I_1 на лампі 1 за показами амперметра. Ввімкни амперметр після другої лампи і виміряй силу струму I_2. Ввімкни амперметр в інше місце кола і виміряй силу струму I. Переконайся, що сила струму однакова. Результати вимірювань запиши до таблиці 27.1.

Таблиця 27.1

Номер досліду	Сила струму, А			Напруга, В			Опір, Ом		
	I_1	I_2	I	U_1	U_2	U	R_1	R_2	R
1									
2									

4. Підключи вольтметр паралельно: а) до лампи 1, виміряй напругу U_1; б) до лампи 2, виміряй напругу U_2; в) до ділянки кола з обома лампами, виміряй напругу U. Результати вимірювань запиши до таблиці.
5. Обчисли опори ламп R_1, R_2 та загальний опір R послідовно з'єднаних елементів. Результати вимірювань запиши до таблиці.
6. Зроби висновки.

§ 28. ДОСЛІДЖУЄМО ЕЛЕКТРИЧНІ КОЛА З ПАРАЛЕЛЬНИМ З'ЄДНАННЯМ ПРОВІДНИКІВ

«Всі або жодного» — таке гасло можна застосувати до послідовного з'єднання провідників. Одним вимикачем можна увімкнути/вимкнути всі електролампи, з'єднані послідовно.

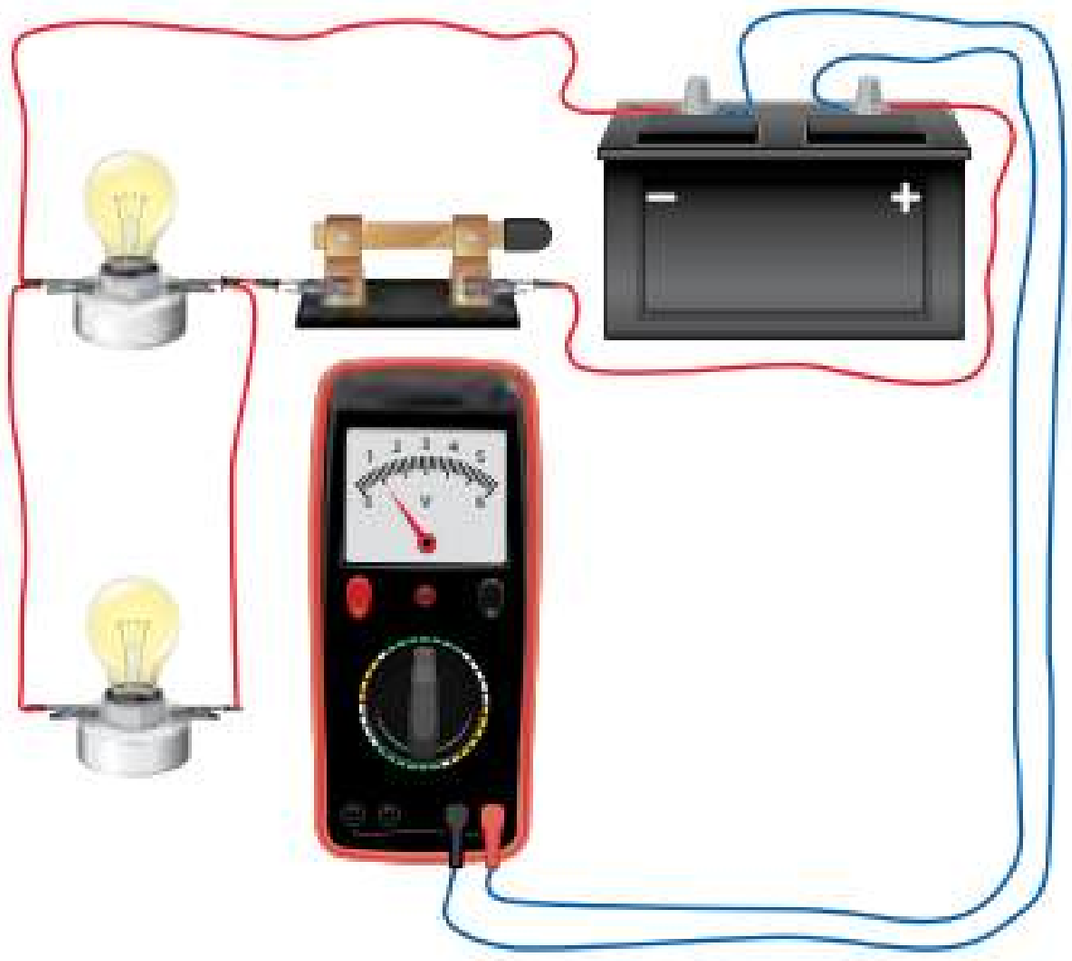




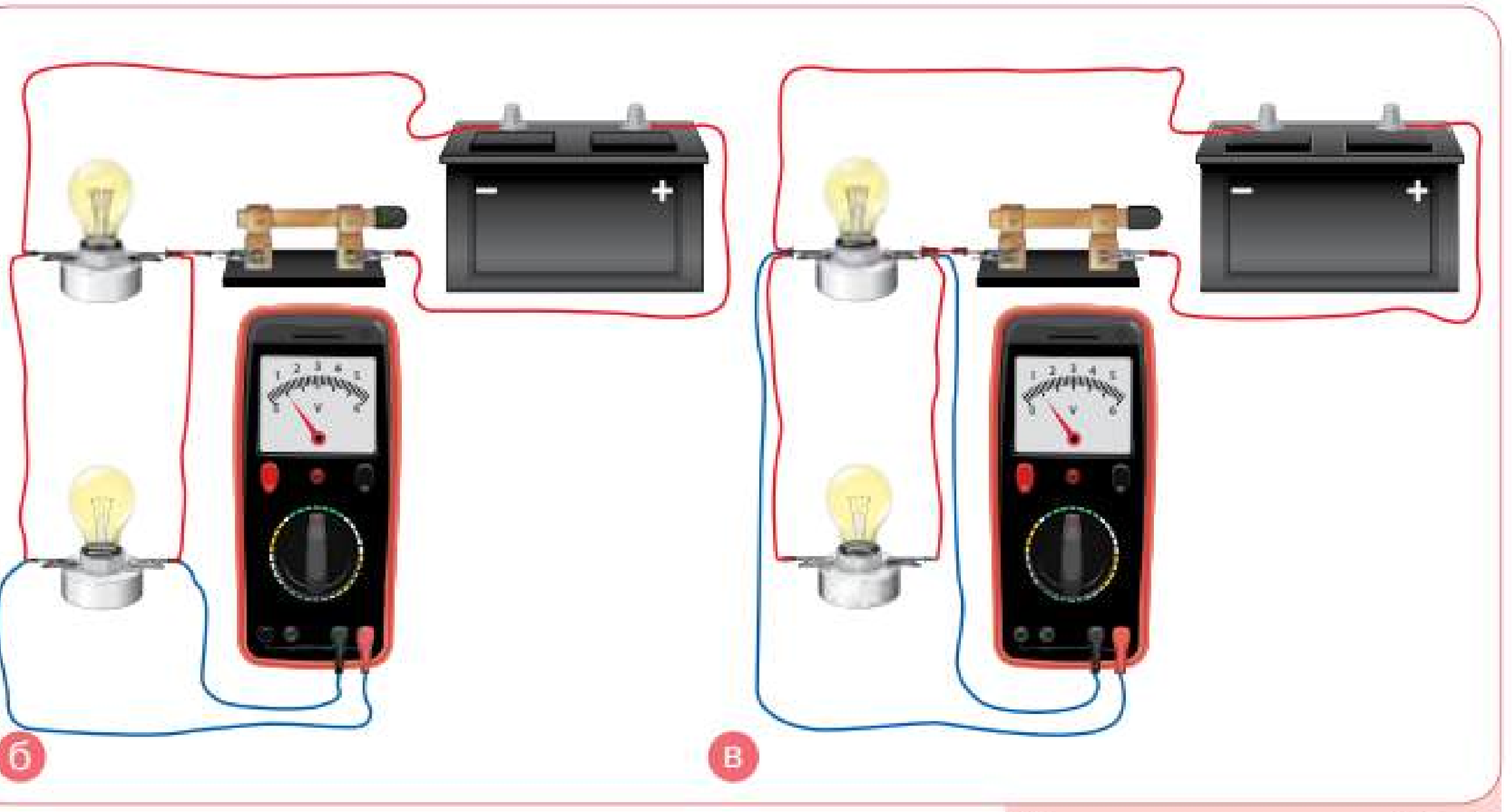
А чому тоді для кожного світильника в квартирі чи школі потрібний свій вимикач?

ДОСЛІДЖУЙ

1 **З'ясуй, чи однакова напруга на джерелі та електролампах, з'єднаних паралельно (мал. 28.1). Виконай подібний дослід.**

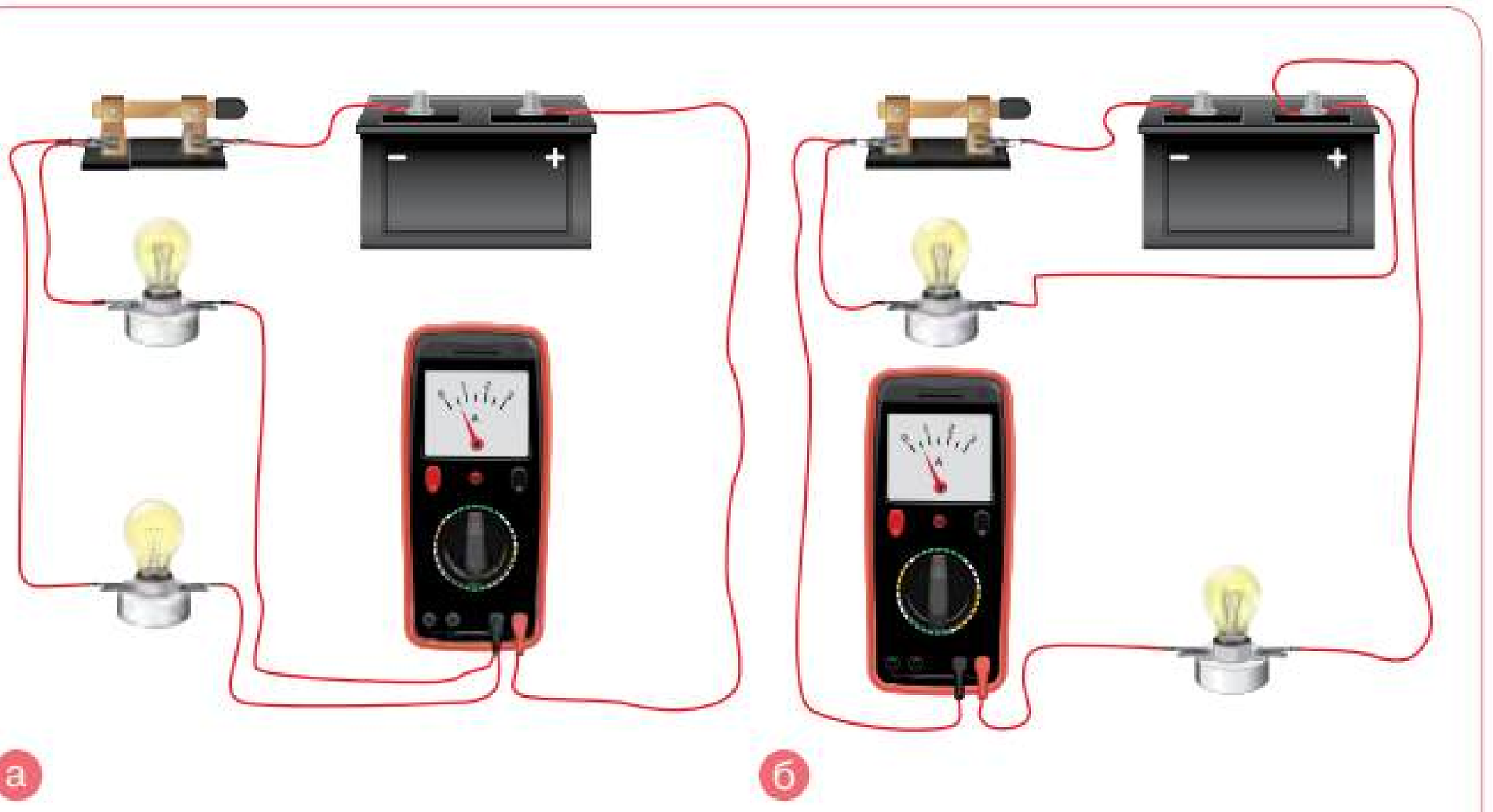


Мал. 28.1. Вимірювання напруги в колі з паралельним з'єднанням провідників: а — на джерелі, б — на першій лампі, в — на другій лампі



Продовження мал. 28.1

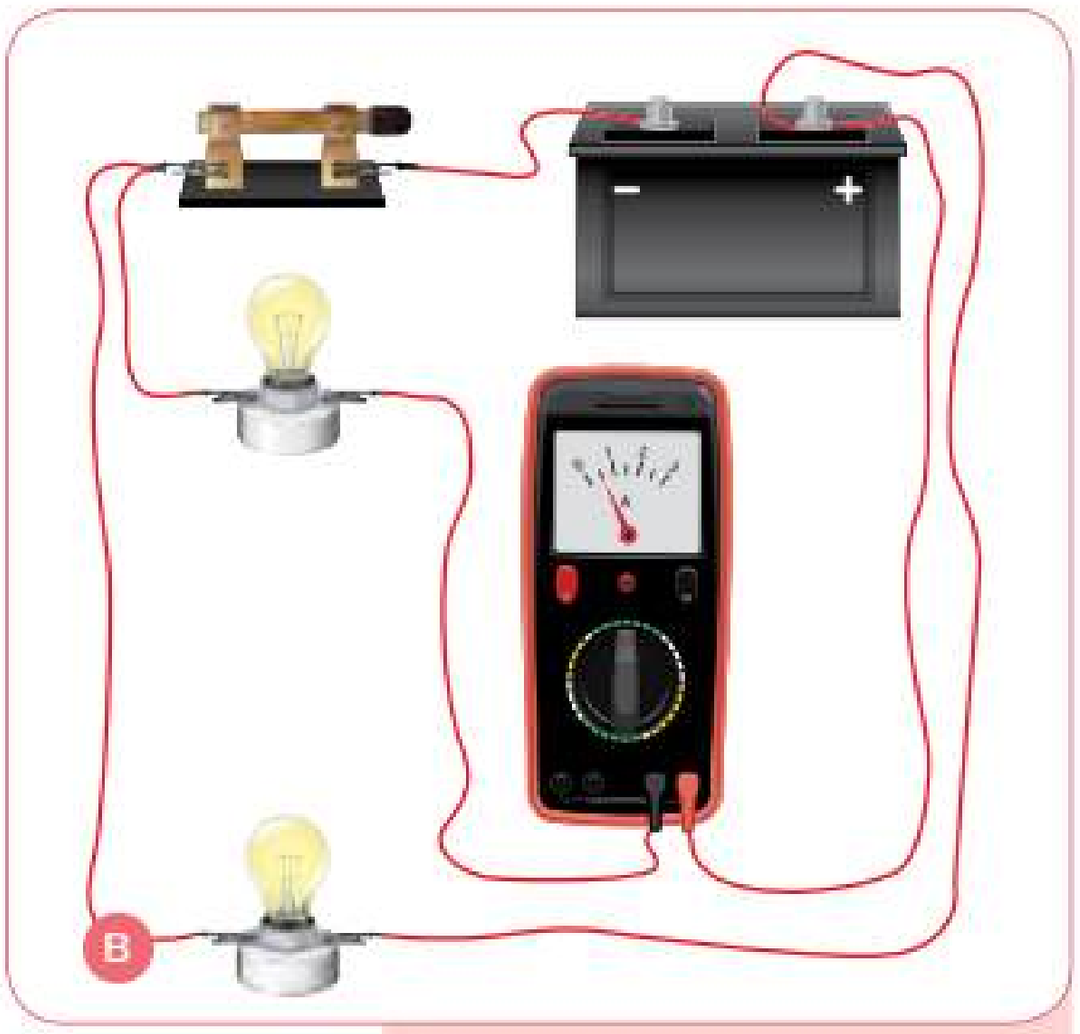
2 **З'ясуй, чи однакова сила струму в усіх точках електричного кола з паралельним з'єднанням провідників (мал. 28.2). Виконай подібний дослід.**



Мал. 28.2. Вимірювання сили струму в колі з паралельним з'єднанням провідників: а — у загальній частині кола, б — на першій лампі, в — на другій лампі

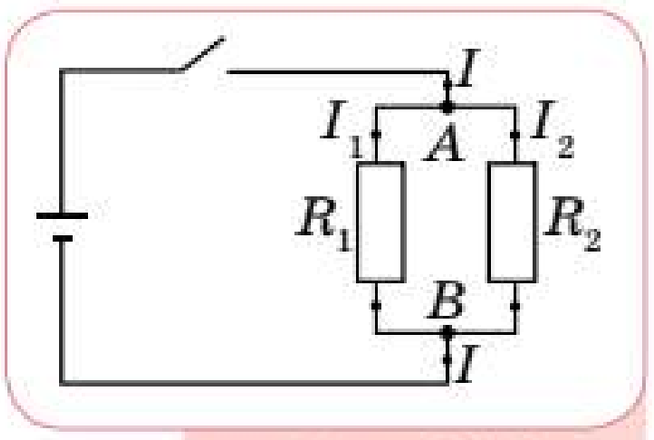
ДІЗНАВАЙСЯ

Які є співвідношення між силою струму, напругою та опором у колі з паралельно з'єднаними провідниками? *Паралельне з'єднання* елементів електричного кола (*parallel connection*) — це таке з'єднання, за якого одні кінці всіх провідників приєднують до однієї точки електричного кола — т. A, а інші кінці — до другої точки — т. B (мал. 28.3).



Продовження мал. 28.2

Такі кола ще називають розгалуженими, а місця з'єднання провідників — вузловими точками. Вузлові точки розділяють електричне коло на окремі гілки. Особливістю розгалужених електричних кіл є те, що у кожній гілці тече свій струм, який може відрізнятися за значенням. Паралельно полюсам джерела струму або затискачам споживача електричної енергії в електричне коло вмикають вольтметр.



Мал. 28.3

Вмикаючи вольтметр так, як показано на мал. 28.1, а–в, у тебе була змога переконатися, що напруга на джерелі струму й на кінцях усіх паралельно з'єднаних провідників однакова.

Напруга на кожному паралельно приєднаному провіднику однакова і дорівнює напрузі на усій ділянці кола: $U = U_1 = U_2$.

Завдяки такій властивості паралельного з'єднання його широко використовують у техніці та побуті. Всі побутові споживачі електричного струму (електричні освітлювальні лампи в квартирі, телевізор, холодильник, мікрохвильова піч) розраховані на однакову робочу напругу 220 В, і їх вмикають паралельно в електромережу квартири.

Вимірюючи силу струму I до розгалуження (повну силу струму в колі), силу струму I_1 в першій електролампі та силу струму I_2 в другій електролампі, переконуєшся, що сила струму до розгалуження дорівнює сумі сил струмів в електролампах: $I = I_1 + I_2$.

Сила струму в нерозгалуженій частині кола дорівнює сумі струмів в окремих паралельно з'єднаних елементах електричного кола: $I = I_1 + I_2$.

За законом Ома $I = \frac{U}{R}$, відповідно: $I_1 = \frac{U}{R_1}$, $I_2 = \frac{U}{R_2}$.

Тоді $\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2}$. Скоротивши на U, отримаємо: $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$.

За паралельного з'єднання елементів електричного кола величина, обернена до повного опору з'єднання, дорівнює сумі величин, обернених до опорів розгалужень: $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$.

Отримані співвідношення виконуються для будь-якої кількості n паралельно з'єднаних провідників:

— напруга на кожному паралельно приєднаному провіднику однакова і дорівнює напрузі на усій ділянці кола: $U = U_1 = U_2 = ... = U_n$;

— сила струму в нерозгалуженій частині кола дорівнює сумі струмів в окремих паралельно з'єднаних елементах електричного кола: $I = I_1 + I_2 + ... + I_n$;

— загальний опір паралельно з'єднаних провідників дорівнює сумі величин, обернених до опорів розгалужень: $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + ... + \frac{1}{R_n}$.

Проаналізувавши останню формулу, зробимо такі висновки:

— загальний опір провідників, з'єднаних паралельно, менший від опору кожного з цих провідників;

— загальний опір паралельно з'єднаних провідників, які мають однаковий опір, можна розрахувати за формулою: $R = \frac{R_0}{n}$, де R_0 — опір кожного провідника, n — кількість провідників.

Особливість паралельного з'єднання споживачів у мережі із напругою 220 В полягає в тому, що:

1) на кожному пристрої буде та напруга, на яку він розрахований, а саме 220 В;

2) вимкнення одного зі споживачів не приведе до вимкнення решти.

Переглянь в е-додатку анімаційну модель електричного кола з паралельним з'єднанням провідників (28.1).

ДУМАЙ

1. Яким чином вимірюють напругу на провідниках електричного кола, з'єднаних паралельно?
2. Як співвідноситься сила струму в нерозгалуженій частині електричного кола зі струмами в провідниках, з'єднаних паралельно?
3. Чому в житлових приміщеннях споживачі електричної енергії з'єднують паралельно?

ДІЙ

УЧИСЬ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ЗАДАЧІ

1 Доведи, що якщо коло складається з n паралельно з'єднаних однакових провідників з опором R_0 кожен, то загальний опір кола R буде в n разів меншим від опору одного провідника: $R = \frac{R_0}{n}$.

Дано:

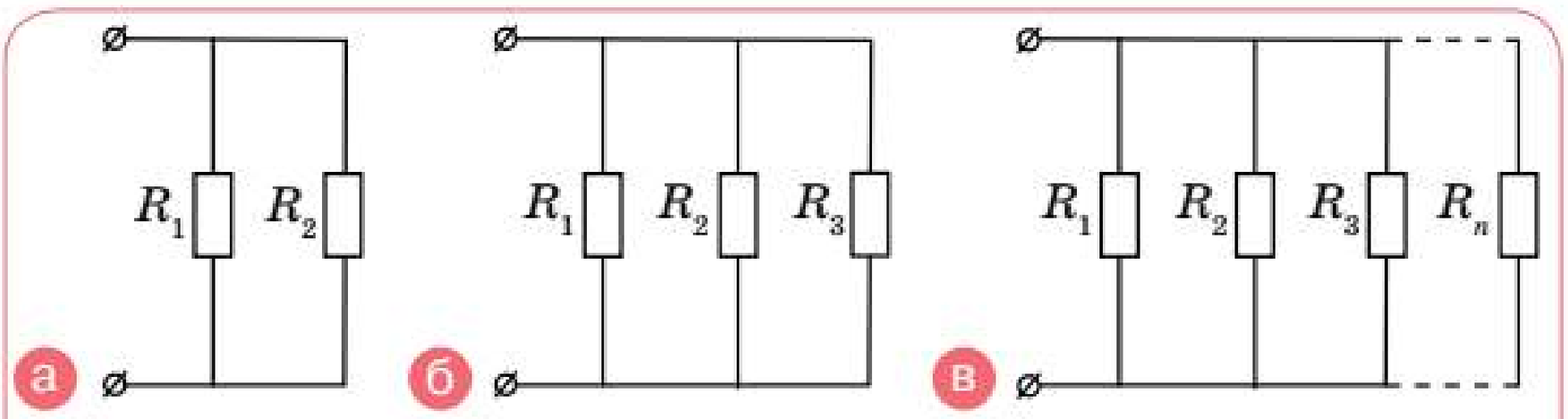
R_o

N

$R = \frac{R_0}{n}$ — ?

Доведення:

Розглянемо випадок паралельного з'єднання двох однакових провідників (мал. 28.4, а).



Мал. 28.4. Паралельне з'єднання провідників: а — двох, б — трьох, в — n провідників

Загальний опір двох паралельно з'єднаних провідників: $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$.

Оскільки опори однакові, то $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_0} + \frac{1}{R_0} = \frac{2}{R_0}$, звідси $R = \frac{R_0}{2}$.

У випадку трьох паралельно з'єднаних однакових провідників (мал. 28.4, б): $\frac{1}{R}=\frac{1}{R_0}+\frac{1}{R_0}+\frac{1}{R_0}=\frac{3}{R_0}$, звідки $R=\frac{R_0}{3}$.

Відповідно для n паралельно з'єднаних однакових провідників з опором R_0 (мал. 28.4, в) кожен $R=\frac{R_0}{n}$.

2 Ділянка електричного кола містить три паралельно з'єднані провідники, опори яких відповідно: $R_1 = 3$ Ом, $R_2 = 5$ Ом, $R_3 = 15$ Ом. Визнач загальний опір ділянки кола.

Дано:
$R_1 = 3$ Ом
$R_2 = 5$ Ом
$R_3 = 15$ Ом

R — ?

Розв'язання:

Загальний опір трьох паралельно з'єднаних провідників визначається за формулою: $\frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\frac{1}{R_3}$.

Зведемо до спільного знаменника: $\frac{1}{R}=\frac{R_2R_3+R_1R_3+R_1R_2}{R_1R_2R_3}$.

Звідки $R=\frac{R_1R_2R_3}{R_2R_3+R_1R_3+R_1R_2}$. Підставляємо числові значення:

$$R=\frac{3\text{ Ом}\cdot 5\text{ Ом}\cdot 15\text{ Ом}}{5\text{ Ом}\cdot 15\text{ Ом}+3\text{ Ом}\cdot 15\text{ Ом}+3\text{ Ом}\cdot 5\text{ Ом}}\approx 1{,}6\text{ Ом}.$$

Відповідь: $\approx 1{,}6$ Ом.

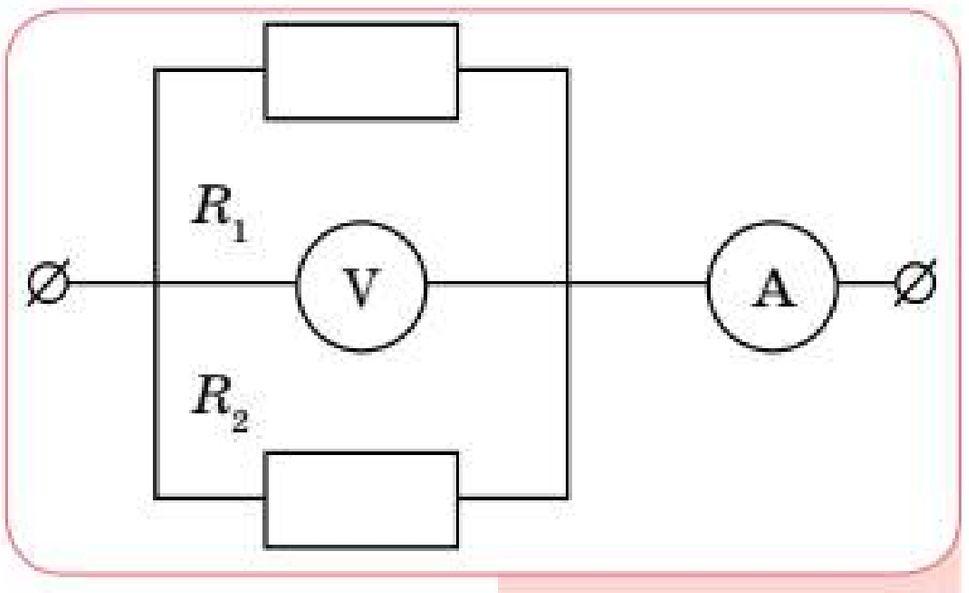
Зверни увагу! Значення загального опору менше від значення будь-якого з опорів, що складають ділянку паралельного їх з'єднання.



РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

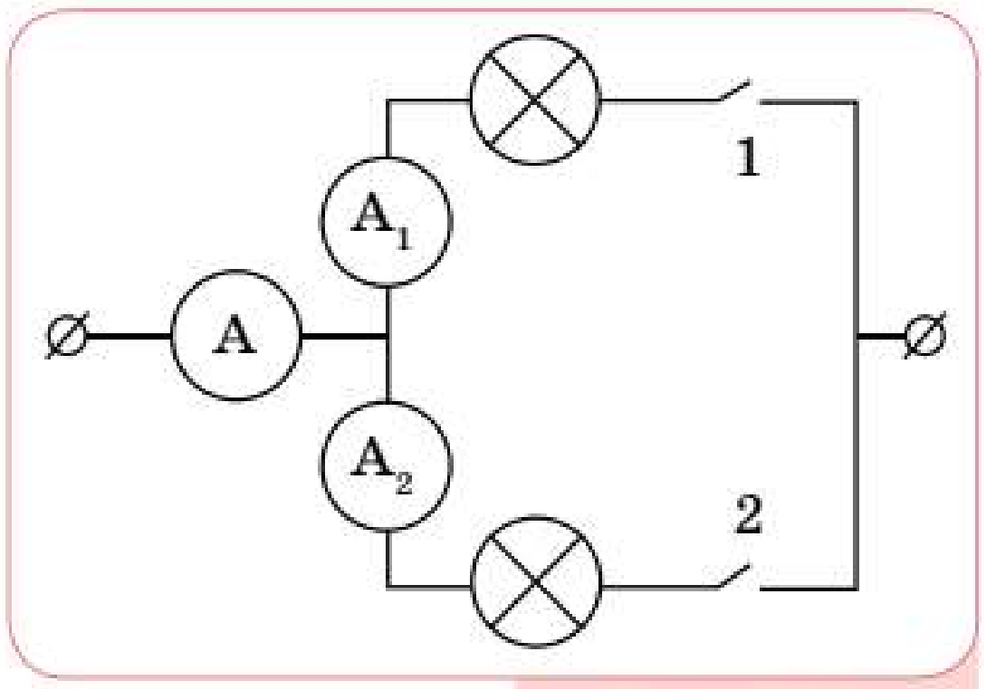
1 Два провідники паралельно приєднано до джерела струму. Опір першого провідника 150 Ом, другого — 30 Ом. Визнач, у якому провіднику сила струму більша і у скільки разів.

2 Амперметр, включений в електричне коло (мал. 28.5), показує силу струму 1,6 А за напруги 120 В.



Мал. 28.5

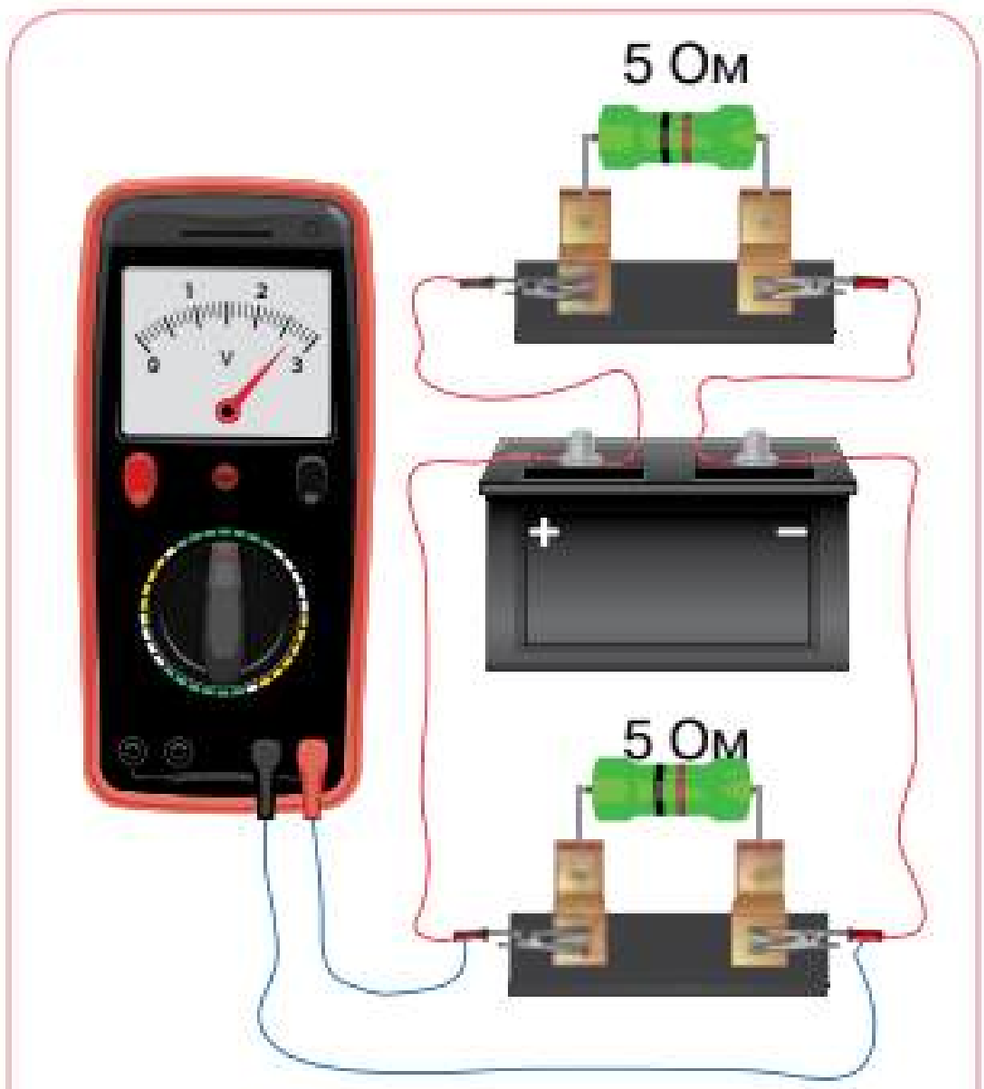
Опір першого резистора $R_1 = 100$ Ом. Визнач опір другого резистора R_2 і силу струму в кожній ділянці кола.



Мал. 28.6

3 Ділянка електричного кола містить дві паралельно приєднані лампи, три амперметри та два ключі (мал. 28.6). Якщо замкнені ключі 1 і 2, амперметр A показує силу струму 1,2 А. Що покаже амперметр A_2, якщо замкнути ключ 1; ключ 2?

4 До джерела струму приєднано два однакові резистори (мал. 28.7). За даними малюнка визнач силу струму в колі.



Мал. 28.7

5* Неізольований дріт має електричний опір 1 Ом. Визнач опір цього ж дроту, якщо його посередині розрізати і скрутити отримані половини разом по всій довжині.

6* Ізольований дріт опором 1 Ом розрізали посередині і скрутили отримані половини разом по всій довжині. Визнач опір такого провідника.

7* Провід розрізали на три частини і сплели в один. У скільки разів змінився опір проводу?

Переглянь в е-додатку симуляцію «Досліджуємо електричне коло з паралельним з'єднанням провідників» (28.2).

ВИКОНАЙ ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

ВИКОНАЙ ЛАБОРАТОРНУ РОБОТУ №8

Виконуй роботу із дотриманням правил безпеки життєдіяльності.

Дослідѝ електричне коло з паралельним з'єднанням провідників. *Обладнання*: батарея акумуляторів, дві електролампи, амперметр постійного струму на 2 А, вольтметр постійного струму на 4 В, перемикач, з'єднувальні проводи.

1. Накресли схему електричного кола, що складається з джерела струму, двох електричних ламп, з'єднаних паралельно, вольтметра і ключа.

2. Склади коло за накресленою схемою для вивчення паралельного з'єднання елементів.

Номер досліду	Сила струму, А			Напруга, В			Опір, Ом		
	I_1	I_2	I	U_1	U_2	U	R_1	R_2	R
1									
2									

3. Визнач напругу U за показами вольтметра. Підключи вольтметр спочатку до клем лампи 1, виміряй напругу U_1, а потім до лампи 2, виміряй напругу U_2.

4. Підключи амперметр послідовно: а) з лампою 1 і запиши покази амперметра I_1; б) з лампою 2 і запиши покази амперметра I_2; в) у загальну ділянку кола і виміряй силу струму I.

5. Обчисли опори ламп R_1, R_2 та загальний опір R паралельно з'єднаних елементів.

6. Зроби висновок, чи виконуються закони паралельного з'єднання елементів.

§ 29. ДОСЛІДЖУЄМО ЕЛЕКТРИЧНІ КОЛА ІЗ МІШАНИМ З'ЄДНАННЯМ ПРОВІДНИКІВ

О, зараз ми будемо розв'язувати задачі, у яких в електричних колах одночасно будуть ділянки із послідовним і паралельним з'єднанням провідників! Я здогадалась?

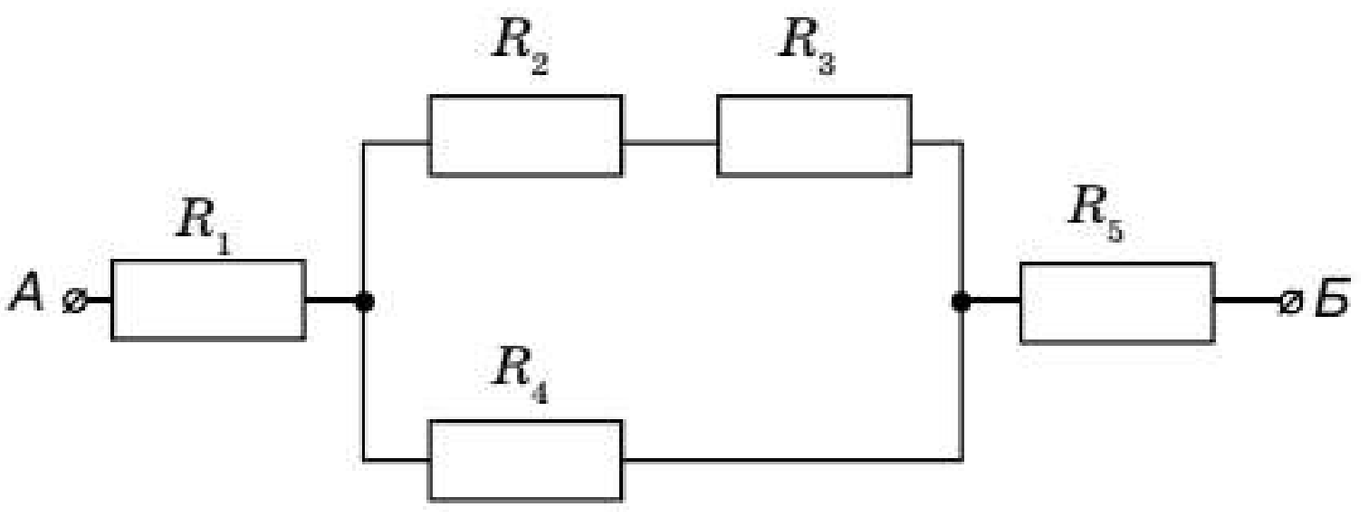


ДОСЛІДЖУЙ

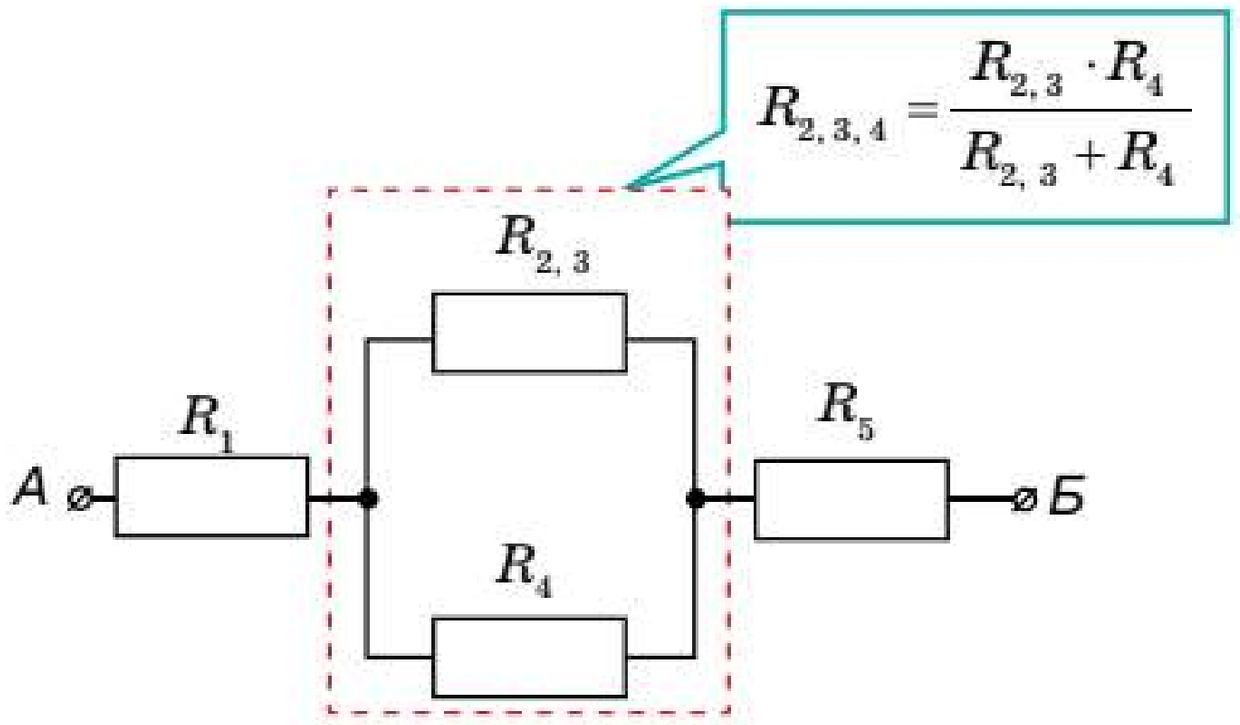
Роздивись схему (мал. 29.1, а), прочитай умову задачі та установи відповідність між кроками її розв'язання (1–3) та схемами (б–г).

***Задача*: визнач загальний опір на ділянці *АБ* електричного кола, якщо всі елементи мають опір 1 Ом.**

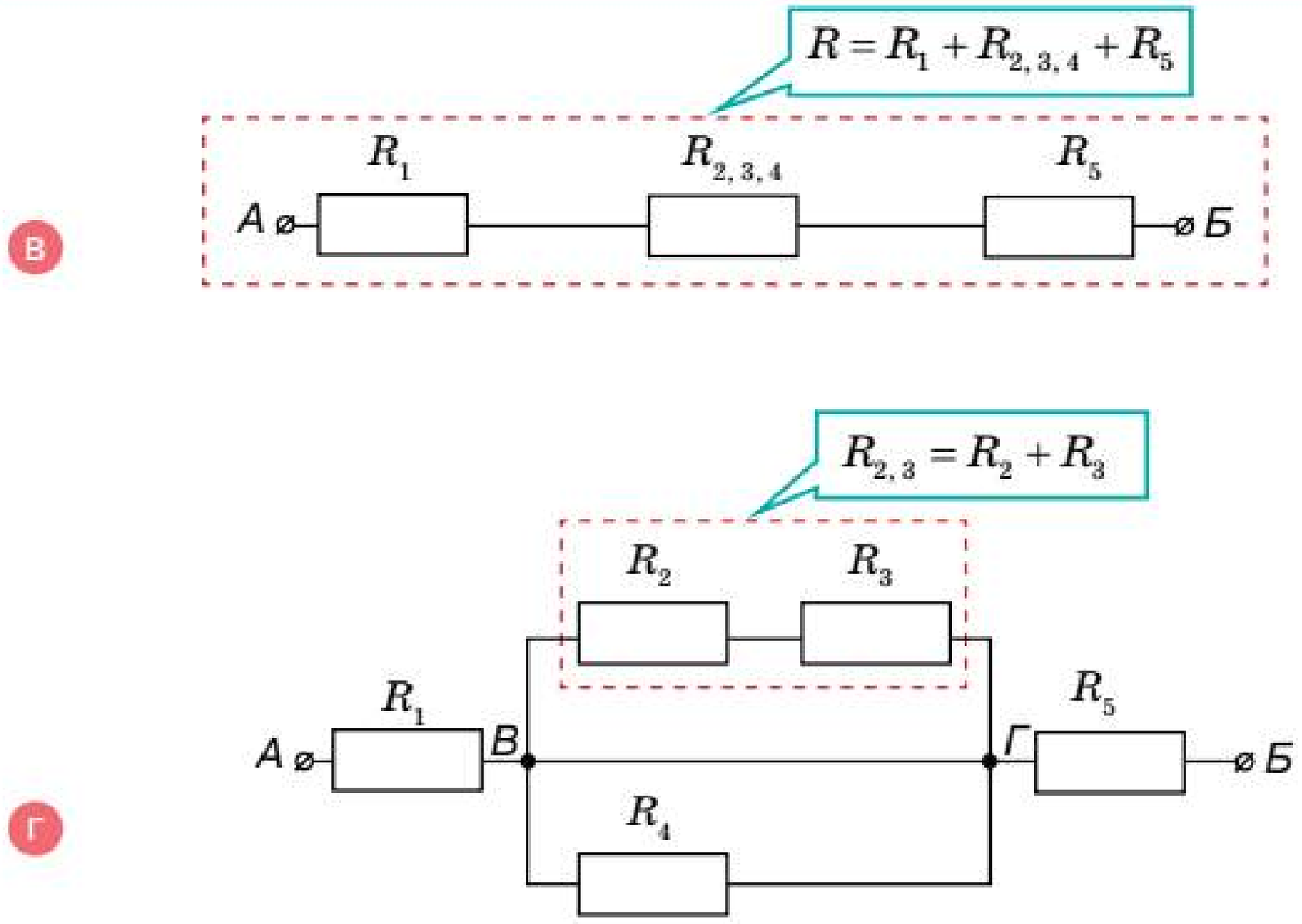
а



б



Мал. 29.1



Продовження мал. 29.1

Кроки розв'язання задачі

1. Визначити загальний опір $R_{2,3}$ послідовно з'єднаних елементів R_2R_3 на верхній гілці $ВГ$.
2. Визначити загальний опір $R_{2,3,4}$ паралельно з'єднаних елементів R_4 та обчисленого опору $R_{2,3}$.
3. Визначити загальний опір послідовно з'єднаних елементів R_1, $R_{2,3,4}$, R_5.

ДІЗНАВАЙСЯ

Як покроково замінювати складну електричну схему еквівалентною? Електричні кола, з якими доводиться мати справу на практиці, складаються з кількох різних споживачів, які можуть бути з'єднані між собою послідовно, паралельно або послідовно й паралельно (мішане з'єднання).

Щоб розрахувати загальний опір схеми із мішаним з'єднанням, її спрощують, поступово зменшуючи кількість опорів до одержання схеми з одним опором.

Мішаним (*mixed*) називають таке з'єднання провідників, яке є комбінацією послідовних і паралельних з'єднань.

Такі електричні кола розраховують за допомогою *еквівалентних схем*. Для побудови еквівалентної схеми виділяють ділянку кола, на

якій елементи з'єднано тільки послідовно або тільки паралельно, тобто опір цієї ділянки можна розрахувати. Далі таку ділянку кола замінюють одним резистором, опір якого дорівнює розрахованому. Вибудовуючи таким чином кілька еквівалентних схем, визначають загальний опір кола.

Якщо відома напруга джерела струму, можна визначити загальну силу струму. Далі вже можна розрахувати напруги і сили струму на окремих резисторах.

Покажемо на прикладі, як використовувати методику еквівалентної схеми.

У коло, зображене на малюнку 29.2, а, подано напругу 55 В. Опори всіх резисторів однакові і дорівнюють 2 Ом. Визнач загальний опір кола, а також розподіл струмів і напруги.

Крок 1. Виділяємо ділянку, де три резистори з'єднані між собою послідовно, — це резистори R_4, R_5, R_6. Обчислимо їх електричний опір: $R_{4,5,6} = R_4 + R_5 + R_6 = 6$ Ом.

Тепер можна накреслити еквівалентну схему, замінивши ці опори еквівалентним $R_{4,5,6}$ (мал. 29.2, б).

Крок 2. Виділяємо ділянку, у якій резистори R_3 і $R_{4,5,6}$ з'єднані між собою паралельно. Опір цієї ланки:

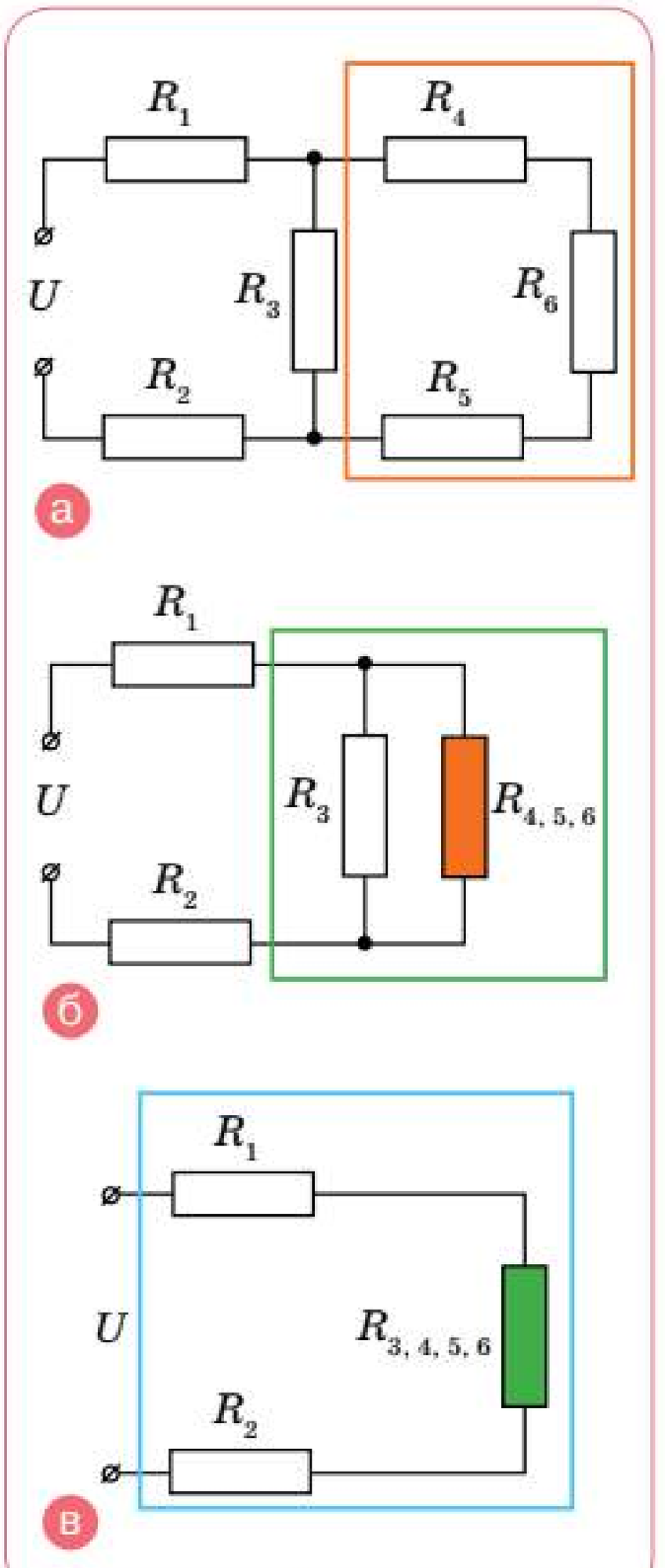
$$R_{3,4,5,6} = \frac{R_3 \cdot R_{4,5,6}}{R_3 + R_{4,5,6}} = \frac{2 \cdot 6}{2+6} = \frac{12}{8} = \frac{3}{2} = 1{,}5 \text{ Ом}.$$

Креслимо еквівалентну схему (мал. 29.2, в), замінивши паралельно з'єднані резистори еквівалентним опором $R_{3,4,5,6}$.

Крок 3. Чітко видно, що тепер всі опори з'єднані послідовно, отже, загальний опір кола: $R = R_{1-6} = R_1 + R_2 + R_{3,4,5,6} = 2 + 2 + 1{,}5 = 5{,}5$ Ом.

Тоді загальний струм:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{55 \text{ В}}{5{,}5 \text{ Ом}} = 10 \text{ А}.$$



Мал. 29.2

А тепер розглядатимемо еквівалентні схеми у зворотному напрямку: від простіших до складніших, тобто в напрямку до початкової схеми. Спочатку поглянемо на мал. 29.2, в. Видно, що загальний струм проходить через опори R_1, R_2, $R_{3,4,5,6}$ ($I = I_1 = I_2 = I_{3,4,5,6}$). Отже, можна обчислити напруги U_1, U_2, $U_{3,4,5,6}$.

$U_1 = I_1R_1 = IR_1 = 10\ \text{А} \cdot 2\ \text{Ом} = 20\ \text{В}.$

Зрозуміло, що $U_2 = 20$ В також, дійсно:

$U_2 = I_2R_2 = IR_2 = 10\ \text{А} \cdot 2\ \text{Ом} = 20\ \text{В},$

$U_{3,4,5,6} = I_{3,4,5,6} \cdot R_{3,4,5,6} = I \cdot R_{3,4,5,6} = 10\ \text{А} \cdot 1{,}5\ \text{Ом} = 15\ \text{В}.$

Перевіримо тепер рівність $U = U_1 + U_2 + U_{3,4,5,6}$:

$U = 20\ \text{В} + 20\ \text{В} + 15\ \text{В} = 55\ \text{В}.$

Така перевірка показує, чи правильно ти розв'язуєш задачу. Якби зараз цей закон не підтвердився, тобі потрібно було б повернутися і шукати помилку.

Обчислимо тепер струми через R_3 і $R_{4,5,6}$ (мал. 29.2, б). Напруга на паралельній ланці $U_{3,4,5,6} = U_3 = U_{4,5,6}$.

Отже, $U_3 = U_{4,5,6} = 15$ В; $I_3 = \dfrac{U_3}{R_3} = \dfrac{15\ \text{В}}{2\ \text{Ом}} = 7{,}5\ \text{А}$; $I_{4,5,6} = \dfrac{U_{4,5,6}}{R_{4,5,6}} = \dfrac{15\ \text{В}}{6\ \text{Ом}} = 2{,}5\ \text{А}.$

Контролюй себе, перевіряй, чи справджується рівність $I = I_3 + I_{4,5,6}$, $I = 7{,}5$ А $+2{,}5$ А $= 10$ А.

Отже, все правильно!

Струм через $R_{4,5,6}$ насправді протікає через опори R_4, R_5, R_6. Пересуваємося від схеми на мал. 29.2, б до схеми на мал. 29.2, а.

Отже, $I_{4,5,6} = I_4 = I_5 = I_6 = 2{,}5$ А.

Зрозуміло, що оскільки $R_4 = R_5 = R_6$, то $U_4 = U_5 = U_6 = 2{,}5\ \text{А} \cdot 2\ \text{Ом} = 5\ \text{В}$.

Дійсно, в сумі $U_{4,5,6} = U_4 + U_5 + U_6 = 15$ В.

Таким чином, за допомогою еквівалентних схем визначено загальний опір кола та розподіл сил струму і напруги на кожному її елементі.

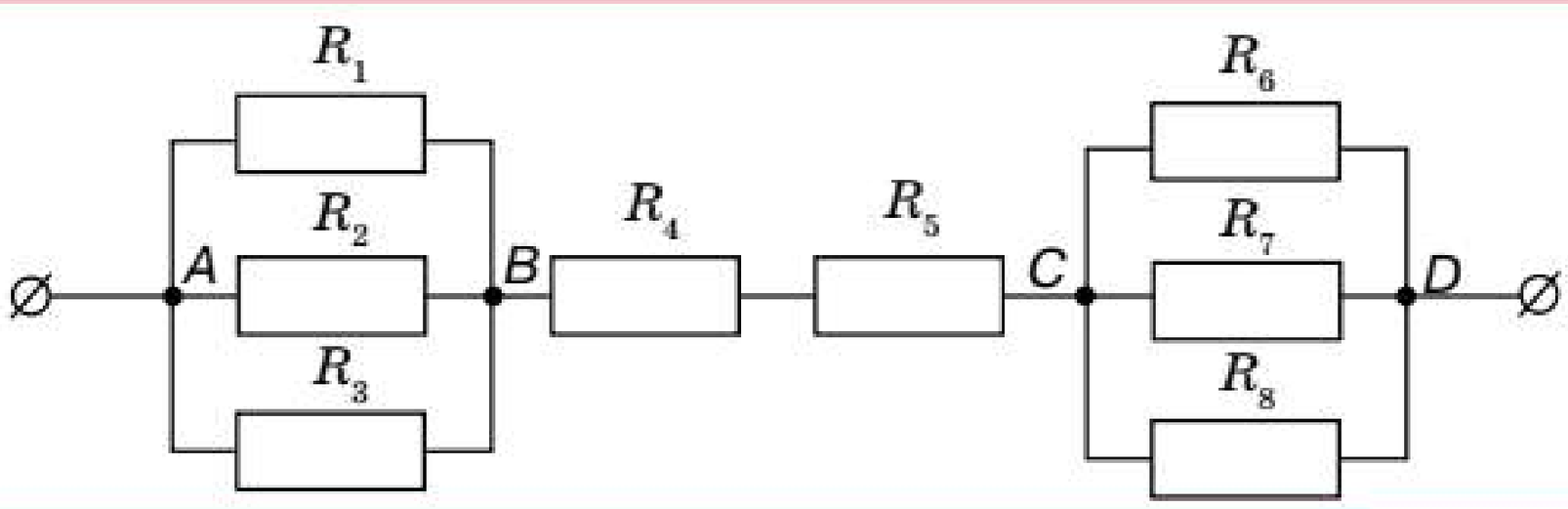
ДУМАЙ

1. З якою метою застосовують еквівалентні схеми?
2. Як зміниться опір електричного кола, якщо до будь-якої ланки кола підключити ще один резистор: а) послідовно; б) паралельно?
3. Як три однакові опори з'єднати різноманітними способами? Накресли схеми цих з'єднань.

ДІЙ

УЧИСЬ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ЗАДАЧІ

1 Визнач загальний опір ділянки кола і струми в кожному резисторі (мал. 29.3), якщо напруга між точками A і D дорівнює 26 В; $R_1 = 2$ Ом, $R_2 = 3$ Ом, $R_3 = 6$ Ом, $R_4 = 1$ Ом, $R_5 = 2$ Ом, $R_6 = 2$ Ом, $R_7 = 4$ Ом, $R_8 = 12$ Ом.



Мал. 29.3

Дано:

$U = 26$ В
$R_1 = R_5 = R_6 = 2$ Ом
$R_2 = 3$ Ом
$R_3 = 6$ Ом
$R_4 = 1$ Ом
$R_7 = 4$ Ом
$R_8 = 12$ Ом

$I, I_1, I_2, I_3, I_4, I_5, I_6, I_7, I_8$ — ?

Розв'язання:

На ділянках AB і CD резистори з'єднані паралельно. Опір кожної ділянки відповідно:

$$\frac{1}{R_{AB}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3};\ \frac{1}{R_{CD}} = \frac{1}{R_6} + \frac{1}{R_7} + \frac{1}{R_8}.$$

$R_{AB} = 1$ Ом; $R_{CD} = 1{,}2$ Ом. Тоді загальний опір кола буде складатись із послідовно з'єднаних ділянок AB, BC і CD:

$R = R_{AB} + R_{BC} + R_{CD}$, де $R_{BC} = R_4 + R_5$; $R_{BC} = 1$ Ом + 2 Ом = 3 Ом.
Загальний опір кола: $R = 1$ Ом + 3 Ом + 1,2 Ом = 5,2 Ом.

За законом Ома для ділянки кола визначаємо: $I = \frac{U}{R}$, $I = \frac{26\text{ В}}{5{,}2\text{ Ом}} = 5$ А.

Такий струм проходить через резистори R_4 і R_5, тобто $I_4 = I_5 = I = 5$ А.
Напруга на ділянці AB: $U_{AB} = IR_{AB}$, $U_{AB} = 5\text{ А} \cdot 1\text{ Ом} = 5$ В.
Така ж напруга і на кожному з резисторів R_1, R_2, R_3, оскільки вони з'єднані паралельно.

Тоді $I_1 = \frac{U_{AB}}{R_1}$, $I_1 = \frac{5\text{ В}}{2\text{ Ом}} = 2{,}5$ А. Аналогічно: $I_2 = 1{,}7$ А, $I_3 = 0{,}8$ А.

Так само визначаємо розподіл струмів і на ділянці CD.
Напруга на ділянці CD: $U_{CD} = IR_{CD}$; $U_{CD} = 5\text{ А} \cdot 1{,}2\text{ Ом} = 6$ В, тоді $I_6 = 3$ А; $I_7 = 1{,}5$ А; $I_8 = 0{,}5$ А.

Відповідь: $R = 5{,}2$ Ом, $I_1 = 2{,}5$ А, $I_2 = 1{,}7$ А, $I_3 = 0{,}8$ А, $I_4 = I_5 = I = 5$ А, $I_6 = 3$ А, $I_7 = 1{,}5$ А, $I_8 = 0{,}5$ А.

РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

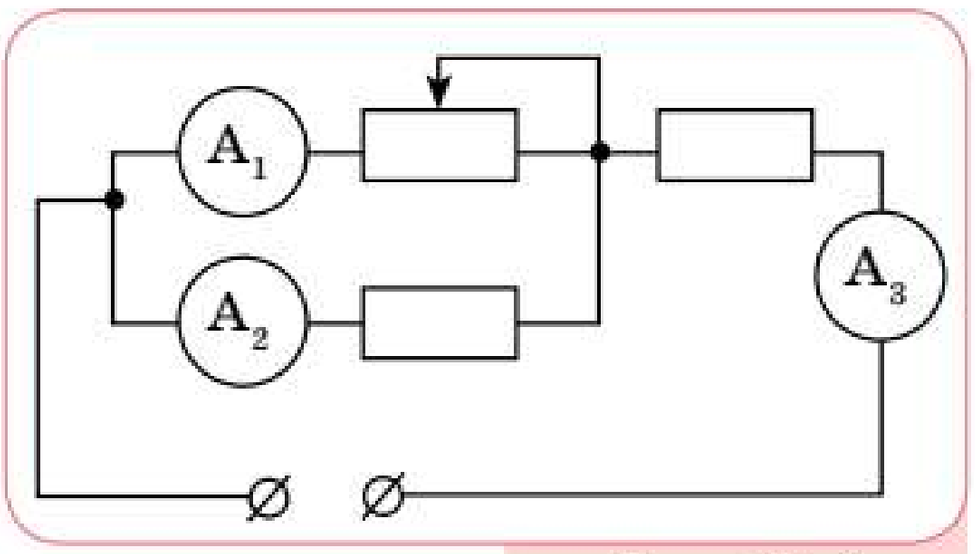
1 Чотири провідники з опором по 1,5 Ом кожен необхідно з'єднати так, щоб отримати опір 2 Ом. Як це здійснити?

2 Два провідника за послідовного з'єднання мають опір 27 Ом, за паралельного з'єднання — 6 Ом. Визнач опір цих провідників.

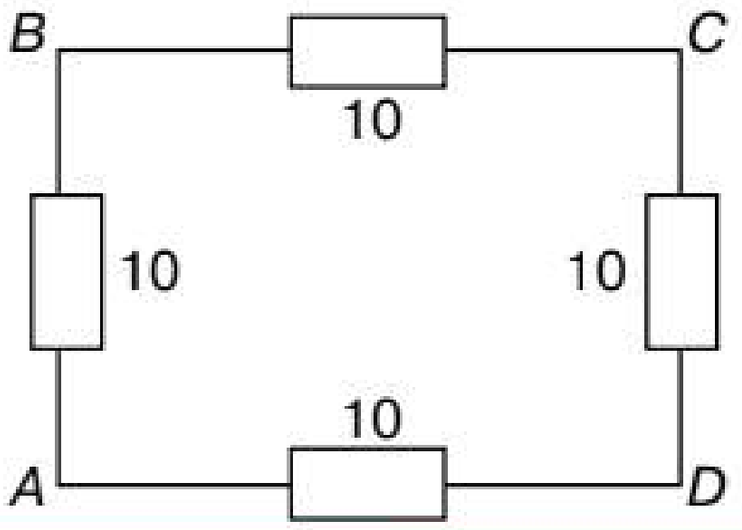
3 Який опір можна одержати за допомогою трьох резисторів опором по 2 Ом кожен?

4 Як зміняться покази приладів, якщо повзунок реостата посунути вліво (мал. 29.4)?

5* Чотири однакових провідника з опорами по 10 Ом кожен з'єднано, як показано на малюнку 29.5. Яким буде загальний опір, якщо струм підвести до точок A і C? До точок A і D?



Мал. 29.4



Мал. 29.5

ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

Виконуй досліди з дотриманням правил безпеки життєдіяльності!

Накресли схему електричного кола, що містить джерело струму, електричну лампу відповідної напруги і три вимикачі, увімкнені в коло так, щоб унаслідок замикання окремо кожного з них лампа світилася. Врахуй, що перш ніж замикати другий вимикач, потрібно розмикати перший. Склади і перевір схему такого кола. Де використовується цей спосіб з'єднання вимикачів?

Виконай в е-додатку відеозавдання (29.1).

ОЦІНИ СЕБЕ

Виконай в е-додатку завдання для самооцінювання (29.2) та переглянь симуляцію «Електричні кола із мішаним з'єднанням провідників» (29.3).

§ 30. ДОСЛІДЖУЄМО ДІЇ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ

Знаєш, у години блекаутів про наявність електричного струму я робила висновок за кількома показниками: якщо на вулиці гудуть генератори; коли підходиш до дверей під'їзду, і магнітний замок не працює; а в квартирі — за світінням індикаторів на вимикачах, побутових приладах.

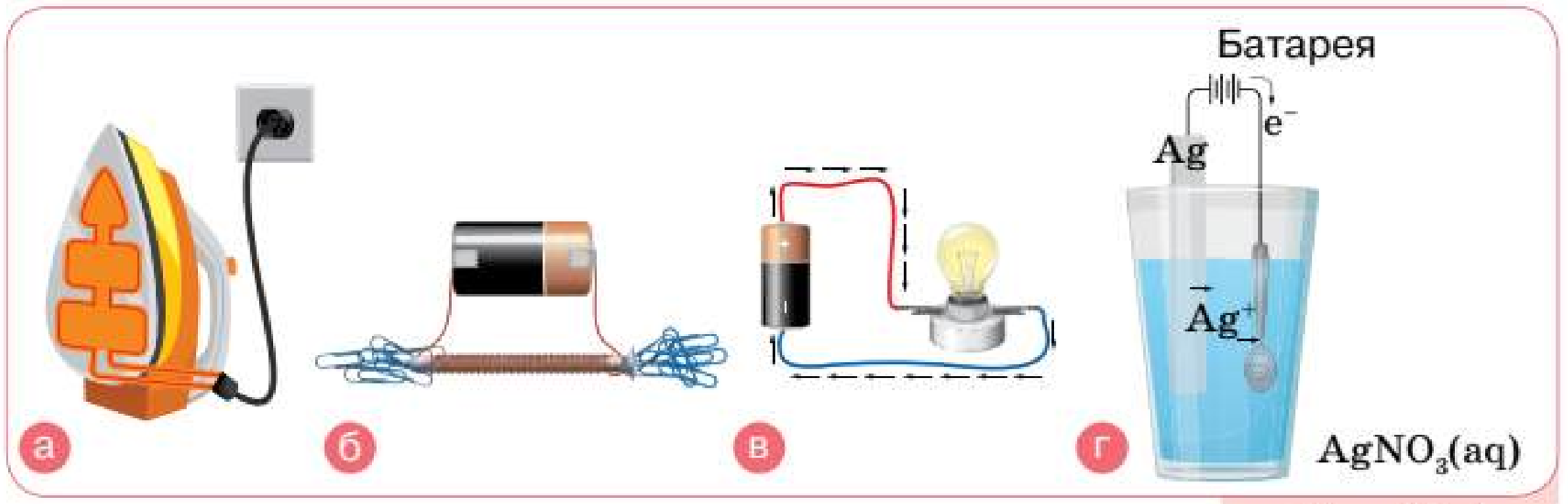




Так, електричний струм чинить теплову, світлову, магнітну та хімічну дії. Дізнаємось, чому так відбувається і як це використовує людина.

ДОСЛІДЖУЙ

Роздивись малюнок 30.1. Установи відповідність між малюнками а–г та діями електричного струму, яку вони ілюструють: 1 — теплова, 2 — світлова, 3 — магнітна, 4 — хімічна. Які дії струму уже згадувались у цій і попередній темах? Які приклади використання дій електричного струму ти можеш навести самостійно?



Мал. 30.1

ДІЗНАВАЙСЯ

Дізнаємось про теплову дію електричного струму. Про взаємозв'язок теплового хаотичного руху вільних електронів у металах і їх упорядкований рух під дією електричного поля ми згадували, коли розглядали залежність опору металевих провідників від температури (§ 26). Пригадуєш?

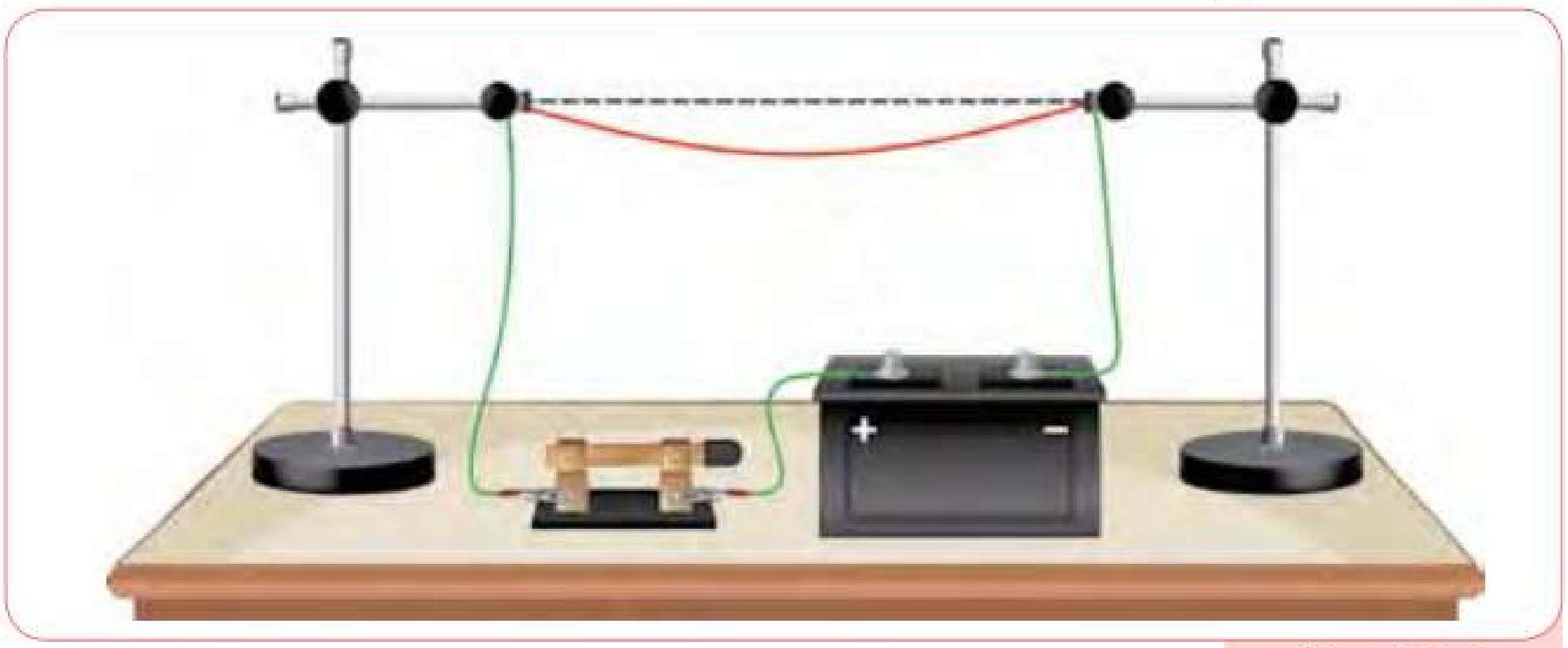


Коли досліджували залежність опору від температури, то провідник зі струмом нагрівали. А чи може провідник зі струмом бути джерелом тепла?

Розглянь малюнок 30.2. До полюсів джерела струму під'єднано нікелінову дротину. Через певний проміжок часу дротина, по якій проходить електричний струм, нагрівається, розжарюється до червоного світіння і провисає.

Переглянь в е-додатку анімаційну модель цього досліду (30.1).

vse.ee/cpdk



Мал. 30.2

Це пояснюється тим, що сила електричного поля розганяє заряджені частинки, збільшуючи їх кінетичну енергію. Унаслідок зіткнення з іншими частинками речовини (атомами, йонами, молекулами) частина кінетичної енергії заряджених частинок передається їм, що збільшує їхню внутрішню енергію.

Для деяких речовин таке нагрівання може викликати й світлову дію. Наприклад, в електричних лампах розжарювання, де вольфрамова нитка нагрівається до яскравого світіння.

Можеш пояснити, чому для демонстрації теплової дії обрали нікелінову дротину, а не мідну чи алюмінієву?



Теплову дію струму можна спостерігати на прикладі нагрівання спіралей електричної лампи розжарювання, електропраски, електроплити, електричного обігрівача (мал. 30.3).



Мал. 30.3

Теплова дія струму широко використовується під час контактного зварювання металів (мал. 30.4). Крізь деталі, що зварюють, пропускають великий струм. У результаті в місцях контактів деталі дуже нагріваються й зварюються.



а



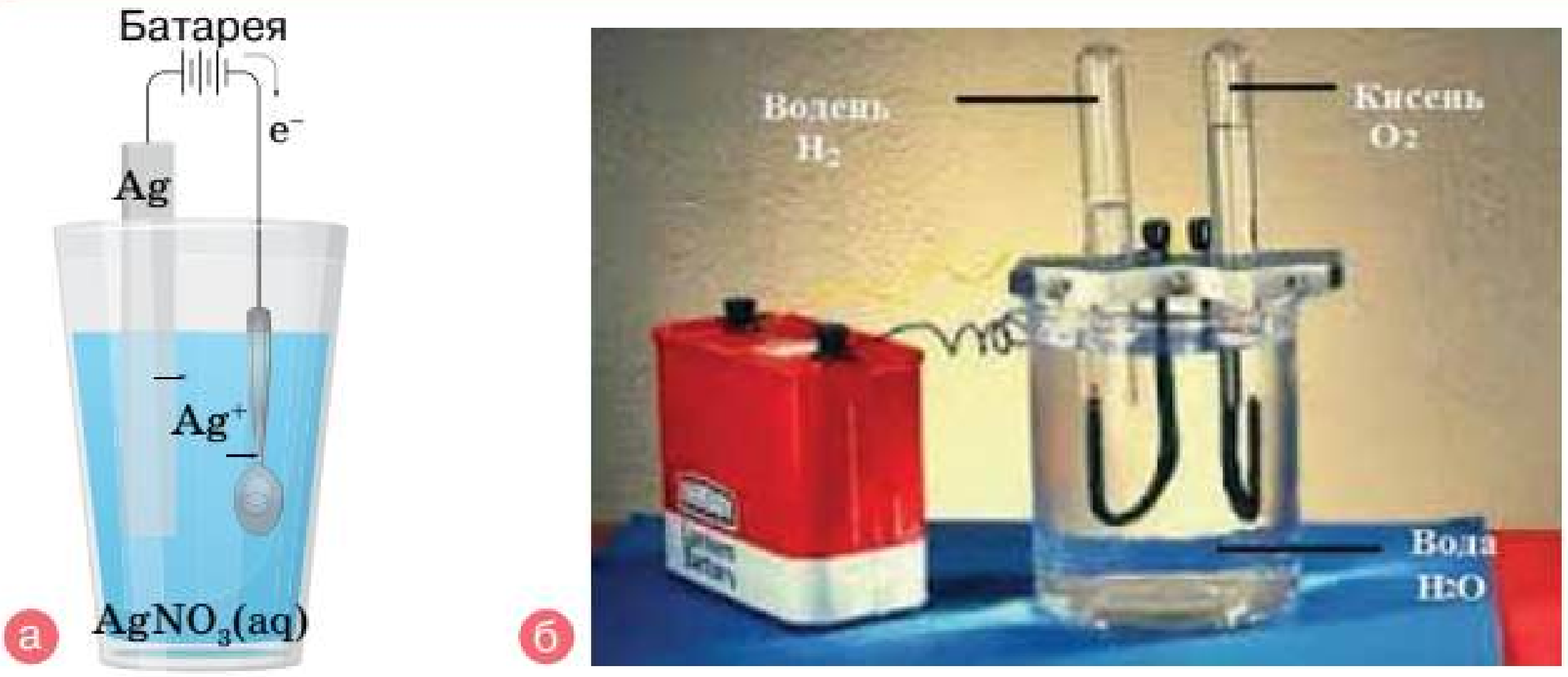
б

Мал. 30.4. Використання теплової дії струму під час контактного зварювання металів (а), міст Патона в Києві — перший у світі суцільнозварний міст завдовжки 1543 метри (б)

Теплова дія електричного струму спостерігається не лише у металевих провідниках, а й у рідких і газуватих.

Дізнаємося про хімічну дію струму. Про взаємозв'язок хімічних процесів та причину електричного струму тобі теж відомо. Пригадуєш, у § 22, розглядаючи хімічні джерела струму, ми з'ясували, що внаслідок хімічних реакцій відбувається вивільнення електрично заряджених частинок, які накопичуються на відповідних полюсах джерела. Саме вони створюють електричне поле, яке змушує вільні електрони упорядковано рухатися у металевих провідниках.

Дослідй, чи може, у свою чергу, електричний струм чинити хімічну дію, тобто спричинювати хімічні перетворення речовин. Роздивись малюнок 30.5, а.



Мал. 30.5. Хімічна дія електричного струму:
а — посріблення, б — розкладання води

До позитивної (+) клеми джерела струму приєднано срібну пластину. Металеву ложку (із менш дорогого металу) підключено до негативної (–) клеми джерела струму. І пластину, і ложку занурено в розчин нітрату срібла ($AgNO_3$). Коли через розчин пропускають електричний струм, то йони срібла виділяються із пластини та приєднуються до ложки — на ній утворюється тоненький шар срібла. Подібним способом можна й позолотити вироби.

Переглянь в е-додатку анімаційну модель позолочення виробів (30.2).

vse.ee/cpdf

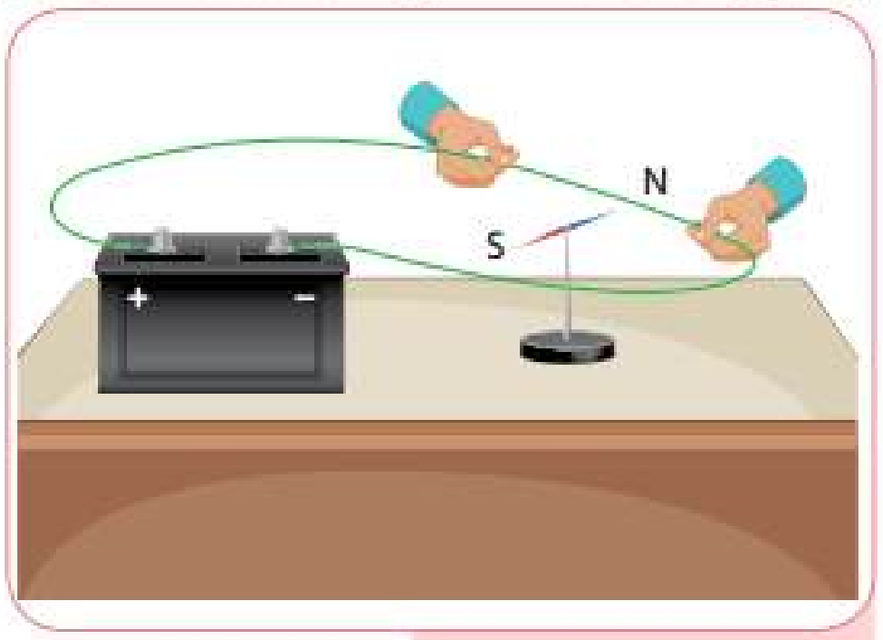
Інший приклад — утворення водню й кисню у результаті пропускання крізь воду електричного струму (мал. 30.5, б).

Хімічна дія електричного струму спостерігається і в інших випадках, коли електричний струм пропускають через водні розчини кислот, лугів і солей. І це широко використовується в хімічній промисловості. Детальніше про це йдеться у § 31.

Одночасно з хімічною дією спостерігається й теплова — розчин, по якому проходить струм, нагрівається.

Дізнаємося про магнітну дію струму. **Про електричні і магнітні взаємодії тобі також відомо. Пригадуєш? У §17 було згадано про схожість у поведінці двох магнітів та двох наелектризованих тіл. Цікавим є факт (або легенда) про те, як було виявлено магнітну дію струму.**

Одного разу данський учений Г. Ерстед демонстрував студентам досліди з нагрівання провідників електричним струмом. Під час дослідів один із студентів помітив, що у разі проходження електричного струму по провіднику магнітна стрілка, розташована поблизу провідника, починає відхилятися. Як щойно коло розмикають, струм зникає, і стрілка повертається у попереднє положення. Студент вказав викладачу на дивну поведінку стрілки. Це відкриття спонукало Г. Ерстеда та інших вчених до з'ясування причин взаємодії магнітної стрілки і провідника зі струмом (мал. 30.6).



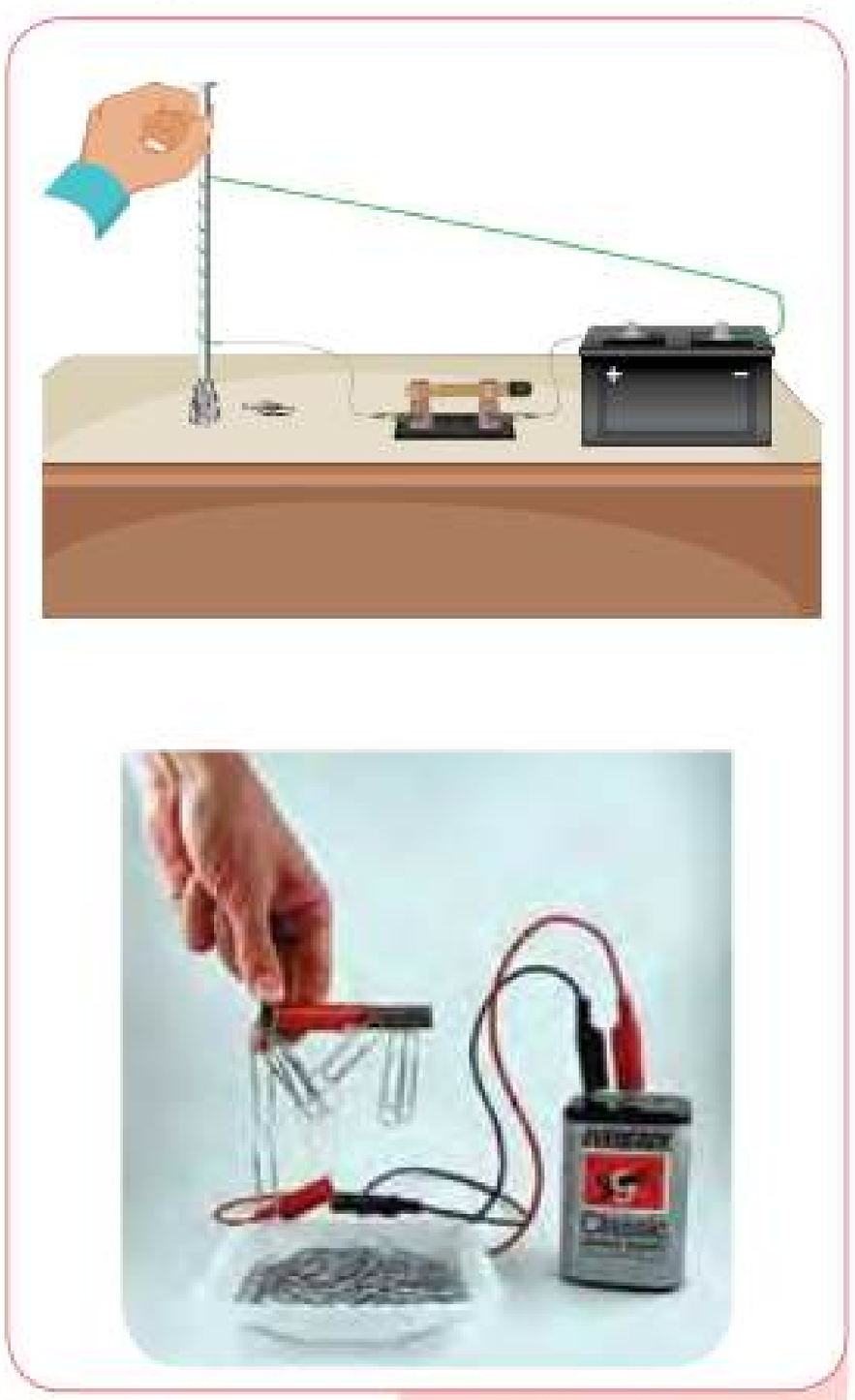
Мал. 30.6

Переглянь в е-додатку анімаційну модель цього досліду (30.3).

vse.ee/code

Сьогодні виявити магнітну дію струму можеш і ти. Для цього потрібно на залізний цвях намотати кілька десятків витків ізольованого мідного проводу, звільнити кінці проводу від ізоляції і приєднати їх до джерела струму. Такий пристрій притягуватиме дрібні металеві предмети, як магніт (мал. 30.7). Роз'єднай електричне коло. Струм по котушці не проходить, і вона втрачає магнітні властивості.

На відміну від теплової та хімічної, магнітна дія електричного струму спостерігається завжди, не залежно від того, який провідник: твердий, рідкий чи газуватий, а також у вакуумі. Детальніше причини магнітної дії електричного струму вивчатимеш у 9 класі. Зараз лише зазначимо, що вчені дослідили не лише зумовлення електричним струмом магнітної дії, а й навпаки — що потрібно робити, щоб магніт став причиною виникнення електричного струму. Завдяки цим дослідженням стало можливим функціонування різноманітних електричних двигунів та генераторів (мал. 30.8).



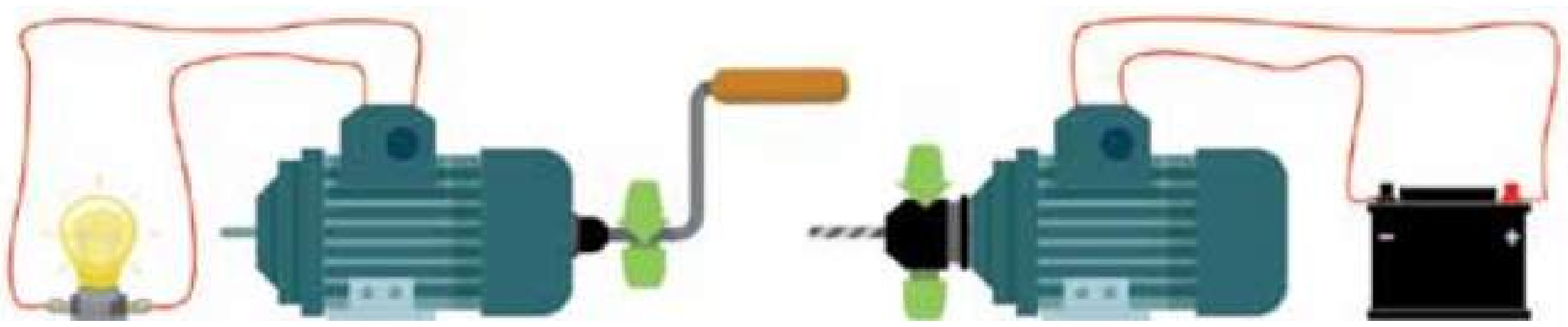
Мал. 30.7

У двигунах електричний струм, який проходить по рамці із дроту, розміщеній між полюсами магніту, зумовлює її обертання у певному напрямку. Це призводить до обертання інших частин електроприладів, наприклад, ножів в електром'ясорубці, свердла в електродрилі, коліс в електроскутері.

Переглянь в е-додатку анімаційну модель обертання рамки зі струмом у магнітному полі (30.4).

vse.ee/cpdh

У генераторах навпаки — потрібно чимось змусити рамку із дроту обертатися в магнітному полі, щоб у ній виник електричний струм.

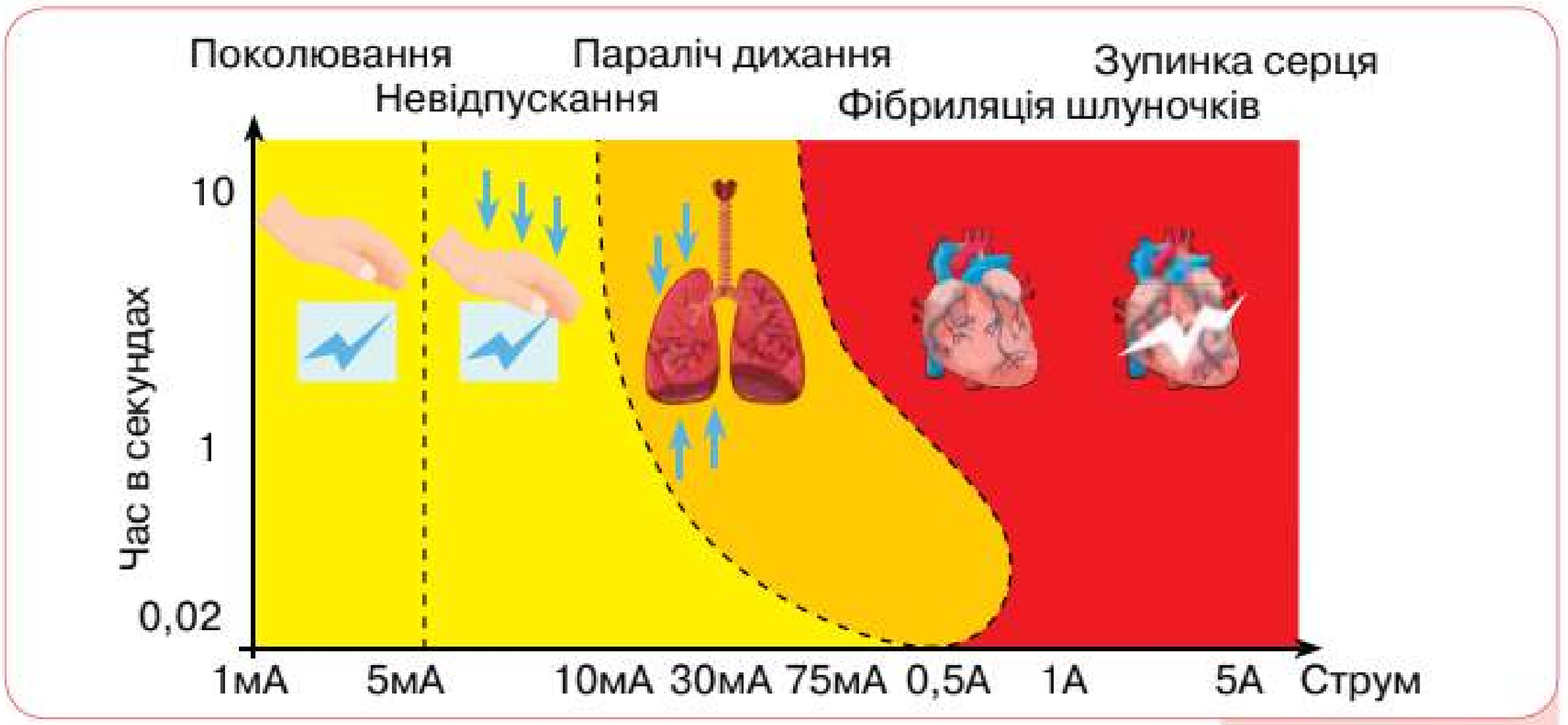


Мал. 30.8. Де генератор, а де — двигун?

Які дії чинить електричний струм на організм людини? Електричний струм може чинити теплову, магнітну, хімічну та ще й механічну дії на організми, у тому числі і на твій. Особливістю проходження електричного струму крізь тіло людини є те, що різні ділянки організму мають різну електропровідність. Рідини (кров, спинномозкова рідина, цитоплазма клітин) добре проводять електричний струм. Основними носіями заряду в них є йони. Шкіра, кісткова й жирова тканини, мембрани клітин та клітинних органел подібні до діелектриків. Усередині організму електричний струм поширюється переважно кровоносними й лімфатичними судинами, м'язами, оболонками нервових стовбурів. Залежно від шляху проходження струму та його сили він може призводити до різних дій.

У медичних цілях для *електролікування* застосовують невеликі струми: для прогрівання частин тіла корисною є теплова дія, для стимулювання діяльності органів, поліпшення обміну речовин — хімічна і магнітна.

Безпечною для людини є сила струму, менше 1 мА. Проте струми, значення яких перевищує 100 мА і які проходять життєво важливими ділянками тіла, можуть викликати значні ушкодження організму (мал. 30.9).



Мал. 30.9

Під дією великого струму відбуваються нагрівання тканини, випаровування вологи, що викликає опіки, розкладання органічної речовини, в тому числі крові і лімфи. Подразнення і збурення струмом тканин організму може призвести до мимовільного непередбачуваного скорочення м'язів.

Твій організм є джерелом мікрострумів. Усі клітини, органи та організм у цілому мають власне електричне поле. Концентрація йонів у цитоплазмі клітини та міжклітинному середовищі різна, тому на мембранах клітин є *біопотенціали*. Зазвичай напруга біострумів не перевищує 0,01–0,1 В.

Електричний струм, який виникає в нервовій системі тварин та людини, називають *нервовим імпульсом*. Завдяки цим імпульсам відбувається скорочення м'язів, передавання інформації. Навіть такі складні процеси, як мовлення, мислення, пам'ять людини, пов'язані з електричним струмом, який виникає в мозку (мал. 30.10).



Мал. 30.10. Нервова системи людини функціонує завдяки електричному струму

Реагування електрично заряджених частинок в організмі на дію електричного чи магнітного полів покладено в основу діагностик — електрокардіограми, магнітно-резонансної томографії (МРТ) тощо.

ДУМАЙ

1. Де на практиці можна спостерігати дії електричного струму?
2. Де використовують теплову дію електричного струму?
3. У чому полягає хімічна дія електричного струму?
4. У чому особливості магнітної дії струму?

ДІЙ

РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

1. В електричних риб є живий генератор електроенергії, який складається з електроцитів. Один електроцит електричного ската створює напругу приблизно 0,02 В. Визнач максимальну напругу, яку може створити скат, якщо електроцити зібрано у стовпчик по чотириста штук, а всього таких стовпчиків п'ятсот.
2. Вугор має електричні органи, що становлять 4/5 довжини його тіла й утворюють напругу до 650 В. Порівняй значення напруги, що виробляє вугор, та обчислене тобою значення напруги ската (задача 1) зі значенням напруги в електричній мережі. Чому для людини є особливо небезпечним ураження струмом від цих тварин?

ОПРАЦЮЙ ІНФОРМАЦІЮ

Візьми участь у груповій роботі

1. На уроках біології ти вивчаєш організм людини. З огляду на вивчене тобою поєднай знання з фізики, хімії і біології. Об'єднайтесь у групи і підготуйте повідомлення про біомеханіку організму, теплорегуляцію й енергетичний баланс, біоструми й нервові імпульси.
2. Переглянь відео в е-додатку (30.5).



Дізнайся більше про зварювання матеріалів, у тому числі й живих тканин.

ОЦІНИ СЕБЕ



Виконай в е-додатку завдання для самооцінювання (30.6).

§ 31. ДОСЛІДЖУЄМО ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ В РІЗНИХ СЕРЕДОВИЩАХ

Ще на початку вивчення електричних явищ ми звертали увагу, що залежно від середовища розрізняють особливості проходження електричного струму, зокрема у металах, рідинах і газах. Дослідимо електричний струм у різних середовищах!



ДОСЛІДЖУЙ

Роздивись зображення електричних ламп (мал. 31.1). Спробуй самостійно встановити, які характеристики (1–7) відповідають видам ламп (а–в).



Мал. 31.1

1. *LED* лампи (від англ. *LED — light-emitting diode*) ще називають *світлодіодними лампами*.
2. Вольфрамова нитка нагрівається до 3000 °С, за такої температури вона починає яскраво світитися.
3. Електричний струм проходить через суміш газів, які внаслідок цього випромінюють світло.
4. Електричний струм, проходячи через напівпровідникові кристали, викликає випромінювання світла.
5. 5 % спожитої електричної енергії перетворюється на світло.
6. 70 % спожитої електричної енергії перетворюється на світло.
7. 90 % спожитої електричної енергії перетворюється на світло.

ДІЗНАВАЙСЯ

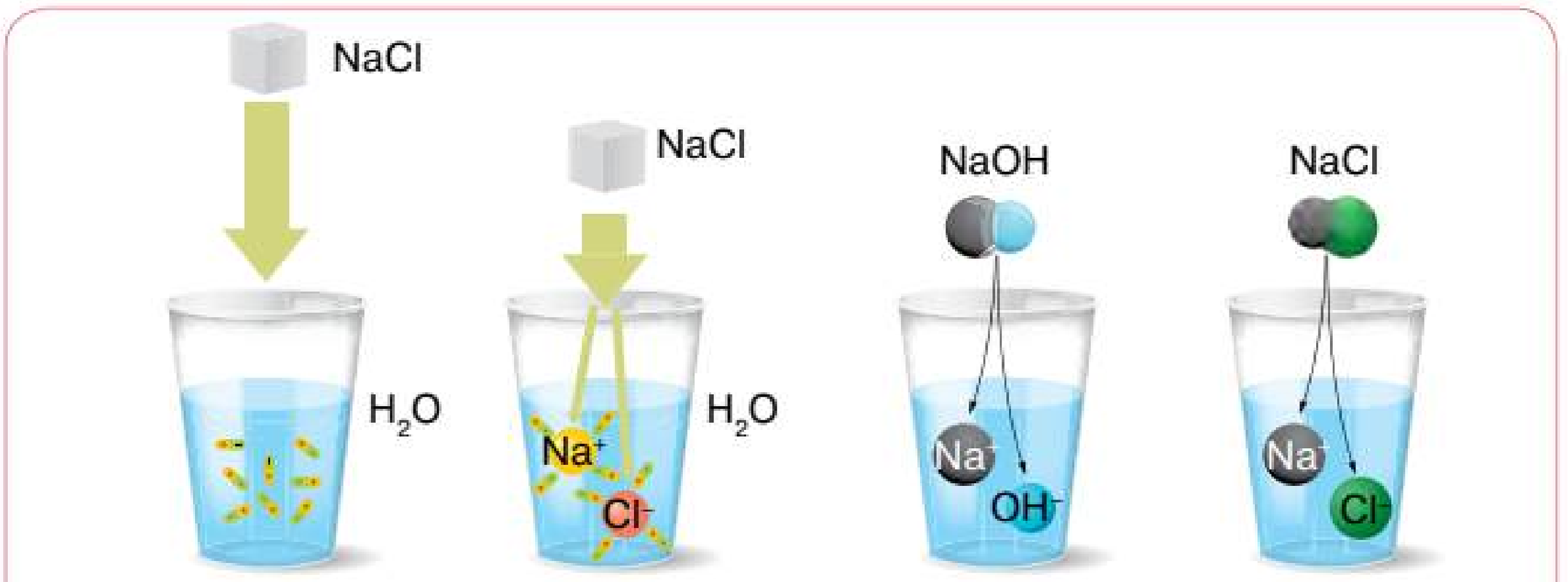
Що є носіями електричного струму в різних середовищах? У тебе вже була змога переконатися, що електричний струм може утворюватися і протікати в різних середовищах. Пригадай, у § 21 ми досліджували електричні властивості речовин і ділили усі речовини, не залежно від їх агрегатного стану, на провідники та ізолятори. Згадували про окрему групу речовин — напівпровідники. У § 30 розглядали дії струму в металах і рідинах. Досліджуючи завдання на початку параграфа, у тебе була змога переконатися, що електричний струм зумовлює світіння металевої вольфрамової нитки у лампах розжарювання, газу — у газорозрядних лампах, напівпровідникових кристалів — у світлодіодних.

Упорядкуй свої знання. В металевих провідниках носіями електричного струму є вільні електрони, які переміщуються у кристалічних ґратах, у вузлах яких мітяться йони.

В інших твердих тілах, що не містять вільних електронів, кристалічні ґрати можуть руйнуватися під час нагрівання, утворюючи йони, які можуть переміщатися. Йони твердих речовин також можуть бути рухливими, якщо речовину розчинити у воді (мал. 31.2). У воді тверді речовини розпадаються на позитивно та негативно заряджені йони під впливом молекул води. (Пригадай, що таке диполь.)

Носіями електричного струму в електролітах є позитивні і негативні йони.

Розщеплення речовини на йони у водному розчині або в розплаві називають **електролітичною дисоціацією** (*electrolytic dissociation*), а такі речовини — **електролітами**.



Мал. 31.2. У розчині утворюються вільні носії електричного струму

Гази за звичайних умов майже повністю складаються із нейтральних атомів або молекул, тому є діелектриками. Однак за деяких умов можна

одержати електричний струм і в газах. Для цього потрібно, щоб атоми в газах вивільняли електрони. Такий процес називають *йонізацією* газу. Носіями електричного струму в йонізованому газі є вільні електрони та йони.

Які процеси супроводжують електричний струм в електролітах? Вивчаючи хімічну дію електричного струму, ми вже звертали увагу на певні особливості його протікання в розчинах. Дослідимо ці особливості детальніше.

За відсутності зовнішнього електричного поля в електролітах йони разом з молекулами, які ще не розпалися на йони, знаходяться в безперервному хаотичному русі. До джерела струму під'єднують металеві пластини. Їх називають *електродами*, причому, той, що під'єднано до позитивного полюса джерела струму, називають *анодом* (*anode*), до негативного — *катодом* (*cathode*). Якщо анод і катод опустити в електроліт, то очевидно, що позитивні йони (їх ще називають *катіони*) почнуть рухатися до негативно зарядженого електрода — катода, а негативні йони (*аніони*) — до позитивно зарядженого електрода, тобто до анода. У колі виникає електричний струм, зумовлений напрямленим рухом електричних зарядів обох знаків.

Що, на твою думку, відбуватиметься, якщо електроліт нагріти?

З підвищенням температури зростає кількість молекул, які розпадаються на йони, тобто кількість вільних носіїв електричного заряду збільшується. Отже, очевидним є висновок: *зі збільшенням температури розчинів і розплавів електролітів їх провідність збільшується, а опір, відповідно, зменшується.*



Що на твою думку відбуватиметься, коли йони досягнуть своїх електродів?

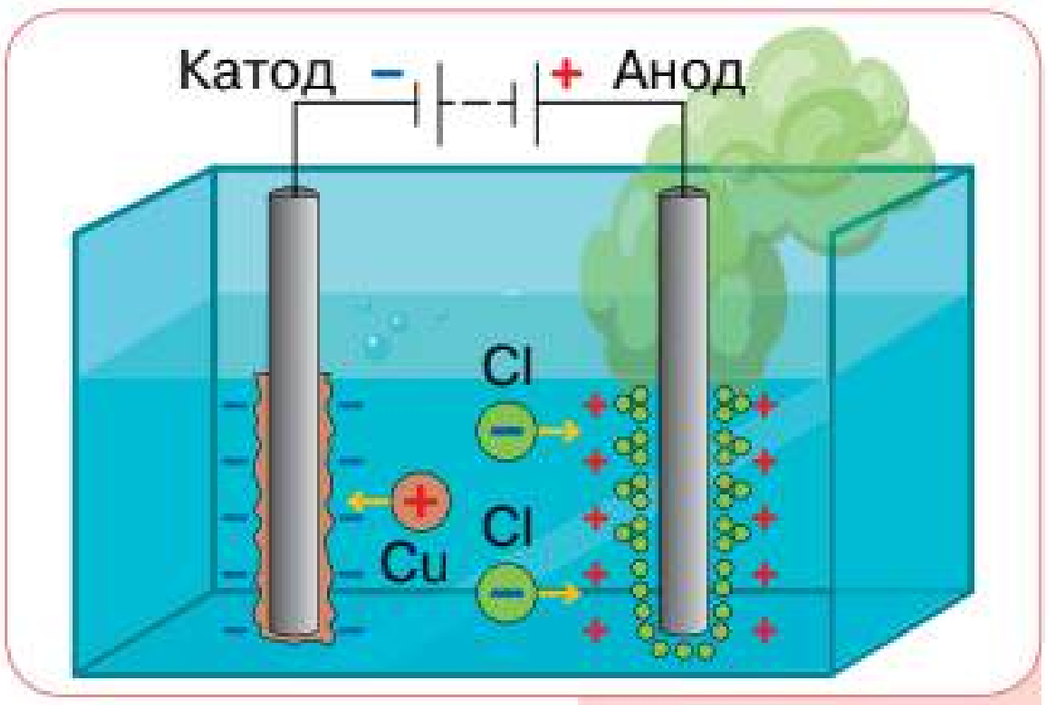


Відповідь на це запитання уже не є такою очевидною. Особливості проходження електричного струму в електролітах досліджують і хіміки, і фізики.

Розглянь приклад (мал. 31.3). Хлорид міді $CuCl_2$ дисоціює у водному розчині на йони міді та хлору: $CuCl_2 \rightarrow Cu^{2+} + 2Cl^-$.

У разі підключення електродів до джерела струму йони під дією електричного поля починають впорядкований рух: позитивні йони міді рухаються до катода, а негативні йони хлору — до анода.

Досягнувши катода, йони міді нейтралізуються надлишковими електронами катода і перетворюються на нейтральні атоми, які виділяються (осідають) на катоді. Відбувається хімічна реакція відновлення: $Cu^{2+} + 2e \rightarrow Cu$. Йони хлору, досягнувши анода, віддають по одному електрону. Відбувається хімічна реакція окиснення: $2Cl^- \rightarrow Cl_2 + 2e$. Після цього нейтральні атоми хлору з'єднуються попарно й утворюють молекули хлору Cl_2, який виділяється на аноді у вигляді бульбашок газу.



Мал. 31.3

На електродах виділяється речовина (в нашому прикладі — мідь і хлор). Такий процес називають електролізом.

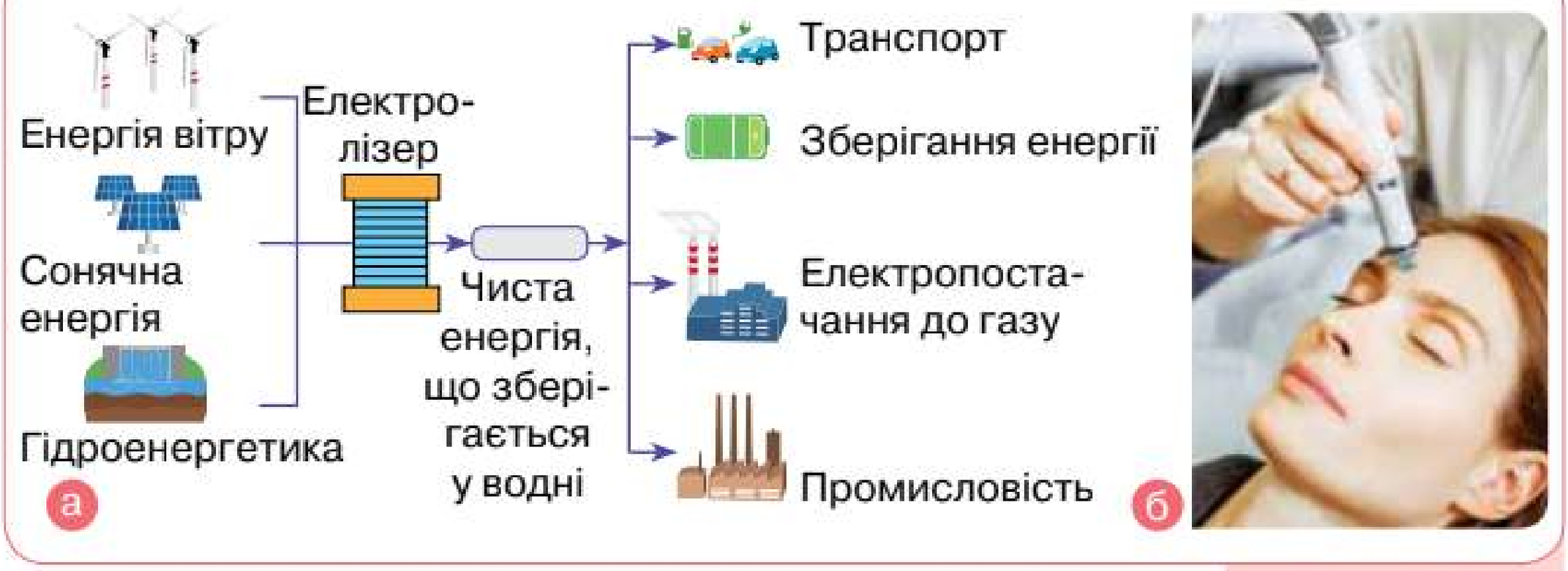
У 1833–1834 рр. видатний англійський вчений Майкл Фарадей експериментально встановив кількісні співвідношення, що описують явище електролізу. Закон Фарадея для електролізу дає змогу обчислити масу речовини, яка виділяється на електроді.

Електроліз (*electrolysis*) — це процес виділення речовини на електродах під час проходження електричного струму крізь розчини або розплави електролітів.

Маса речовини m, що виділилася на електроді в результаті електролізу, прямо пропорційна силі струму I і часу t проходження струму через електроліт: $m = kIt$, де k — коефіцієнт пропорційності, що має назву електрохімічний еквівалент.

Значення електрохімічного еквіваленту найбільш поширених речовин подано в таблиці на форзаці підручника.

Явище електролізу застосовують у сучасному виробництві, зокрема в електровидобутку кольорових металів, виробництві «зеленого водню», який є основою альтернативного пального (мал. 31.4, а). У медицині на явищі електролізу засновано метод лікування — електрофорез — уведення через шкіру або слизові оболонки різноманітних лікарських речовин під дією електричного струму (мал. 31.4, б). У цьому випадку лікарський препарат перетворюється на електрично заряджені частинки («ліки-йони»), які діють безпосередньо у місці, що потребує лікування.



Мал. 31.4

Які особливості електричного струму в газах? Щоб у газі проходив електричний струм, газ потрібно йонізувати — нагріти або опромінити електромагнітним випромінюванням, наприклад рентгенівським або ультрафіолетовим. Одночасно з процесом йонізації відбувається і зворотний процес — рекомбінація — об'єднання йонів з електронами та утворення нейтральних атомів. З часом газ знову стає діелектриком.

Механізм провідності газів схожий на механізм провідності розчинів і розплавів електролітів. У разі відсутності зовнішнього електричного поля заряджені частинки і нейтральні молекули рухаються хаотично. Якщо в газі створити електричне поле, то йони й електрони рухатимуться спрямовано: позитивні йони рухаються до катода, а негативні йони й електрони — до анода.

На електродах відбувається нейтралізація заряджених частинок, як і у разі проходження електричного струму через розчини та розплави електролітів. Однак у газах відсутнє виділення речовин на електродах, як це має місце в розчинах електролітів. Йони газу, підійшовши до електродів, віддають їм свої заряди, перетворюються на нейтральні молекули і потрапляють назад в газ.

Що, на твою думку, відбуватиметься, якщо йонізований газ нагріти?



З підвищенням температури зростає швидкість руху молекул, а, отже, все більше молекул, стикаючись, «розбиваються» на йони й електрони, тобто кількість вільних носіїв електричного заряду збільшується. Отже, очевидним є висновок: *зі збільшенням температури газів їх провідність збільшується, а опір відповідно, зменшується.*

Що, на твою думку, відбуватиметься, коли всі йони досягнуть своїх електродів?

Якщо немає зовнішнього йонізатора, який би створював носії струму, то його протікання завершується.



Електричний струм в газах називають *газовим розрядом*.

Несамостійний газовий розряд може існувати за двох умов: існування електричного поля та наявності зовнішнього йонізатора.

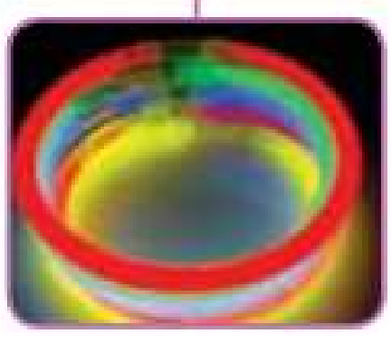
За певних умов газ може проводити електричний струм і після припинення дії йонізатора — наступає *самостійний газовий розряд*.

Залежно від властивостей і стану газу, характеру і розміщення електродів, а також від прикладеної до електродів напруги виникають різні види самостійного розряду.

САМОСТІЙНИЙ ГАЗОВИЙ РОЗРЯД

ТЛІЮЧИЙ

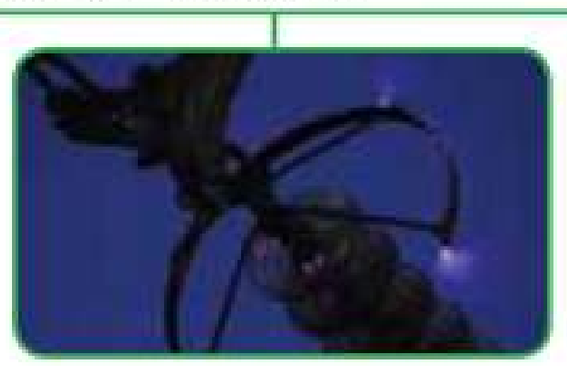
Спостерігається за низьких тисків і напрузі між електродами в кілька сотень вольтів. Використовують у рекламних трубках, газорозрядних і люмінесцентних лампах (денного світла).





КОРОННИЙ

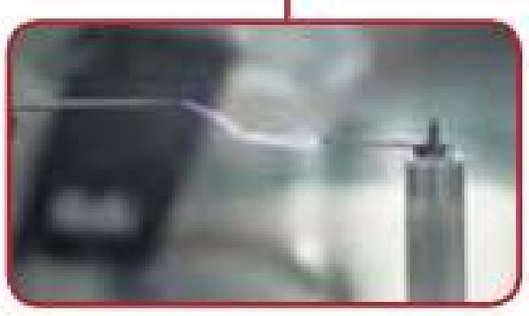
Спостерігається за атмосферного тиску в дуже неоднорідних електричних полях, наприклад поблизу проводів ліній електропередач високої напруги.





ІСКРОВИЙ

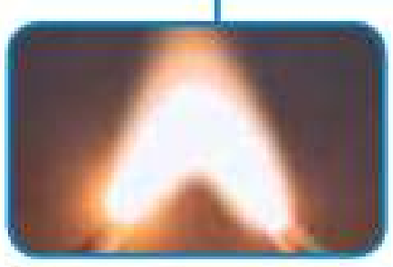
Виникає за високої напруги між електродами в повітрі і має вигляд пучка яскравих зигзагоподібних смужок, що відгалужуються від тонкого каналу. Використовується для оброблення деталей з тугоплавких металів. Прикладом велетенського іскрового розряду є блискавка.





ДУГОВИЙ

Якщо одержати іскровий розряд, а потім поступово зменшувати електричний опір кола, зменшуючи відстань між електродами, розряд перейде з переривчастого в безперервний дуговий. Використовують у прожекторах, проєкційних апаратах і кіноапаратах, а також для зварювання металів.





ДУМАЙ

1. Поясни, чому дроти, які підводять струм до електричної лампи, практично не нагріваються, у той час як нитка розжарення лампи розжарюється до білого кольору?
2. Чому в дистильованій воді і сірчаній кислоті, взятих окремо, струм не проходить, а у водному розчині сірчаної кислоти проходить?
3. Чому електроліт є електрично нейтральним, хоча він містить величезну кількість йонів обох знаків?
4. Поясни механізм виникнення струму в електролітах.
5. У чому полягає відмінність між негативним йоном в електроліті й електроном?
6. Чому за звичайних умов гази є діелектриками? Чому під час нагрівання чи опромінення газу рентгенівськими або ультрафіолетовими променями газ стає провідником? Які заряджені частинки є носіями струму в газах?
7. Який механізм проходження електричного струму в газах?
8. Який газовий розряд називають несамостійним? Самостійним?
9. Чим відрізняється йонізація газів від дисоціації електролітів?

ДІЙ

УЧИСЬ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ЗАДАЧІ

Під час електролізу сталева деталь з площею поверхні 800 см^2 укрилась шаром нікелю товщиною 54 мкм. За якої сили струму відбувається електроліз, якщо він триває 4 год?

Дано:

$S = 800$ см^2

$d = 54$ мкм

$t = 4$ год

$k = 0{,}3 \cdot 10^{-6}$ кг/Кл

$\rho = 8{,}9 \cdot 10^3$ кг/м^3

I — ?

СІ

$8 \cdot 10^{-2}$ м^2

$5{,}4 \cdot 10^{-5}$ м

$1{,}44 \cdot 10^4$ с

Розв'язання:

Під час електролізу маса речовини, що виділяється з розчину електроліту, визначається за формулою: $m = kIt$.

Масу речовини можна визначити за значенням її густини: $m = \rho \cdot V = \rho \cdot Sd$.

Прирівнюючи формули, визначаємо силу струму: $I = \dfrac{\rho dS}{kt}$,

$$I = \frac{8{,}9 \cdot 10^3 \ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 5{,}4 \cdot 10^{-5} \ \text{м} \cdot 8 \cdot 10^{-2} \ \text{м}^2}{0{,}3 \cdot 10^{-6} \ \frac{\text{кг}}{\text{Кл}} \cdot 1{,}44 \cdot 10^4 \ \text{с}} = 8{,}9 \ \text{А}.$$

Відповідь: 8,9 А.

РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

1. Під час електролізу розчину цинк сульфату виділилося 2,45 г цинку. Визнач електрохімічний еквівалент цього металу, якщо крізь електроліт протягом 60 хв проходив електричний струм 2 А.

2. Визнач масу міді, що виділилася під час електролізу з розчину мідного купоросу, якщо через розчин пройшов електричний заряд 2500 Кл.

3. Визнач час електролізу, за який на катоді виділиться 20 г натрію при силі струму 12 А. Електрохімічний еквівалент натрію — 0,24 мг/Кл.

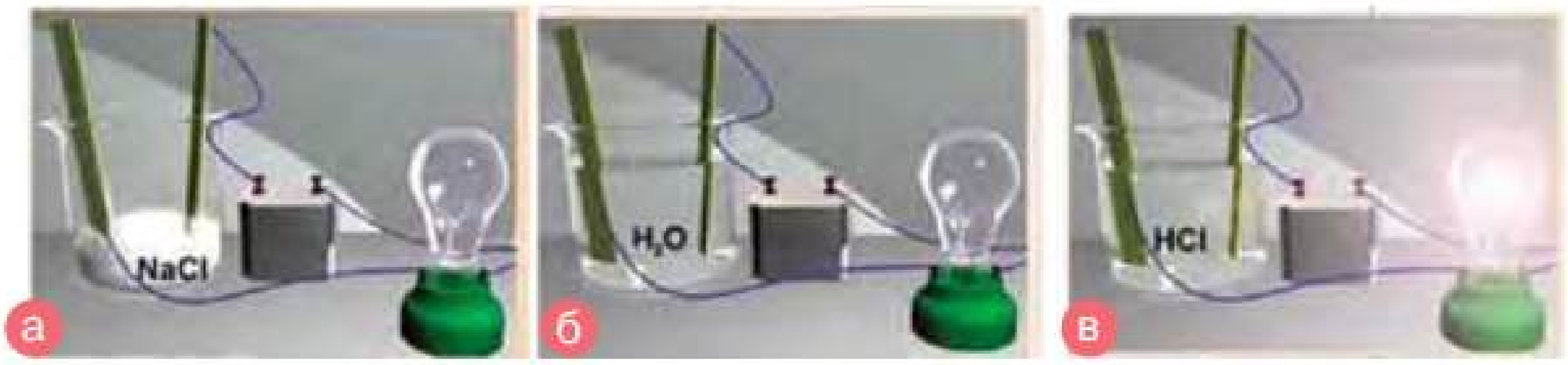
4. Якою була сила струму під час електролізу розчину мідного купоросу, якщо за 50 хв на катоді виділилося 1,98 г міді?

5. Під час посріблення виробу на катоді за 30 хв осіло 4,55 г срібла. Визнач силу струму під час електролізу.

ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

Виконуй досліди з дотриманням правил безпеки життєдіяльності!

Переконайся, що кухонна сіль та дистильована вода — діелектрики, а водний розчин кухонної солі — електроліт — проводить електричний струм (мал. 31.5). *Обладнання*: для демонстрації електролізу.



Мал. 31.5. Дослідження провідності:
а — солі, б — дистильованої води, в — розчину солі

Переглянь в е-додатку симуляцію «Йонізація повітря» (31.1), відео газових розрядів та електролізу (31.2) і симуляцію «Несамостійний розряд» (31.3).

ОЦІНИ СЕБЕ

Виконай в е-додатку завдання для самооцінювання (31.4).

§ 32. ДОСЛІДЖУЄМО РОБОТУ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ



Сашко, щось мені здається, ми це вчили. Дії і робота електричного струму — це те ж саме?



Не зовсім. Дії електричного струму — це своєрідні наслідки, які чинить струм, робота — це фізична величина, яку можна обчислити. Це дуже важливо знати для виготовлення електричних приладів.

ДОСЛІДЖУЙ

1 **Роздивись світлини (мал. 32.1). Чи можеш ти лише за світлинами вказати, де якнайшвидше можна закип'ятити воду: у чайнику на електричній плиті, у скляному чайнику чи металевому? Які дані тобі для цього потрібно знати? Скористайся паспортними даними електроприладів. За можливості перевір своє припущення на досліді. План перевірки склади самостійно.**



Мал. 32.1

Паспортні дані:

а) плитка електрична, кількість конфорок — шт. 1, потужність конфорок — 1000 Вт, діаметр конфорок — 15,5 см;

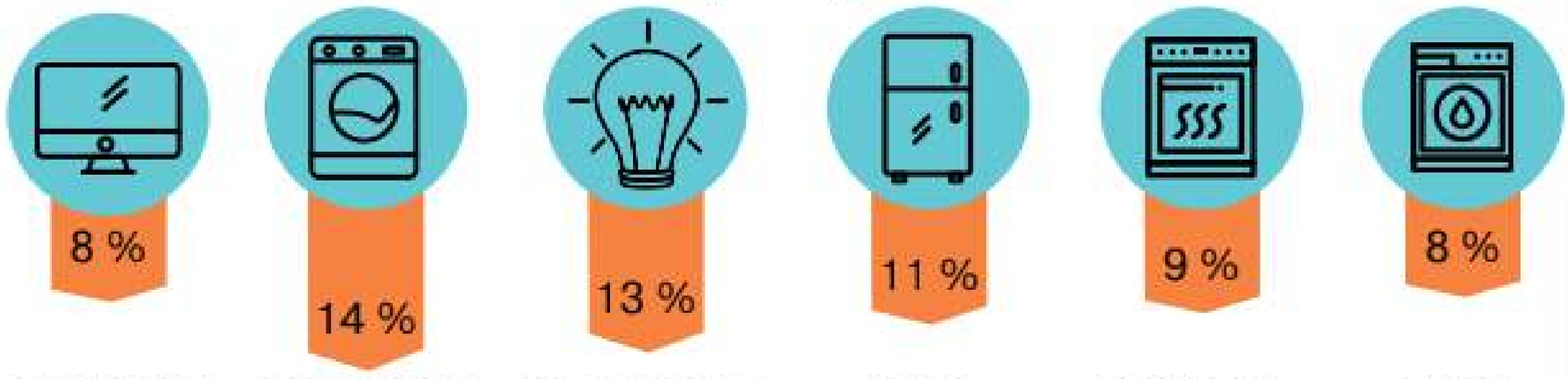
б) чайник електричний, матеріал: скло, потужність — 1500 Вт, напруга — 220–240 В, об'єм — 2 л;

в) чайник електричний, матеріал: неіржавка сталь, потужність — 2200 Вт (повний електрочайник закипає протягом 2–3 хв), об'єм — 2 л.

2 **На сторінці інтернет-видання (https://persha.kr.ua/) «Перша електронна газета» розміщено такий плакат (мал. 32.2, а). З'ясуй, які пристрої дають значне навантаження на мережу. Скористайся да-**

ними на малюнку 32.2, б і назви́ потужності, які потребують найбільш вживані електричні прилади. Спробуй пояснити, чому на плакаті (мал. 32.2, а) вказано, що одним із найбільш енерговитратних побутових приладів є персональний комп'ютер. Перевір своє припущення — прочитай параграф.

ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЯ | Споживання енергії у квартирі розподіляється таким чином



Значне навантаження на мережу дають такі пристрої: **електрочайник, мікрохвильова піч, фен, духова шафа, електроплита, праска**.

Найбільш енерговитратні побутові прилади: **персональний комп'ютер, холодильник, телевізор, пральна машина, кондиціонери, електричні обігрівачі та бойлери**.

а

ПОТУЖНІСТЬ НАЙВЖИВАНІШИХ ЕЛЕКТРОПРИЛАДІВ


Кондиціонер: **2,2–3,37** кВт


Електрочайник: **2,2–2,4** кВт


Пилосмок: **2** кВт


Бойлер: **1,5–2,5** кВт

б


Обігрівачі: **1,2–2** кВт


Праска: **1–2,4** кВт


Пральна машина: **0,8–2,2** кВт


Холодильник: **0,30–0,90** кВт


Мікрохвильова піч: **0,6–1,5** кВт


Телевізор: **0,08–0,14** кВт


Електролампа на **100** Вт: **0,1** кВт


Комп'ютер: **0,065–0,45** кВт

Мал. 32.2

ДІЗНАВАЙСЯ

Як визначають роботу електричного струму і потужність? Пригадуєш, у 7 класі ми розглядали механічну потужність? Електрична потужність, так само як і механічна, характеризує швидкість виконання роботи. І під час вивчення механічних явищ, і під час вивчення теплових явищ, і на початку вивчення електричних явищ тобі доводилося користуватися терміном *робота*. Пригадуєш? Електрична напруга на кінцях провідника дорівнює *роботі*, яка здійснюється електричним полем під час переміщення цим провідником електричного заряду в 1 Кл, тобто $U = \frac{A}{q}$. Відповідно, роботу електричного поля A з переміщення електричного заряду q може бути визначено як добуток перенесеного електричного заряду через поперечний переріз провідника та напруги U на кінцях провідника: $A = q \cdot U$.

Скориставшись співвідношенням між силою струму I, електричним зарядом, який пройшов через поперечний переріз провідника q, та часом його проходження t (нагадаємо: $q = It$), для обчислення роботи електричного поля можна записати такий вираз:

$$A = IUt.$$

Правильніше було б говорити «робота сил електричного поля в провіднику з переміщення електричного заряду». Оскільки переміщення електричних зарядів під дією електричного поля в провіднику називають електричним струмом, то прийнято скорочено говорити «робота електричного струму», або просто — «робота струму». Як і у випадку механічної роботи роботу струму можна оцінити за перетвореннями енергії (пригадай, механічна робота визначається через зміну кінетичної або потенціальної енергії тіла). Таким чином, загальне визначення роботи електричного струму таке:

Робота електричного струму (*operation of electric current*) — це фізична величина, що характеризує електричну енергію струму і можливість її перетворення на інші види.

Кількісно робота струму на ділянці електричного кола визначається добутком сили струму, напруги на цій ділянці та часу, впродовж якого виконувалася ця робота: $A = IUt$.

Одиницею роботи струму є *джоуль*, 1 Дж = 1 В · 1 А · 1 с.

Відповідно, швидкість виконання роботи електричного струму характеризує потужність.

Одиницею потужності є *ват*,

$$1\ \text{Вт} = 1\frac{\text{Дж}}{\text{с}}.$$

З формули $A = Pt$ і виходячи з того, що під час споживання електроенергії електричний струм виконує роботу впродовж значного часу і може складати декілька годин та навіть діб, вимірювати роботу електричного струму в джоулях є доволі незручно. На практиці для вимірювання роботи струму широко використовують позасистемну одиницю — кіловат · годину (кВт · год):

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

Роботу і потужність електричного струму можна визначити не лише за формулами, а й вимірювальними приладами (мал. 32.3).

Як обчислюють кількість теплоти в металевих провідниках? Електричний струм нагріває провідник. Це явище тобі відоме. Пояснюється воно тим, що заряджені частинки, переміщуючись під впливом електричного поля, взаємодіють з атомами речовини провідника та передають їм свою енергію. Внаслідок роботи електричного струму внутрішня енергія провідника збільшується. Теплову дію електричного струму експериментально було досліджено вченими Дж. Джоулем та Е. Ленцем у 1842 р., які незалежно один від одного прийшли до однакового висновку: *кількість теплоти, що виділяється в провіднику під час проходження електричного струму, чисельно дорівнює роботі струму:* $Q = A$.

Теплова дія струму обчислюється за цією формулою у тому випадку, коли на ділянці кола не здійснюється механічна робота і струм не здійснює хімічної дії.

Потужність електричного струму (*power of electric current*) — це фізична величина, що дорівнює роботі електричного поля за одиницю часу з напрямленого переміщення електричних зарядів у провіднику.

Щоб кількісно визначити середню потужність електричного струму, необхідно роботу електричного струму A поділити на час її виконання t: $P = \frac{A}{t}$.



Мал. 32.3. Електричні прилади: а — електричний лічильник для вимірювання роботи струму, б — ватметр для вимірювання потужності електричного струму

Закон Джоуля — Ленца: кількість теплоти Q, що виділяється в провіднику, який має опір R, за час t під час проходження по ньому струму силою I визначається добутком квадрата сили струму, опору провідника і часу проходження струму: $Q = I^2Rt$.

Які є особливості застосування формул для обчислення роботи і потужності електричного струму? Оскільки робота електричного струму $A = IUt$, то, скориставшись законом Ома для ділянки кола $\left(I = \frac{U}{R}\right)$, замінимо силу струму у виразі для обчислення роботи. Тоді вираз для обчислення роботи матиме вигляд: $A = \frac{U^2}{R}t$.

Якщо ж із закону Ома виразити напругу через силу струму ($U = IR$), одержимо, ще один вираз для обчислення роботи: $A = I^2Rt$.

Зауважимо, що формула $A = IUt$ є універсальною, в той час як формули $A = \frac{U^2}{R}t$ та $A = I^2Rt$ є справедливими тільки у тих випадках, коли робота струму витрачається лише на зміну внутрішньої енергії провідника, тобто його нагрівання. Крім того, формулу $A = \frac{U^2}{R}t$ зручно використовувати у випадку паралельного з'єднання провідників, оскільки напруга на провідниках лишається однаковою, а формулу $A = I^2Rt$ — у випадку послідовного з'єднання провідників, оскільки у цьому разі однаковою є сила струму.

Ці залежності є справедливими тільки у тому випадку, коли робота струму повністю витрачається на нагрівання провідника.

Якщо у формулу для визначення потужності $P = \frac{A}{t}$ підставити формулу роботи електричного струму $A = IUt$, отримуємо таку формулу:

$$P = \frac{IUt}{t} = IU.$$

Як бачимо, потужність електричного струму дорівнює добутку напруги на кінцях провідника та сили струму в ньому: $P = IU$.

Ця формула є *універсальною* для обчислення потужності електричного струму.

З урахуванням формул, одержаних для обчислення роботи електричного струму, потужність струму можна також обчислити за однією із двох формул: $P = I^2R$, $P = \frac{U^2}{R}$.

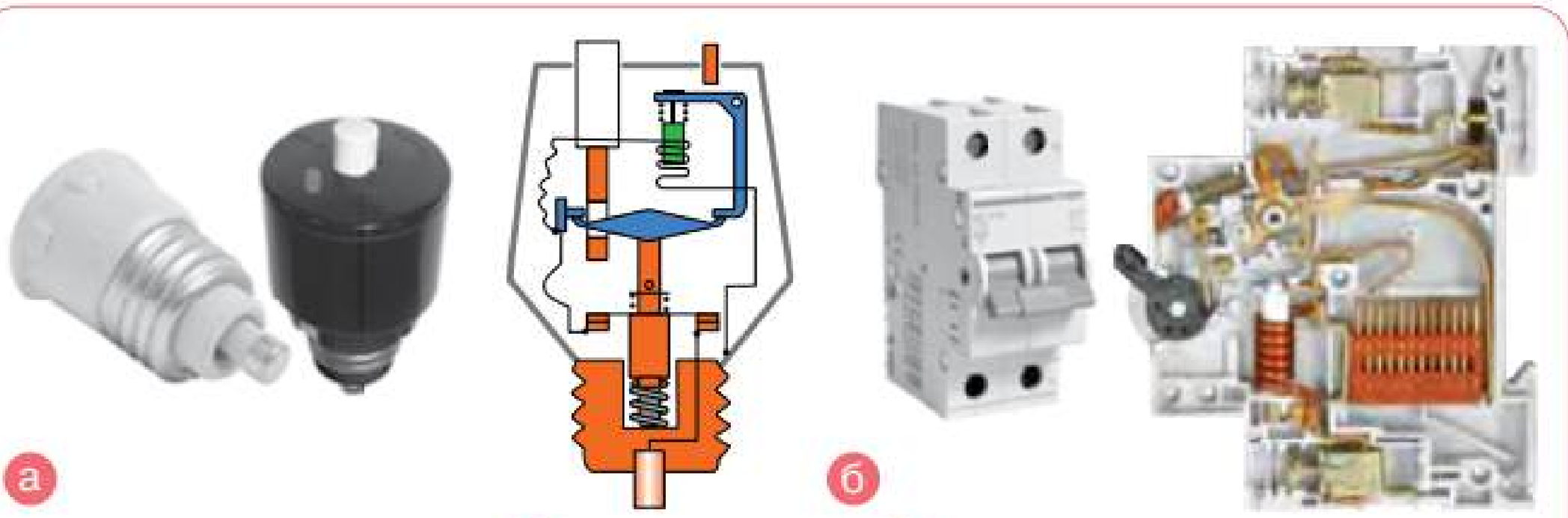
Якщо коло складається з кількох споживачів, то, розраховуючи їхню фактичну потужність, слід пам'ятати, що за будь-якого з'єднання споживачів загальна потужність струму в усьому колі дорівнює сумі потужностей окремих споживачів.

Які зміни потужності можуть відбуватись в електричному колі? Будь-який електричний прилад (лампа, електричний чайник, електричний двигун) розрахований на споживання певної потужності. У паспорті електричного приладу або безпосередньо на приладі вказано його *номінальну* потужність. Крім номінальної потужності на приладах можуть вказувати номінальне значення напруги, на яку розрахований цей прилад. Проте, напруга в мережі може відрізнятися від номінального значення, тоді, відповідно, зміниться й сила струму та його *фактична* потужність. Отже, значення фактичної та номінальної потужностей споживача можуть відрізнятися.

Як відомо, споживачі у квартирах з'єднані паралельно, тому, якщо увімкнути відразу кілька потужних споживачів, загальний опір кола суттєво зменшиться, відповідно, сила струму в колі значно зросте. Сила струму може значно зростати і у разі короткого замикання — з'єднання кінців ділянки кола провідником, опір якого дуже малий порівняно з опором цієї ділянки. Коротке замикання може виникнути й у разі порушення ізоляції проводів.

Щоб уникнути пожежі у випадку короткого замикання або перевантаження електричного кола, а також щоб не вийшли з ладу споживачі електричної енергії під час небезпечного збільшення сили струму, використовують *запобіжники* — пристрої, що розмикають коло у разі понаднормового збільшення сили струму.

Розрізняють одноразові запобіжники та автоматичні (багаторазові) вимикачі. Одноразовими є плавкі запобіжники (мал. 32.4, а). Корпус запобіжника виготовляють з електроізоляційного матеріалу (скла, кераміки). Головною деталлю запобіжника є плавка вставка (дріт, смужка металу), яка обирається з таким розрахунком, щоб вона розплавилася раніше, ніж струм досягне неприпустимих значень. Виводи плавкої вставки сполучені з клемами, за допомогою яких запобіжник послідовно вмикається в лінію зі споживачем або ділянкою кола, які захищаються. Для цього використовують спеціальні клемні утримувачі.



а б

Мал. 32.4. Запобіжники: а — одноразові, б — автоматичні (багаторазові)

Робочим елементом багатьох автоматичних вимикачів (мал. 32.4, б) є біметалева пластина, що складається з двох різнорідних металів, скріплених між собою. За нагрівання пластини кожен із двох металів деформується по-різному, пластина вигинається, тим самим розмикаючи електричне коло. На відміну від плавкого запобіжника, автоматичний вимикач готовий до наступного використання після охолодження пластини.

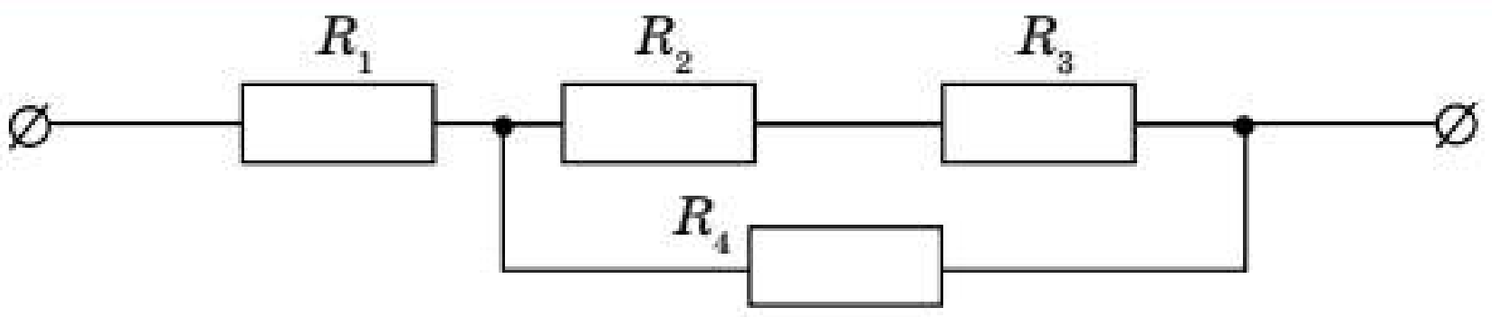
ДУМАЙ

1. Запиши формули для обчислення роботи й потужності електричного струму.
2. Вислови свою думку, чи вийде зекономити електричну енергію, якщо зменшити потужність електроплити, щоб закип'ятити воду в каструлі?
3. Упродовж години в квартирі працювали дві електричні лампи: одна потужністю 75 Вт, друга — 40 Вт. Порівняй витрати електроенергії в цих лампах.
4. Поясни, чому при проходженні струму провідник нагрівається. Як змінюється довжина провідника внаслідок проходження по ньому електричного струму?
5. У чому причина короткого замикання? Назви́ негативні наслідки короткого замикання в електричному колі.
6. Чому в плавких запобіжниках не застосовують дріт із тугоплавких металів?

ДІЙ

УЧИСЬ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ЗАДАЧІ

1. До джерела напругою 200 В підключено ділянку кола, що складається з чотирьох резисторів (мал. 32.5). Визнач загальну потужність струму в усій ділянці кола та потужність струму на резисторах R_2 і R_4. Опори резисторів дорівнюють: $R_1 = 20$ Ом, $R_2 = R_3 = 25$ Ом, $R_4 = 75$ Ом.



Мал. 32.5

Дано:
$U = 200$ В
$R_1 = 20$ Ом
$R_2 = R_3 = 25$ Ом
$R_4 = 75$ Ом

P — ? P_2 — ? P_4 — ?

Розв'язання:

Резистори R_2 і R_3 з'єднані послідовно. Опір цієї ділянки: $R_{2,3} = R_2 + R_3$. Ці резистори з'єднані паралельно з резистором R_4. Прийнявши опір двох резисторів R_2 і R_3 як еквівалентний $R_{2,3}$, визначимо опір такої ділянки:

$$\frac{1}{R_{2,3,4}} = \frac{1}{R_{2,3}} + \frac{1}{R_4} = \frac{R_4 + R_{2,3}}{R_{2,3} \cdot R_4} = \frac{R_4 + R_2 + R_3}{(R_2 + R_3) \cdot R_4},$$ звідки

$$R_{2,3,4} = \frac{(R_2 + R_3) \cdot R_4}{R_4 + R_2 + R_3}.$$

Загальний опір ділянки: $R = R_1 + R_{2,3,4} = R_1 + \frac{(R_2 + R_3) \cdot R_4}{R_4 + R_2 + R_3}$,

$$R = 20 \text{ Ом} + \frac{(25 \text{ Ом} + 25 \text{ Ом}) \cdot 75 \text{ Ом}}{75 \text{ Ом} + 25 \text{ Ом} + 25 \text{ Ом}} = 50 \text{ Ом}.$$

Потужність струму на всій ділянці кола: $P = \frac{U^2}{R}$, $P = \frac{(200 \text{ В})^2}{50 \text{ Ом}} = 800$ Вт.

Визначаємо загальну силу струму на ділянці із формули: $P = I^2R$,

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}}, I = \sqrt{\frac{800 \text{ Вт}}{50 \text{ Ом}}} = 4 \text{А}.$$

Сила струму I_1, що проходить через резистор R_1, також дорівнює 4 А.

У розгалуженій частині ділянки кола сили струму обернено пропорційні до опорів цих ділянок: $\frac{I_4}{I_{2,3}} = \frac{R_{2,3}}{R_4} = \frac{R_2 + R_3}{R_4}$. Сума цих сил струму дорівнює силі струму на нерозгалуженій ділянці: $I_{2,3} + I_4 = I_1$.

Розв'язуючи систему рівнянь $\frac{I_4}{I_{2,3}} = \frac{50}{75}$ та $I_{2,3} + I_4 = 4$, отримаємо: $I_{2,3} = 2{,}4$ А, $I_4 = 1{,}6$ А.

В резисторах R_2 і R_4 потужність струму, відповідно:

$P_2 = I_{2,3}^2 R_2$, $P_2 = (2{,}4 \text{ А})^2 \cdot 25 \text{ Ом} = 144$ Вт.

$P_4 = I_4^2 R_4$, $P_4 = (1{,}6 \text{ А})^2 \cdot 75 \text{ Ом} = 192$ Вт.

Відповідь: $P = 800$ Вт, $P_2 = 144$ Вт, $P_4 = 192$ Вт.

2 За 10 хв в електричному чайнику нагріли 0,5 л води від 20 °С до кипіння, сила струму в мережі 1,2 А, а опір спіралі електрочайника 260 Ом. (Питома теплоємність води 4200 Дж/кг · °С). Визнач ККД електрочайника.

Дано:

$t = 10$ хв $= 600$ с
$V = 0{,}5$ л $= 0{,}0005$ м^3
$t_1 = 20$ °C
$t_2 = 100$ °C
$I = 1{,}2$ А
$R = 260$ Ом
$c = 4200$ Дж/кг · °C
$\rho = 1000$ кг/м^3

η — ?

Розв'язання:

ККД нагрівального приладу чисельно дорівнює відношенню корисної енергії (роботи) до витраченої: $\eta = \dfrac{A_к}{A_в}$.

Корисною енергією є енергія нагрівання води:
$A_к = Q_н = cm(t_2 - t_1)$.

Масу води визначаємо через густину:

$$m = \rho V,\ m = 1000\ \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0{,}0005\ \text{м}^3 = 0{,}5\ \text{кг}.$$

Витраченою є енергія, що виділилася в нагрівальному елементі під час проходження по ньому електричного струму: $A = Q = I^2Rt$;

загальна формула: $\eta = \dfrac{A_к}{A_в} = \dfrac{Q_н}{Q} = \dfrac{cm \cdot (t_2 - t_1)}{I^2Rt}$.

Підставляємо числові значення:

$$\eta = \frac{4200\ \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot °\text{C}} \cdot 0{,}5\ \text{кг} \cdot (100 - 20)\ °\text{C}}{(1{,}2\ \text{А})^2 \cdot 260\ \text{Ом} \cdot 600\ \text{с}} = 0{,}75\ \%.$$

Відповідь: $\eta = 75\ \%$.

РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

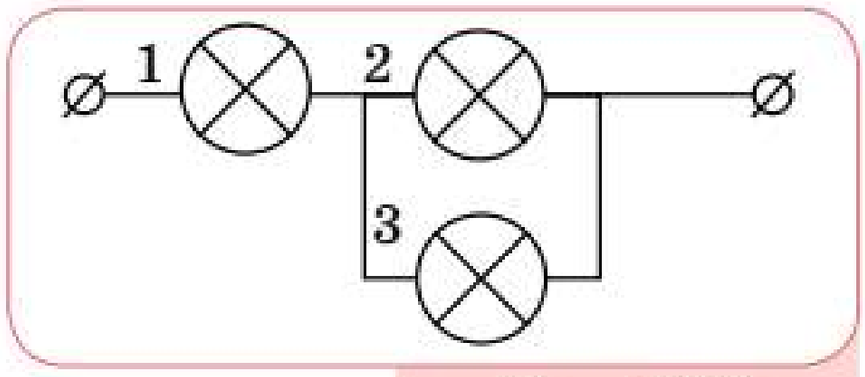
1. По провіднику, до кінців якого прикладено напругу 5 В, пройшов електричний заряд 100 Кл. Визнач роботу струму.
2. До джерела струму напругою 120 В по черзі на один і той же час приєднували провідники опором 20 Ом і 40 Ом. У якому випадку робота електричного струму була меншою і у скільки разів?
3. Яка сила струму в лампі велосипедного ліхтарика, якщо при напрузі 4 В у ній за 1 с витрачається 0,8 Дж електроенергії?
4. Сила струму в електролампі прожектора 2 А. Наскільки велика напруга, підведена до прожектора, якщо він споживає 45,6 кДж за 1 хв?
5. Напруга на затискачах генератора 380 В, а сила струму у колі 5 А. Визнач потужність генератора.
6. Потужність, яку споживає з мережі електрокамін, дорівнює 0,98 кВт, а сила струму у його колі 7,7 А. Визнач величину напруги на затискачах електрокаміну.
7. Визнач потужність струму в електричній лампі, яка ввімкнена в мережу напругою 220 В, якщо відомо, що опір нитки розжарювання лампи 484 Ом.

8 У скільки разів опір лампи, розрахованої на напругу 220 В, повинен бути більшим за опір лампи такої ж потужності, розрахованої на 127 В?

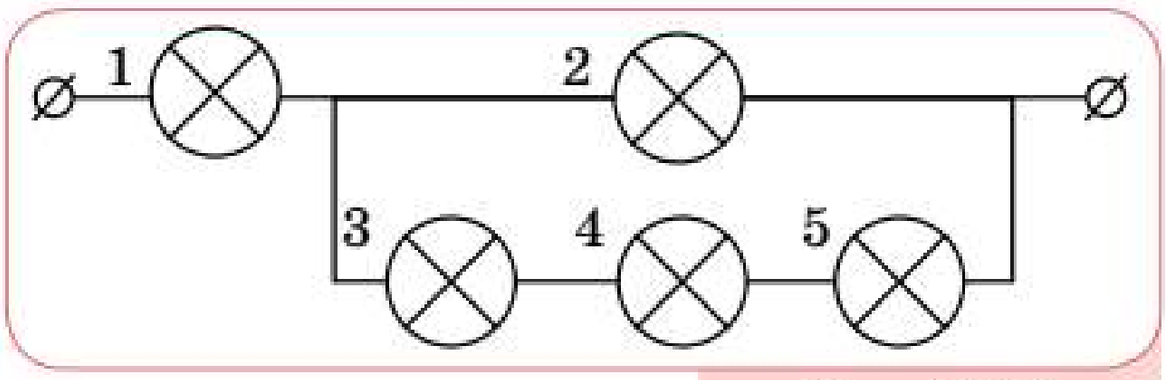
9 Дві однакові лампи, розраховані на напругу 6,3 В, включено в електричне коло. Одна лампа горіла 1 хв, друга — 2 хв. У якій лампі робота електричного струму була більшою, якщо лампи з'єднано послідовно? Паралельно?

10 Як зміниться потужність, споживана лампами 1 і 2, якщо лампа 3 згорить (мал. 32.6)?

11* У колі (мал. 32.7) усі лампи однакові. Яка з них горить найяскравіше?



Мал. 32.6



Мал. 32.7

ВИКОНАЙ ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

ВИКОНАЙ ЛАБОРАТОРНУ РОБОТУ №9

Виконуй роботу із дотриманням правил безпеки життєдіяльності.

Визнач коефіцієнт корисної дії електричного нагрівника.

Обладнання: нагрівальний елемент, склянка з водою, мензурка, внутрішня посудина калориметра, амперметр, вольтметр, секундомір, термометр, вимикач, з'єднувальні проводи, реостат.

1. У внутрішню посудину калориметра за допомогою вимірювального циліндра (мензурки) налий 100–150 мл води кімнатної температури. Розрахуй масу налитої води. Термометром виміряй температуру води у внутрішній посудині калориметра.
2. Склади електричне коло з послідовно з'єднаних джерел струму, вимикача, реостата, нагрівника. До нагрівника паралельно підключи вольтметр. Увімкни вимикач, зафіксувавши час вмикання. Запиши покази амперметра та вольтметра. Нагрівши воду до температури 30–35 °С, вимкни струм в колі. Визнач час нагрівання води.
3. За отриманими даними обчисли: а) потужність струму в спіралі нагрівника; б) кількість теплоти, що виділяється струмом за час нагрівання; в) кількість теплоти, яку отримала вода. Порівняй кількість теплоти, отриману водою, та кількість теплоти, що виділилась у нагрівнику. Обчисли ККД нагрівника. Зроби висновки.

Переглянь в е-додатку симуляцію «Закон Джоуля — Ленца» (32.1) та виконай відеозавдання (32.2).

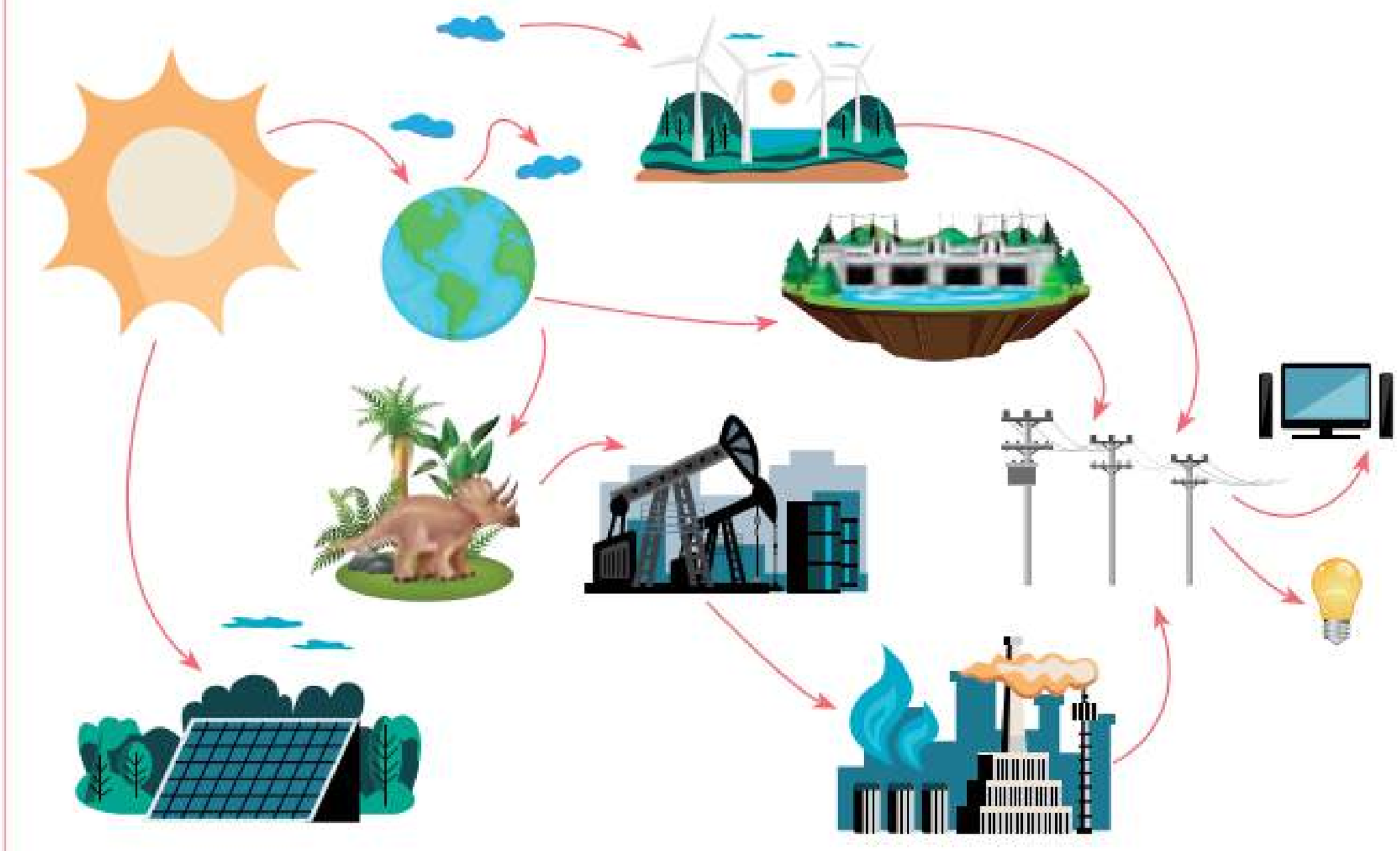
§ 33. ДОСЛІДЖУЄМО ПЕРЕТВОРЕННЯ І ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

Українці — нескорена нація! У найскладніші часи ми навчились зберігати тепло, генерувати електричну енергію. І ми готові вирішувати енергетичні проблеми, бути енергозаощадливими, шукати енергоефективні рішення.



ДОСЛІДЖУЙ

Роздивись малюнок 33.1. Придумай йому назву. Назви́ джерела енергії. Які з них є вичерпними, а які — невичерпними? Укажи, які перетворення енергії відбуваються у кожному ланцюзі. Які, на твою думку, неточності є у виразі «джерела електричної енергії»? Порівняй його із виразом «джерела енергії».

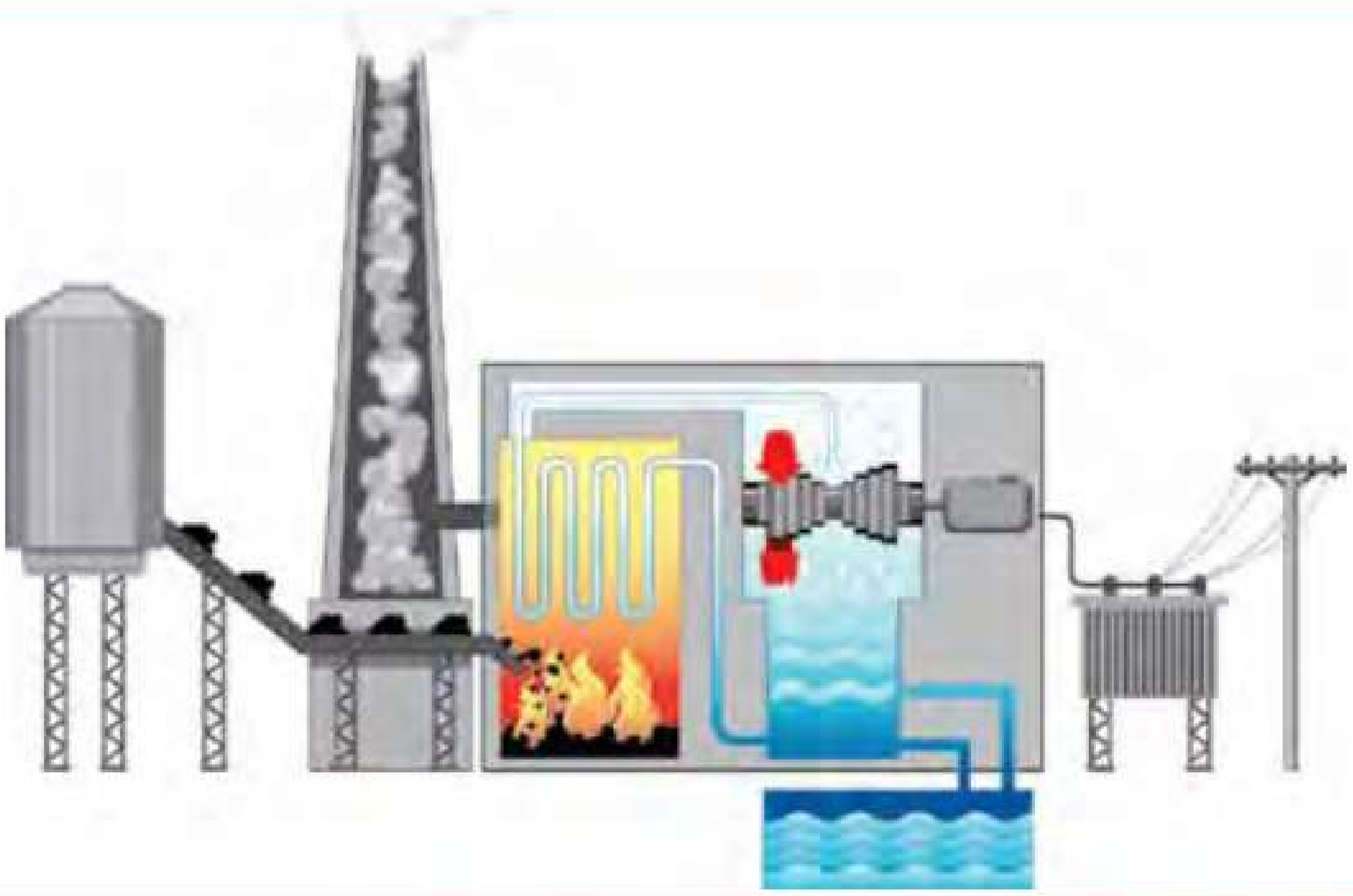


Мал. 33.1

ДІЗНАВАЙСЯ

Як електрична енергія потрапляє у твій будинок? Люди здавна уміли використовувати енергію вітру й течії річок — у вітряних і водяних млинах. Згодом люди навчилися використовувати теплову енергію пари. Наступним етапом розвитку стало застосування електричної енергії. У XX столітті людство навчилося використовувати атомну енергію.

Розглянь, як працює теплова електростанція (мал. 33.2).



Мал. 33.2

У гігантській печі спалюється паливо (вугілля, нафта або природний газ), унаслідок чого виділяється тепло. Воно перетворює воду на гарячу пару, яка струменем спрямовується на лопаті турбіни й обертає її разом із рухомою частиною генератора, який виробляє електричний струм. Далі пара, що вже значно втратила свої початкові показники — температуру та тиск, потрапляє в конденсатор, де після холодного водяного душу вона знову стає водою.

Зверни увагу, що електростанція виробляє змінний струм, який для передачі на великі відстані перетворюють, використовуючи спеціальні пристрої — трансформатори, електричні стовпи, дроти.

Теплоелектростанція (ТЕС) розрахована виключно на виробництво електроенергії. Середній коефіцієнт корисної дії ТЕС становить 30–35 %. Повторне використання відпрацьованої пари після турбіни дає можливість суттєво підвищити ефективність роботи станції. Теплоелектроцентраль (ТЕЦ) — різновид ТЕС. Вона, крім генерації електроенергії, здійснює подачу гарячої води у центральну систему опалення та для побутових потреб.

ТЕС послідовно перетворює хімічну енергію палива на теплову, механічну та електричну. Електричну енергію отримують також за допомогою водних (гідро), вітрових, сонячних та атомних електростанцій.



Переглянь в е-додатку анімаційну модель гідроелектростанції (33.1).

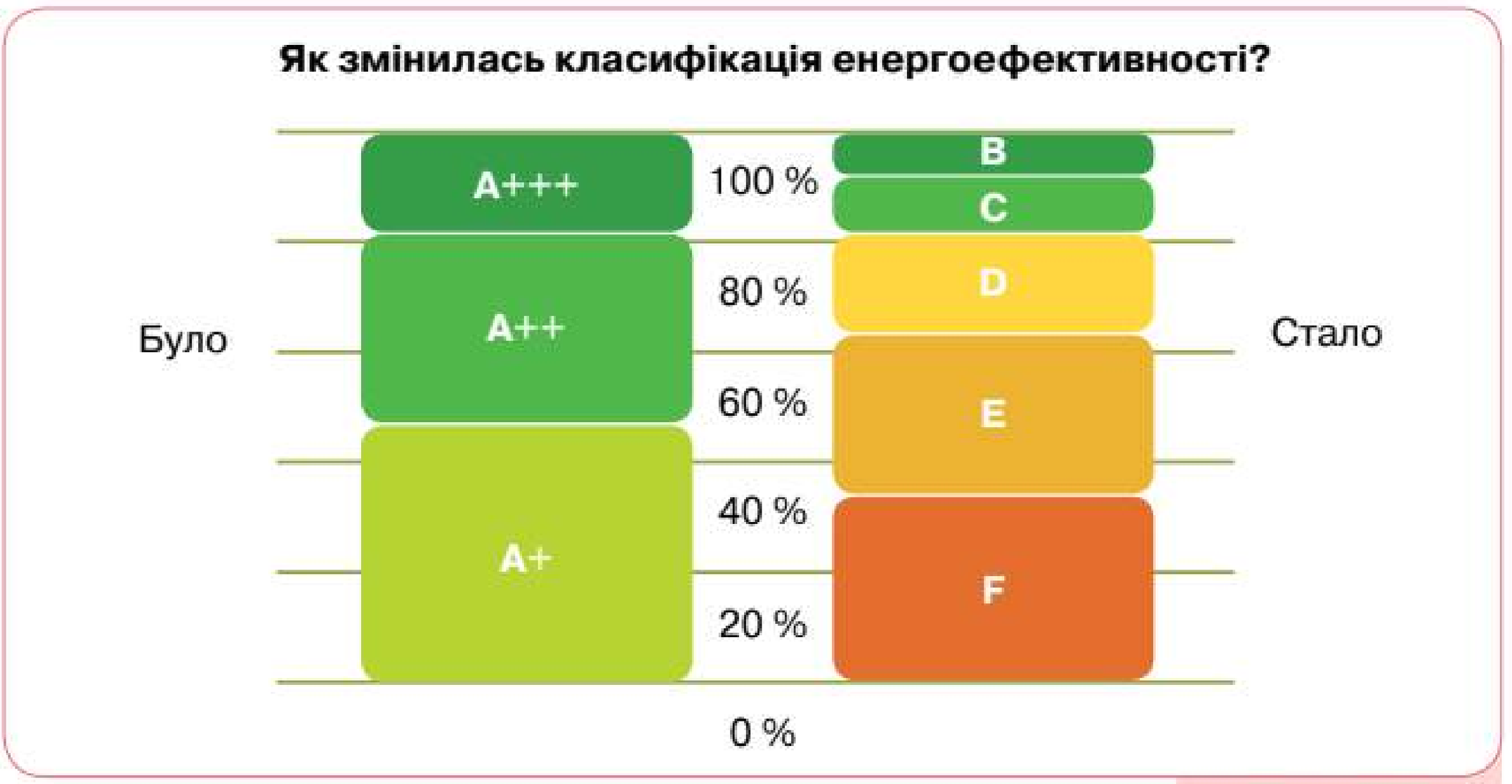
За даними НЕК «Укренерго», станом на січень 2022 року загальна встановлена потужність ВЕС в Україні дорівнювала 2 ГВт, СЕС — 6 ГВт, ГЕС — 5 ГВт, ТЕЦ та станцій на біопаливі — 6 ГВт, АЕС — 14 ГВт.

У XXI столітті людство активно працює над тим, як задовольняти свої енергетичні потреби без шкоди довкіллю. Адже для продукування теплової та електричної енергій спалюється вугілля, природний газ, нафта, дрова. Одним зі шкідливих наслідків цього є забруднення повітря. Крім того, унаслідок спалювання в атмосферу виділяється велика кількість тепла й парникових газів, що спричиняє глобальні зміни клімату. Тому зараз дуже актуальною є проблема використання джерел енергії, які не шкодять природі.

Переглянь в е-додатку анімаційну модель сонячної електростанції (33.2).

Скільки енергії споживають побутові прилади? Чи зможеш швидко, не замислюючись, назвати кількість побутових електричних приладів, які є у тебе вдома? Електричні прилади стали незамінними помічниками людей, що значно покращує їхнє життя. Водночас їх використання збільшує потребу електричної енергії, постійне зростання тарифів, а отже, і коштів сімейного бюджету за її використання. Актуальними є питання енергозбереження, а точніше — енергозаощадження — отримання більшої користі від роботи електроприладів за того ж обсягу спожитої енергії. Як це зробити? Ти, звичайно, легко можеш дізнатися, скільки енергії споживає той чи інший прилад за даними в його паспорті або описі на сторінці в інтернет-магазині. Наприклад, 0,8 кВт · год для пральної машини або 1,5 кВт · год для електрочайника. І, звичайно, ти

можеш порівняти ці показники для аналогічних товарів інших брендів. Так виникла ідея групування електроприладів за класами енергоефективності, і було побудовано шкалу за класами від D (неефективно витрачається споживана потужність) до класу A+++ (найвища ефективність). Звичайно техніка класу A коштує дорожче. Але кожен/кожна має вирішити: або зараз купити дешеву техніку, але сплачувати дорожче за користування нею, або купити дорожчу, але заощаджувати кошти, користуючись нею. На сучасному ринку склалася ситуація, коли в побуті залишилася техніка найвищого класу енергоефективності A (з одним, двома або трьома плюсами). Інші класи майже перестали застосовуватися. Для того щоб маркування продовжувало і далі виконувати свою роль, його вирішили переоцінити (мал. 33.3).



Мал. 33.3

Але просто обрати енергоефективний прилад недостатньо. Потрібно дотримуватись й інших порад, поданих в інструкції до приладу. Зокрема, обов'язково вимикати прилади, якими не користуєшся. Адже зарядний пристрій телефона, телевізор, ігрова консоль, монітор комп'ютера, мікрохвильова піч залишаються ввімкненими в мережу в режимі очікування і при цьому споживають електричну енергію.

Заощаджуючи електричну енергію, ти не лише економиш сімейний бюджет, а і впливаєш на економіку країни та екологію усієї планети. Адже під час спалювання нафти, вугілля і природного газу в ТЕС в атмосферу викидається велика кількість шкідливих газів. Особливу небезпеку становить вуглекислий газ. За мільйони років еволюції фотосинтезуючі рослини, водорості і бактерії поглинали вуглекислий газ і виділяли кисень, установивши баланс в біосфері, за якого вміст вуглекислого газу в атмосфері складає 0,03 %. Надлишок вуглекислого газу призво-

дить до затримання тепла в атмосфері й утворення парникового ефекту. Глобальне потепління, урагани, повені, снігопади там і у ті пори року, де їх ніколи раніше не було, — це лише кліматичні наслідки парникового ефекту. Голод, війни, бідність — це соціально-економічні наслідки неекономного використання електрики і тепла людиною. Вимкнена тобою лампа — це внесок у збереження планети.

Прочитай плакат (мал. 33.4), розроблений Міністерством енергетики України, та дізнайся, як іще ти можеш допомогти енергосистемі країни і планеті в цілому.

ЯК ЗМЕНШИТИ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ І ДОПОМОГТИ ЕНЕРГОСИСТЕМІ КРАЇНИ



Енергоємними приладами користуйся вночі: пральна машина, сушильна, посудомийка



Виставляй мінімально прийнятну температуру: в пральній машині, посудомийці, в бойлері, фені, прасці



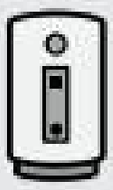
Заміни всі лампи на енергозберігаючі LED



Виключай зайве: одна кімната = один світильник



Пріоритет — природне денне освітлення



Вийшов з кімнати — вимкни світло

Вимикай всі електроприлади, що не потрібні на зараз



Кип’яти в електрочайнику воду на один раз



Не залишай в режимі сну електроприлади — вимимкай



Не вмикай кілька побутових приладів одночасно

Мал. 33.4

ДУМАЙ

1. Назви́ типи електростанцій. Які з них не завдають значної шкоди довкіллю?
2. Опиши перетворення енергії, які відбуваються для отримання електричної енергії на тепловій електростанції.
3. Чим ТЕС відрізняється від ТЕЦ?
4. Що означає клас енергоспоживання? Чому важливо використання енергозбережувальних технологій?

ДІЙ

УЧИСЬ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ЗАДАЧІ

Скільки коштує електроенергія, що витрачається на 2,5 години роботи комп'ютера потужністю 494 Вт? Тариф електроенергії становить 4,32 грн за 1кВт · год.

Дано:
$t = 2{,}5$ год
$P = 494$ Вт
$\tau_0 = 4{,}32$ грн/кВт · год

τ — ?

Розв'язання:
Витрачена електроенергія дорівнює роботі електричного струму: $A = Pt$,
$A = 494$ Вт · 2,5 год = 1235 Вт · год = 1,235 кВт · год.
Вартість електроенергії: $\tau = A \cdot \tau_0$,
$\tau = 1{,}235$ кВт · год · 4,32 грн/кВт · год = 5 грн 34 коп.

Відповідь: 5 грн 34 коп.

РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

1. Скажи, чи є у цей момент у твоєму будинку прилади, які перебувають в режимі очікування — увімкнені в електричну мережу, але не використовуються. Обчисли, скільки електроенергії споживають такі прилади в режимі очікування упродовж місяця. Для розрахунків візьми такі дані: у місяці 30 діб, середній час очікування — 15 годин на добу, потужності приладів в режимі очікування: телевізор — 0,5 Вт, комп'ютер — 1,3 Вт, монітор — 0,8 Вт, ігровий консоль — 0,2 Вт (у режимі сну — 5 Вт), мікрохвильова піч — 1,6 Вт, мультиварка — 1,4 Вт, кондиціонер — 1,6 Вт, музичний центр — 1,5 Вт, зарядні пристрої для смартфонів і планшетів — 0,7 Вт, інша техніка, що має світлові індикатори, — в середньому 0,5 Вт. Тариф — 4 грн 32 коп. за 1000 Вт · год.
2. В електричній лампі за напруги 220 В іде струм силою 0,5 А. Визнач, скільки енергії втрачається за час твого перебування у школі, а лампу при цьому ти забув/забула вимкнути. Скільки коштує така «забудькуватість»?

3 Порівняй ефективність освітлення кімнати лампою розжарювання потужністю 100 Вт та світлодіодною лампою потужністю 9 Вт за один і той самий проміжок часу. Скільки електроенергії можна зекономити вдома протягом місяця, якщо замінити лампу розжарювання світлодіодною? За можливості перевір отриманий результат, провівши модернізацію освітлення у своїй кімнаті.

4 Порівняй, коли ти більше використовуєш енергії: коли виконуєш домашнє завдання протягом години із увімкненою настільною лампою потужністю 60 Вт чи коли нагріваєш воду у чайнику потужністю 600 Вт впродовж 1 хв.

5 Проаналізуй, від чого залежать підвищені витрати електроенергії і які можливі шляхи її економії. Визнач вартість спожитої у твоїй квартирі електроенергії протягом місяця. Побудуй графік використання електроенергії протягом місяця, для цього записуй покази лічильника щодня у той самий час.

6 Помешкання обладнано електроприладами споживаною потужністю: електрочайник — 1,5 кВт, мікрохвильова піч — 2,0 кВт, праска — 1,5 кВт, обігрівач — 3 кВт. Які прилади одночасно можна вмикати в мережу, якщо максимальний струм, на який розрахована мережа, становить 16 А?

7 Кухню помешкання обладнано електроприладами, що споживають електричний струм різної величини: кавоварка — 2 А, тостер — 3 А, посудомийна машина — 7 А, мікрохвильова піч — 10 А. Які прилади одночасно можна підключити до мережі електроживлення за допомогою подовжувача з мідним дротом площею поперечного перерізу: а) 1 мм^2 (сума струмів не перевищує 6 А); б) 1,5 мм^2 (сума струмів не перевищує 10 А); в) 2,5 мм^2 (сума струмів не перевищує 16 А)?

8 Обчисли вартість гри на ігровому комп'ютері з повітряною системою охолодження та однією відеокартою упродовж 2 годин. Візьми до уваги, що на непрогрітому ПК енергоспоживання становить 140 Вт, якщо запустити рендеринг відео — 240 Вт, не перериваючи рендеринг, продовжувати гру — 400 Вт, закінчити рендерити, продовжити стріляти/ганяти — 300 Вт. Скільки коштуватиме ігрова залежність за місяць, якщо витрачати на це щодня по 5 годин?

ОПРАЦЮЙ ІНФОРМАЦІЮ

1 Роздивись інформаційний плакат (мал. 33.5). Прочитай діалог обговорення плакату у чаті, що виник в одній із соціальних мереж. Із якими думками дописувачів/дописувачок ти погоджуєшся? Чому?

НАЙБІЛЬШ ЕНЕРГОЗАТРАТНІ ПОБУТОВІ ПРИЛАДИ



Пральна машина

Споживання електроенергії, кВт/год	Час роботи, год (на тиждень)	Середньомісячна витрата електроенергії, кВт
2200	**3**	**26,4**



Праска

Споживання електроенергії, кВт/год	Час роботи, год (на тиждень)	Середньомісячна витрата електроенергії, кВт
1500	**1**	**6**



Електрочайник

Споживання електроенергії, кВт/год	Час роботи, год (на тиждень)	Середньомісячна витрата електроенергії, кВт
2000	**2**	**16**



Персональний комп'ютер

Споживання електроенергії, кВт/год	Час роботи, год (на тиждень)	Середньомісячна витрата електроенергії, кВт
400	**3**	**36**



Посудомийна машина

Споживання електроенергії, кВт/год	Час роботи, год (на тиждень)	Середньомісячна витрата електроенергії, кВт
1800	**3**	**21,6**



Холодильник

Споживання електроенергії, кВт/год	Час роботи, год (на тиждень)	Середньомісячна витрата електроенергії, кВт
150	**12**	**54**



Мікрохвильова піч

Споживання електроенергії, кВт/год	Час роботи, год (на тиждень)	Середньомісячна витрата електроенергії, кВт
1800	**1**	**7,2**



Телевізор

Споживання електроенергії, кВт/год	Час роботи, год (на тиждень)	Середньомісячна витрата електроенергії, кВт
80	**5**	**12**

Мал. 33.5



Пилосос

Споживання електроенергії, кВт/год	Час роботи, год (на тиждень)	Середньомісячна витрата електроенергії, кВт
1600	**1**	**7,4**



Лампи (5 штук)

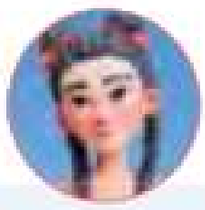
Споживання електроенергії, кВт/год	Час роботи, год (на тиждень)	Середньомісячна витрата електроенергії, кВт
60		**45**

Продовження мал. 33.5



Cr3zyTom

Що? Комп'ютер споживає більше енергії, ніж холодильник?



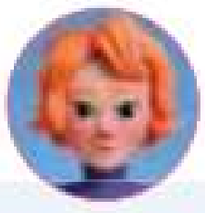
neeko0001

Та все ок. Мій комп'ютер взагалі має потужність 600 Вт. Мене інше турбує, що це за кВт/год? Енергія? Потужність?



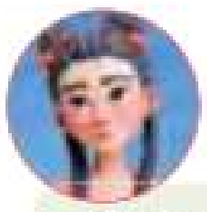
JoshYx

Так. Для комп'ютера це Ок) А от комп'ютерну консоль чому не показали? Вона на всі 1,5 кВ · год потягне.



the_hobbyte

Та що ви кажете?
Вимкнена ігральна консоль 5 тягне: 0,1 Вт, сон: 3,3 Вт,
сон з фоновим завантаженням: 44,3 Вт,
головне меню: 57,4 Вт,
Стримінг Netflix: 80 Вт,
Overwatch 2: 190–220 Вт,
Cyberpunk 2077: 215–230 Вт.



neeko0001

Як виявилося, ігральна консоль 5 начисто програє всім своїм попередницям. У мене під час гри енергоспоживання досягає 200 Вт. А у попередній версії ігральної консолі 4 енергоспоживання складає 150 Вт. Таким чином, ігровий режим нівелює всі заходи, спрямовані на зниження енергоспоживання ігральної консолі 5 в режимі простою.
Цікаво, що приблизно стільки ж — 201 Вт в режимі гри — споживає 15-дюймовий ноутбук. Адже в ноутбуці більше компонентів, які треба живити енергією. Цікаво, що 17-дюймовий з іншою відеокартою споживає набагато більше — 227 Вт.



Cr3zyTom

А краще б було, щоб відразу показували, скільки це коштуватиме в місяць.



JoshYx

Ага. І скільки було б менше викидів CO_2. А то прийдеться на уроці самому рахувати.

Переглянь в е-додатку симуляцію «Гідроелектростанція» (33.3).

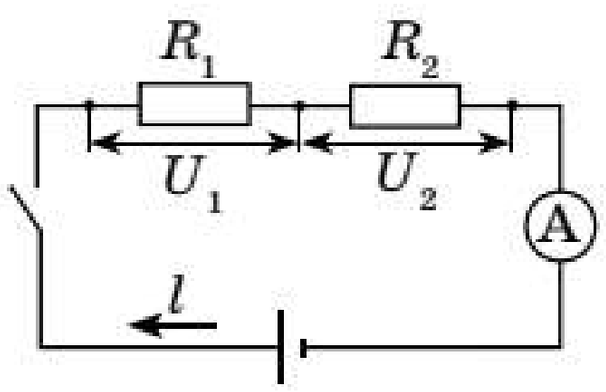
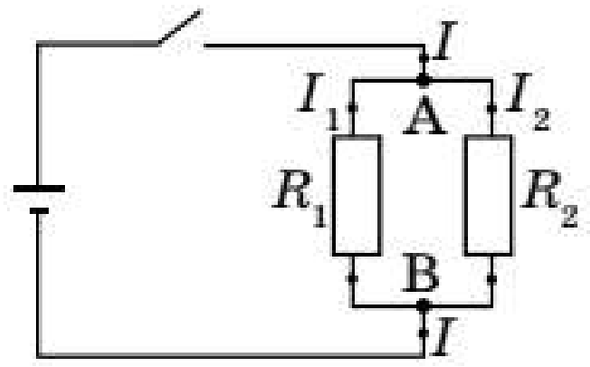
ОЦІНИ СЕБЕ

Виконай в е-додатку завдання для самооцінювання (33.4).

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ



Ти знаєш, які є співвідношення між силою струму, напругою та опором у колах з послідовно і паралельно з'єднаними провідниками.

Фізична величина	Вид з'єднання провідників	
	Послідовне	Паралельне
		
Сила струму	$I = I_1 = I_2 = ... = I_n$	$I = I_1 + I_2 + ... + I_n$
Напруга	$U = U_1 + U_2 + ... + U_n$	$U = U_1 = U_2 = ... = U_n$
Електричний опір	$R_1 + R_2 + ... + R_n$	

Ти можеш виявити дії електричного струму: теплову, хімічну, магнітну.

Ти можеш пояснити особливості протікання електричного струму у різних середовищах.

	Метали	**Метали**	**Гази**
Наявність / створення вільних носіїв струму	Завжди наявні вільні електрони	Унаслідок *електролітичної дисоціації* утворюються вільні *позитивні і негативні йони*	Унаслідок *йонізації* утворюються *вільні електрони, позитивні і негативні йони*
Процеси, що супроводжують струм	Виділення кількості теплоти внаслідок проходження струму: $Q = I^2Rt$ *(закон Джоуля — Ленца)*	Виділення речовини на електродах. Цей процес називають *електролізом.* *Закон Фарадея* $m = kIt$, де k — електрохімічний еквівалент	Електричний струм в газах називають *газовим розрядом.* *Несамостійний газовий розряд* існує за наявності електричного поля та зовнішнього йонізатора, *самостійний газовий розряд* — після припинення дії йонізатора. Є такі види самостійного розряду: *іскровий, дуговий, коронний, тліючий*
Залежність опору від температури	Зі збільшенням температури опір усіх металів зростає пропорційно температурі	Зі збільшенням температури розчинів і розплавів електролітів їх провідність збільшується, а опір, відповідно, зменшується	Зі збільшенням температури газів їх провідність збільшується, а опір, відповідно, зменшується

Ти розумієш, що на ділянці кола електричний струм виконує роботу, значення якої дорівнює добутку напруги U, сили струму I і часу t проходження струму в колі: $A = UIt$.

Швидкість виконання струмом роботи характеризує потужність електричного струму: $P = UI$.

Існують ще дві формули для розрахунку кількості теплоти: $Q = \frac{U^2}{R}t$ і $Q = UIt$, — однак цими формулами можна користуватися тільки в тому випадку, коли вся електрична енергія йде на нагрівання.

Ти умієш вимірювати і обчислювати електричну енергію, порівнювати побутові електричні прилади за їхньою енергоефективністю, здійснювати заходи із енергозбереження.

ПЕРЕВІР СЕБЕ



1. (0,5 б.) Укажи твердження, яке відповідає послідовному з'єднанню двох резисторів. Опір першого резистора 5 Ом, другого — 15 Ом.

А загальний опір резисторів 10 Ом
Б сила струму на першому резисторі більша
В напруга на обох резисторах однакова
Г сила струму в обох резисторах однакова

2. (0,5 б.) Укажи, що є носіями струму в електролітах.

А вільні електрони
Б вільні електрони, позитивні та негативні йони
В позитивні та негативні йони
Г вільні електрони та негативні йони

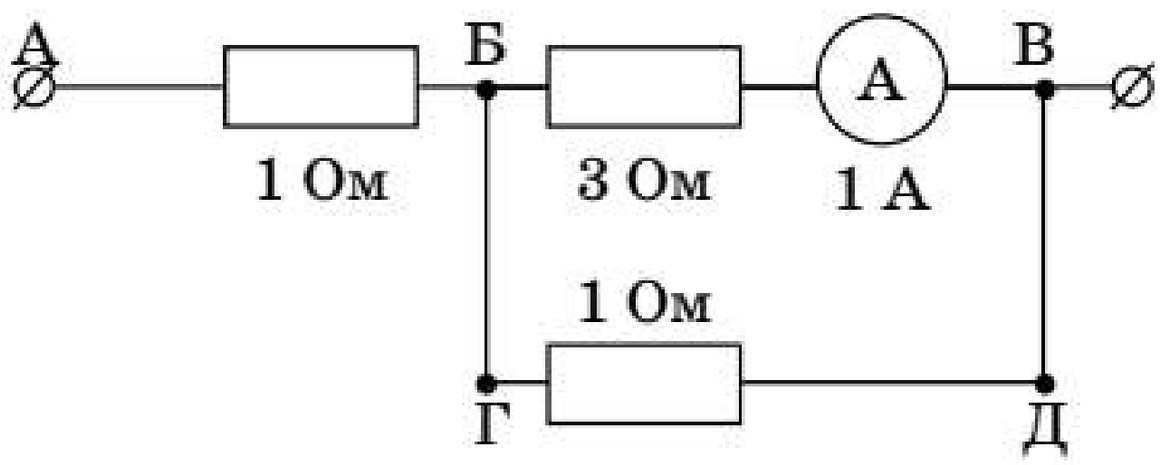
3. (0,5 б.) Укажи, яку роботу виконує струм у колі двигуна, що споживає потужність 6,2 кВт за 1,5 год.

А 4,13 кДж **Б** 33,48 МДж **В** 9,3 кДж **Г** 93 кВт · год

4. (0,5 б.) Укажи приклад самостійного газового розряду.

А веселка **В** блискавка
Б грім **Г** світіння електричної лампи

5. **(2 б.) До яких точок на схемі потрібно приєднати вольтметр, щоб він показав напругу 4 В?**



А до А і Б **Б** до А і В **В** до Б і В **Г** до Б і Д

6. **(2 б.) Сила струму в електролітичній ванні 0,5 А. Визнач масу срібла, яка виділиться під час електролізу за 10 хв. (Електрохімічний еквівалент срібла — 1,12 мг/Кл.)**

7. **(3 б.) Яку роботу виконує електродвигун пральної машини за 10 хв, якщо напруга в мережі 380 В, а опір обмотки — 200 Ом? ККД електродвигуна 70 %.**

8. **(3 б.) Скільки часу повинен працювати електричний чайник, щоб нагріти 0,5 л води від 20 °С до кипіння, якщо сила струму в мережі 1,2 А, а опір спіралі електрочайника — 260 Ом? (Питома теплоємність води 4200 Дж/кг · °С.)**

ВІДПОВІДІ

§ 1. **1.** $4 \cdot 10^{-9}$ м.

§ 2. $\frac{1}{700}$.

§ 3. **1.** 28 °C; 50,4 °F.

2.

За Цельсієм	0 °C	232 °C	20 °C	−10 °C
За Фаренгейтом	32 °F	451 °F	68 °F	14 °F
За Кельвіном	273 K	505,8 K	293 K	263 K

3.

	I	II	III	IV	V
Ціна поділки	2 °C	4 °C	2,5 °C	5 °C	4 °C
Межі вимірювання	−20 °C до 40 °C	−40 °C до 80 °C	−20 °C до 35 °C	−20 °C до 35 °C	−40 °C до 76 °C
Значення температури	14 °C	28 °C	22,5 °C	25 °C	24 °C

4. У $\sqrt{2}$ разів швидкість молекул водню більша.

§ 4. **1.** Від 0 до 4 °C об'єм води зменшується; від 4 до 8 °C — збільшується. **2.** а) 200, 184 м; б) 199, 866 м.

§ 5. **1.** 1 і 3; 1 і 4; не можливо.

§ 7. **1.** 640 Дж. **2.** 0,25 кг. **3.** 10,08 кДж. **4.** 0,024 кг. **5.** 920 Дж/(кг · °C). **6.** 106 МДж. **7.** 900 Дж/(кг · °C); 54 кДж.

§ 8. **1.** 34 °C. **2.** $V_1 = 80$ л; $V_2 = 120$ л. **3.** 140 Дж/(кг · °C). **4.** На 3,7 °C. **5.** 0,34 кг. **6.** 0,16 кг. **7.** 870 °C. **8.** 34 °C. **9.** 516 Дж/(кг · °C).

Оціни себе

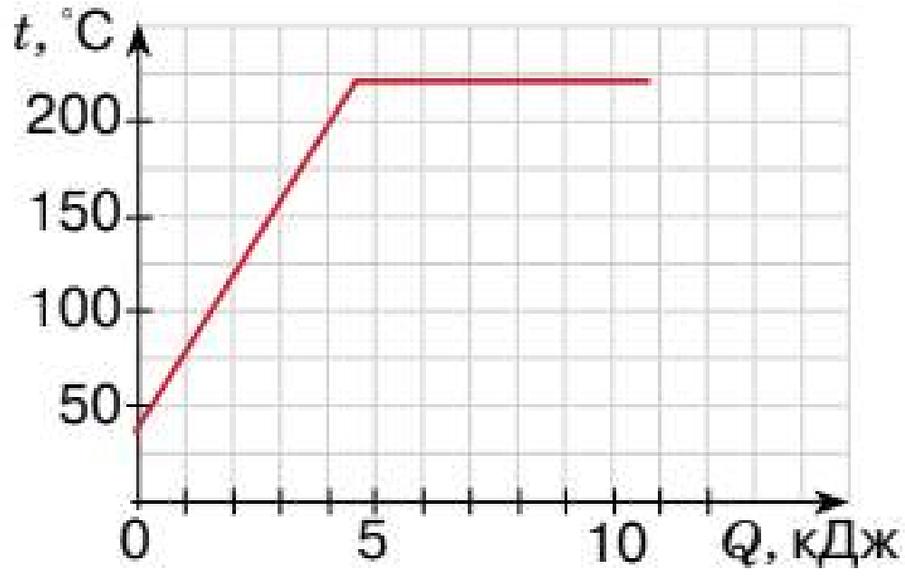
1. В. **2.** Б. **3.** 1. **4.** В. **5.** Г. **6.** $V_1 = 80$ л; $V_2 = 120$ л. **7.** 2000 Дж/(кг · °C). **8.** 109 г.

§ 11. **1.** 90 кДж. **2.** Пара на величину mL. **3.** 180 кДж. **4.** а) 35 °C; ефір; б) 7 хв. **5.** а) 80 °C; спирт; б) 15 хв. **6.** а) Незмінна; зменшувалась від 100 °C до 20 °C; б) на початку. **7.** 5,272 МДж. **8.** 31,4 кг. **9.** 1,12 кг.

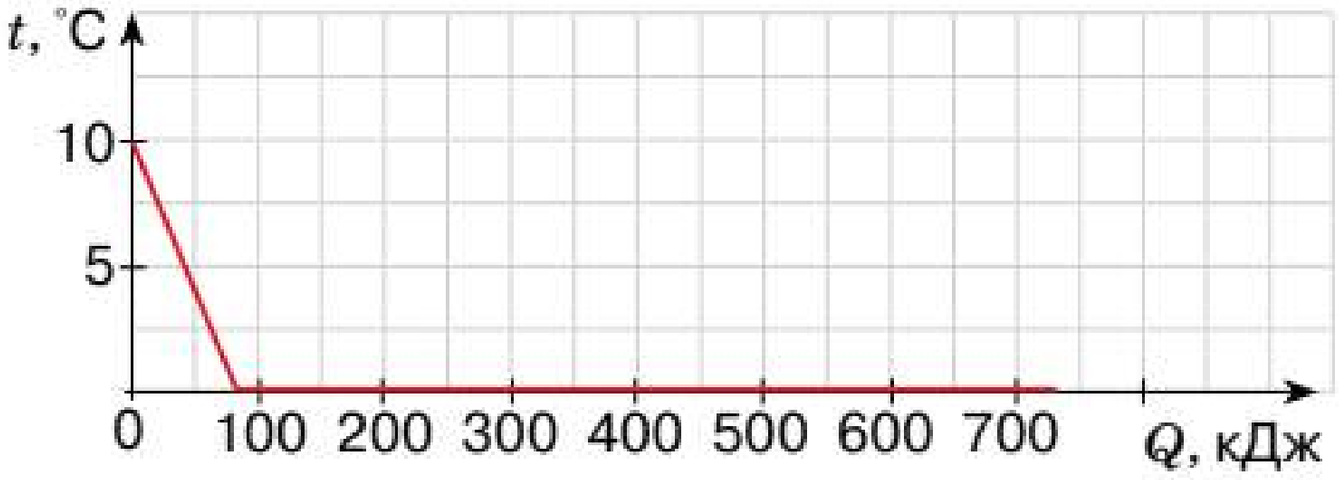
§ 12. **1.** 91 кг (якщо маса людини 60 кг).

§ 13. **1.** Для льоду в 13,3 раза.

2. 10,8 кДж

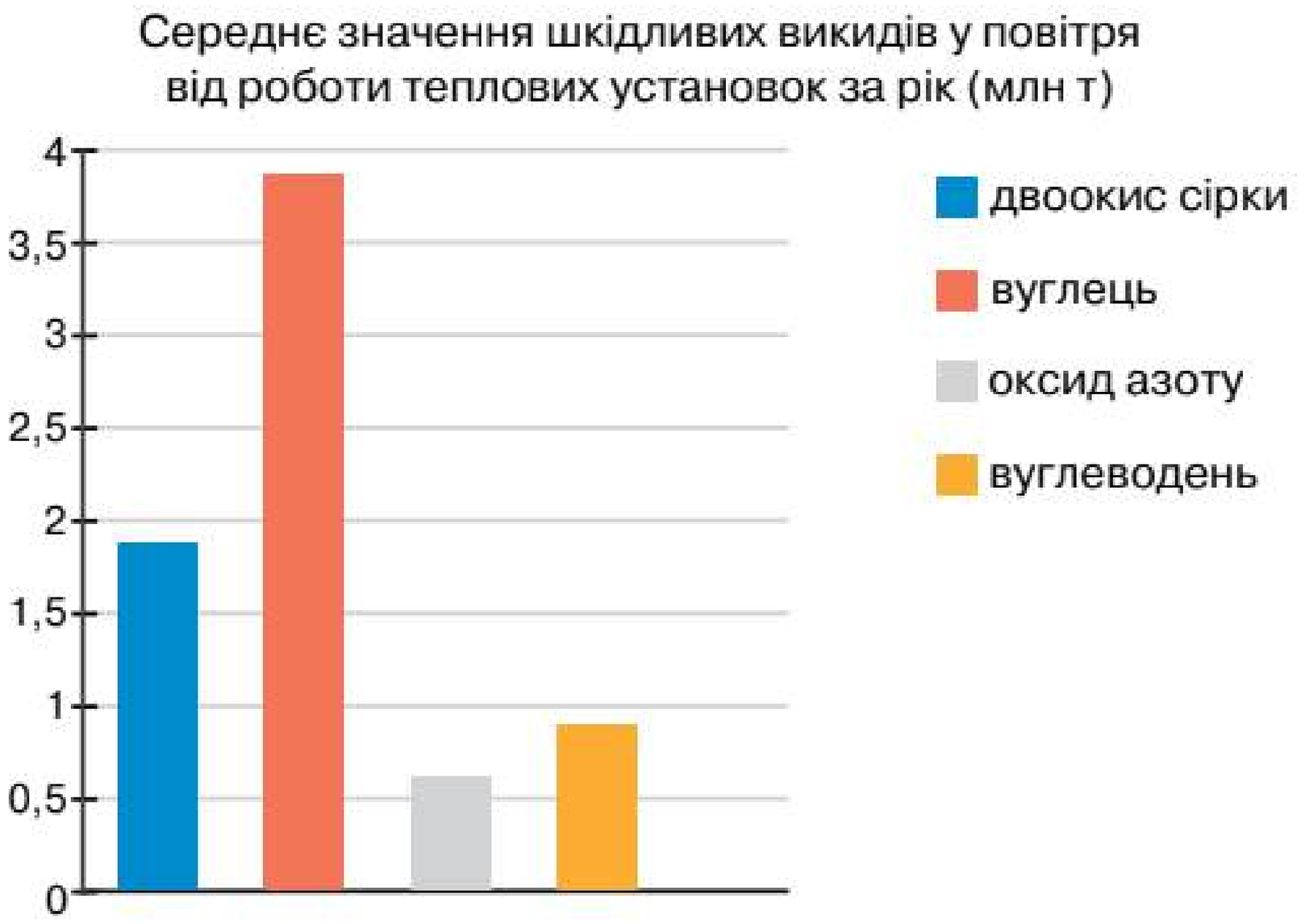


3. 748 к Дж



4. 42,65 кДж. **5.** *AB* — охолодження рідини; *BC* — тверднення; *CD* — охолодження твердого тіла; початок спостереження за 250 °C, кінець — за 218 °C; 10 хв. **6.** $\lambda_I = 201$ к Дж/кг; сплав міді; $\lambda_{II} = 60{,}9$ к Дж/кг; сплав олова. **7.** 2,7 кг. **8.** 0,56 кг. **9.** 86 °C. **10.** 2,24 кг. **11.** 53505 Дж.

§ 14. **1.** Двоокис сірки, $1{,}8 \cdot 10^{11} - 2{,}0 \cdot 10^{11}$ кг, $1{,}9 \cdot 10^{11}$ кг; вуглець $3{,}5 \cdot 10^{11} - 4{,}0 \cdot 10^{11}$ кг, $3{,}75 \cdot 10^{8}$ кг; оксид азоту $6{,}0 \cdot 10^{10} - 6{,}5 \cdot 10^{10}$ кг, $6{,}25 \cdot 10^{10}$ кг; вуглеводень $8{,}0 \cdot 10^{10} - 9{,}0 \cdot 10^{10}$ кг, $8{,}5 \cdot 10^{7}$ кг.



2. 2,7 МДж. **3.** 2 кг. **4.** 44 МДж/кг; природний газ. **5.** 6 : 13. **6.** 40 °C. **7.** 1,1 кг. **8.** 2 610 кг. **9.** 53 °C. **10.** 3,1 МДж/кг. **11.** $q_I = 16{,}7$ МДж/кг, буре вугілля; $q_{II} = 30$ МДж/кг, кам'яне вугілля. **12.** $4{,}7 \cdot 10^{8}$ Дж.

§ 15. **1.** 29 %. **2.** 224 Дж. **3.** 40 %. **4.** 11 %. **5.** 6 %. **6.** 40 %. **7.** 40 %. **8.** 30 %. **9.** $1{,}7 \cdot 10^{9}$ кг; 31,75 %. **10.** 33,3 г.

§ 16. **1.** 12 грн; 2 грн 45 коп. **2.** 63 %; 72 %. **3.** $9{,}7 \cdot 10^{15}$ Дж. **4.** 128.

Оціни себе

1. А. **2.** Б. **3.** 16,7 %. **4.** В. **5.** а) Рідкий; б) зменшилась; в) у т. *K* більший, бо вища температура; г) зменшується, бо на ділянці *AB* змен-

шується кінетична енергія руху частинок внаслідок охолодження, а на ділянці BM зменшується потенціальна енергії внаслідок руйнування зв'язків між частинками внаслідок плавлення. **6.** 61 °С. **7.** $2{,}8 \cdot 10^6$ Дж.

§ 17. **1.** $5 \cdot 10^6$. **2.** Нейтронів 60, протонів 47. **3.** Нейтронів 35, електронів 30.

§ 20. **1.** Вправо від кулі. **2.** Однакові за величиною і напрямком. **3.** Модуль сили не зміниться, а напрям сили зміниться на протилежний. **4.** Тіла 1 і 3 та 1 і 2 притягуються одне до одного; тіла 2 і 3 — відштовхуються. **5.** Зменшиться в 9 разів. **6.** а) Збільшиться в 4 рази; б) зміниться напрям й збільшиться втричі за модулем. **7.** 3,4 см. **8.** 3 нКл. **9.** $6 \cdot 10^3$ Н. **10.** $9 \cdot 10^{-3}$ Н. **11.** 30 мм. **12.** $9{,}23 \cdot 10^{-8}$ Н.

13.

F, Н	q_1, Кл	q_2, Кл	R, м
$2{,}25 \cdot 10^{-6}$	$2 \cdot 10^{-9}$	$5 \cdot 10^{-9}$	0,2
$2 \cdot 10^{-5}$	$17{,}8 \cdot 10^{-9}$	$5 \cdot 10^{-9}$	0,2
$2 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-9}$	$44{,}4 \cdot 10^{-9}$	0,2
$2 \cdot 10^{-5}$	$5 \cdot 10^{-9}$	$5 \cdot 10^{-9}$	0,067

§ 24. **1.** $6{,}25 \cdot 10^{18}$. **2.** 3,4 А. **3.** 15,4 с. **4.** 0,6 А. **5.** $5 \cdot 10^{12}$. **6.** 1,6 мкА. **7.** 1,5 Кл. **8.** 24 В. **9.** 18 Кл. **10.** 20 В. **11.** 2,5 А. **12.** 27 кДж. **13.** а) 3 А; 0,5 А /под; б) 40 мА; 20 мА /под; в) 5 А; 1 А/под; г) 0,8 А; 0,4 А/под; г) 7,5 В; 0,5 В/под; д) 10 мВ; 0,4 мВ/под; е) 3,6 кВ; 0,2 кВ/под.

§ 25. **1.** 2,9 А. **2.** 0,3 А. **3.** $R_{\text{I}} = 2$ Ом; $R_{\text{II}} = 4$ Ом; $R_{\text{III}} = 1$ Ом. **4.** 12 Ом. **5.** 440 Ом. **6.** 5,5 А. **7.** 8 кОм. **8.** 8 В. **9.** 0,2 Ом.

§ 26. **1.** 10 мОм. **2.** 0,765 мм^2. **3.** Вужча. Більший опір у 2 рази. **4.** 45 м. **5.** 71, 2 кг. **6.** 13,6 мОм. **7.** 0,33 Ом. **8.** 0,384 Ом · мм^2/м. **9.** 18,5 м.

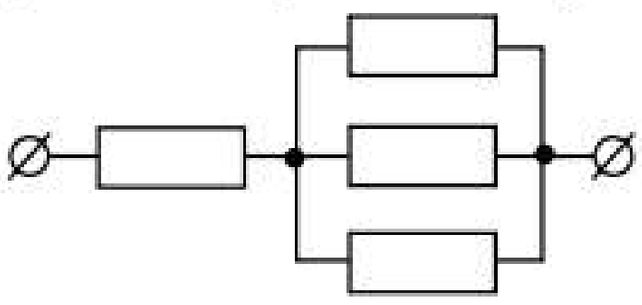
Оціни себе

1. А. **2.** Г. **3.** Б. **4.** Б. **5.** А. **6.** Б. **7.** Г. **8.** −1 нКл. **9.** 13,75 м. **10.** $4{,}2 \cdot 10^{22}$.

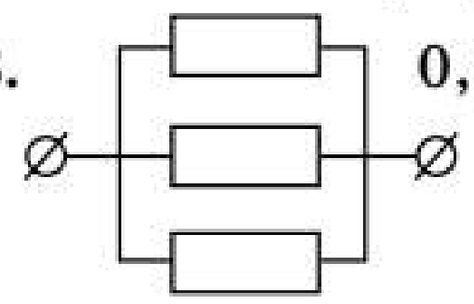
§ 27. **1.** 3,2 В; 2 В; 1,2 В. **2.** 110 В. **3.** 440 Ом. **4.** 3В; 9 В. **5.** 0,2 А; 46 В. **6.** Вниз: сила струму зменшиться, напруга зменшиться; вгору — сила струму збільшиться, напруга збільшиться. **7.** 3 А; 12 В. **8.** 40 Ом. **9.** Алюмінієвого більше в 1,65 раза.

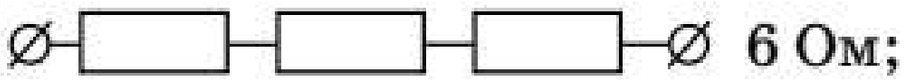
§ 28. **1.** У другому більша в 5 разів. **2.** 300 Ом; 1,2 А; 0,4 А. **3.** а) 0 А; б) 1, 2 А. **4.** 1,12 А. **5.** 0,25 Ом. **6.** 0,25 Ом. **7.** Зменшився у 9 разів.

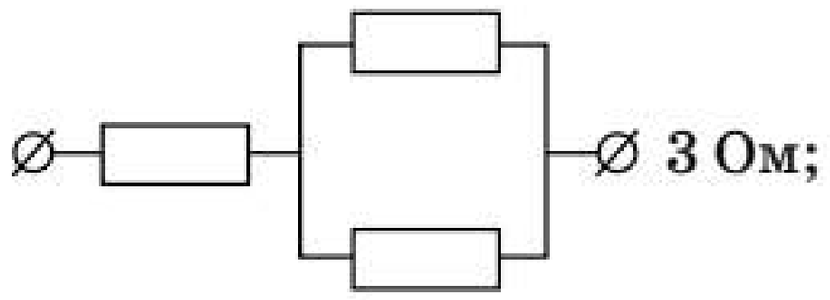
§ 29. **1.**

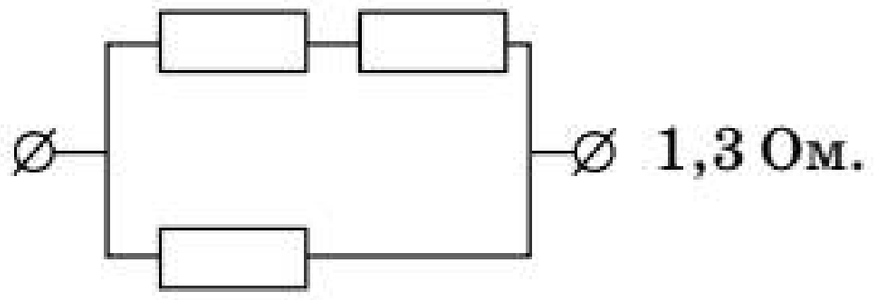


2. 9 Ом; 18 Ом. **3.** 0,66 Ом;




6 Ом;


3 Ом;


1,3 Ом.

4. A_2 зменшиться; A_1 збільшиться; A_3 збільшиться. **5.** 10 Ом; 7,5 Ом.

§ 30. **1.** 4000 В.

§ 31. **1.** $3{,}4 \cdot 10^{-4}$ г/Кл. **2.** 825 мг. **3.** 6945 с. **4.** 1,9 А. **5.** 2,3 А.

§ 32. **1.** 500 Дж. **2.** У другому випадку робота струму вдвічі менша. **3.** 0,2 А. **4.** 380 В. **5.** 1,9 кВт. **6.** 127 В. **7.** 100 Вт. **8.** У 3 рази. **9.** Послідовно — у другій вдвічі; паралельно — у другій вдвічі. **10.** 1 тускліше, 2 яскравіше. **11.** 1 найяскравіше.

§ 33. **4.** Настільна лампа більше. **6.** Один обігрівач; електрочайник і праску; електрочайник і мікрохвильову піч; праску і мікрохвильову піч. **7.** а) Сума струмів не повинна перевищувати 6 А; б) сума струмів не повинна перевищувати 10 А; в) сума струмів не повинна перевищувати 16 А. **8.** 194 грн 40 коп.

Оціни себе

1. Г. **2.** В. **3.** В. **4.** В. **5.** Б. **6.** 3,36 г. **7.** 303 кДж. **8.** 7 хв 29 с.

ПОКАЖЧИК

Абсолютна вологість *84*

Аморфне тіло *92*

Ампер *164*

Амперметр *165*

Ближній порядок *21*

Випаровування *73*

Випромінювання *47*

Відносна вологість *84*

Внутрішня енергія *39*

Вольт *165*

Вольтметр *166*

Газовий розряд *224*

Гальванічний елемент *155*

Горіння *101*

Дальній порядок *90*

Двигун внутрішнього згорання *115*

Джерело електричного струму *155*

Диполь *14*

Дифузія *12*

Діелектрик *148*

Дії струму *212, 213, 214, 216*

Електризація дотиком *129*

Електризація через вплив *130*

Електрична енергія *159*

Електрична станція *156*

Електричне поле *136*

Електричний заряд *126*

Електричний опір *173*

Електричний струм *151*

Електроліз *222*

Електроліт *220*

Електролітична дисоціація *220*

Електропровідність *150*

Електроскоп *138*

Закон Джоуля — Ленца *230*

Закон збереження електричного заряду *132*

Закон Кулона *144*

Закон Ома *174*

Змочування *69*

Йон *127*

Капілярні явища *69*

Кипіння *74*

Кількість теплоти *50*

Коефіцієнт корисної дії нагрівника *103*

Коефіцієнт корисної дії теплової машини *111*

Конвекція *46*

Кристалічне тіло *93*

Мішане з'єднання провідників *206*

Надпровідність *183*

Наноматеріали *16*

Напівпровідник *149*

Напруга *164*

Насичена пара *84*

Негативний йон *13*

Ом *173*

Основні положення молекулярно-кінетичної теорії будови речовини *11*

Паралельне з'єднання провідників *199*

Пароутворення *75*

Питома теплоємність речовини *51*

Питома теплота згорання *102*

Питома теплота пароутворення *79*

Питома теплота плавлення *93*

Питомий опір *181*

Плазма *23*

Поверхневий натяг *68*

Позитивний йон *13*

Послідовне з'єднання провідників *191*

Потужність електричного струму *230*

Провідник *148*

Реостат *176*

Рідкі кристали *22*

Робота електричного струму *229*

Сила струму *164*

Температура *26*

Температура кипіння *79*

Температура плавлення *94*

Теплова машина *110*

Теплова рівновага *27*

Теплове розширення *34*

Тепловий баланс *55*

Тепловий рух *25*

Теплопередача *44*

Теплопровідність *45*

Точка роси *85*

Холодильна машина *110*

Таблиця 1. Питомі теплоємності деяких речовин

Речовина	Питома теплоємність, Дж/(кг · оС)	Речовина	Питома теплоємність, Дж/(кг · С)
Алюміній	920	Пісок	880
Вода	4200	Повітря	1000
Водяна пара	2200	Ртуть	130
Гас	2100	Свинець	140
Залізо	460	Скло	840
Золото	130	Спирт	2500
Латунь	380	Срібло	250
Лід	2100	Сталь	500
Мідь	380	Цегла	880
Олія соняшникова	1700	Цинк	380
Олово	230	Чавун	540

Таблиця 3. Температура кипіння та питома теплота кипіння деяких речовин

Речовина	Температура кипіння, °С (за нормального тиску)	Питома теплота пароутворення, кДж/кг
Аміак (рідкий)	–33	1370
Вода	100	2300
Гліцерин	290	830
Кисень	–183	210
Ртуть	357	300
Спирт	78	900

Таблиця 6. Електрохімічний еквівалент деяких речовин, 10-6 кг/Кл

Алюміній (Al^{3+})	0,093	Нікель (Ni^{2+})	0,30
Водень (H^{+})	0,0104	Срібло (Ag^{+})	1,12
Кисень (O^{2-})	0,083	Хром (Cr^{3+})	0,18
Мідь (Cu^{2+})	0,33	Цинк (Zn^{2+})	0,34

Таблиця 2. Температура плавлення та питома теплота плавлення деяких речовин

Речовина	Температура плавлення, °С	Питома теплота плавлення, кДж/кг
Алюміній	660	393
Залізо	1535	270
Лід	0	332
Мідь	1085	213
Олово	232	58
Свинець	327	24
Срібло	962	87
Сталь	1400	82

Таблиця 5. Значення питомого опору деяких речовин та сплавів (за t = 20 оС)

Речовина	ρ, $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$	Речовина	ρ, $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$
Алюміній	0,028	Ніхром	1,1
Вольфрам	0,055	Олово	0,12
Графіт	13	Платина	0,1
Ебоніт	1020	Ртуть	0,96
Залізо	0,1	Свинець	0,21
Золото	0,024	Срібло	0,016
Константан	0,5	Сталь	0,10–0,14
Латунь	0,07–0,08	Цинк	0,061
Мідь	0,017	Фарфор	1019
Нікель	0,073	Чавун	0,5–0,8

Таблиця 4. Питома теплота згорання деяких видів палива, МДж/кг

Бензин	46	Метан	50
Водень	120	Нафта	44
Гас	46	Природний газ	44
Дизельне паливо	42	Порох	3,8
Дрова сухі	10	Спирт	27
Кам’яне вугілля	27	Торф	14

Таблиця 7. Густина речовини

Тверді тіла, 10³ кг/м³					
Алюміній	2,71	Корок	0,24	Свинець	11,3
Вольфрам	19,1	Латунь	8,5	Скло	2,5
Граніт	2,6	Лід	0,9	Сосна суха	0,44
Дуб (сухий)	0,8	Мідь	8,9	Срібло	10,5
Залізо	7,8	Нікель	8,8	Цинк	7,1
Золото	19,3	Оргскло	1,2	Чавун	7,0
Рідини, 10³ кг/м³					
Бензин Вода морська Вода чиста (за t = 4 °C) Гас	0,71 1,03 1,00 0,8	Гліцерин Нафта Олія Рідке повітря (за t = 194 °C)	1,26 0,8 0,9 0,89	Рідке олово (за t = 409 °C) Ртуть Спирт етиловий	6,83 13,6 0,79
Гази (за нормальних умов), кг/м³					
Азот Водень Гелій	1,25 0,09 0,18	Кисень Повітря Хлор	1,43 1,29 3,21	Водяна пара (за t = 100 °C) Вуглекислий газ	0,88 1,98

