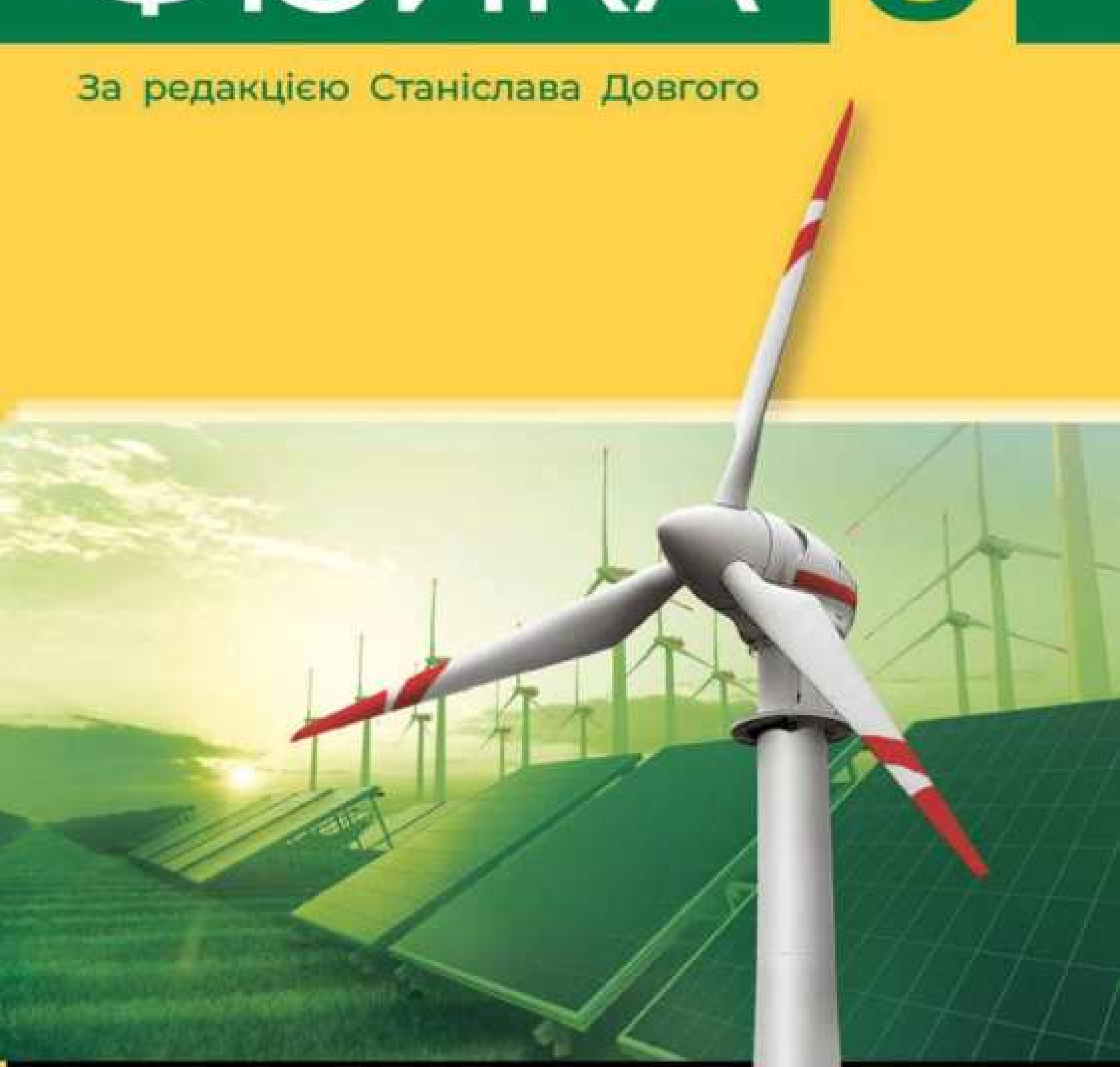
ВИДАВНИЦТВО РАНОК

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

НАВЧАННЯ БЕЗ МЕЖ

ФІЗИКА 8

За редакцією Станіслава Довгого



Видавництво «Ранок»

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

ФІЗИКА

Підручник для 8 класу
закладів загальної середньої освіти

За редакцією Станіслава Довгого

Видавництво «Ранок»

Видавництво «Ранок»

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

Видавництво «Ранок»

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

ФІЗИКА 8

Підручник для 8 класу закладів загальної середньої освіти

За редакцією Станіслава Довгого

Рекомендовано
Міністерством освіти і науки України

rnk.com.ua/107935

Інтерактивний електронний додаток до підручника

Київ · Харків
Видавництво «Ранок»

Видавництво «Ранок»

УДК 37.016:53(075.3)
Б 24

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

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

Підручник пройшов апробацію в закладах загальної середньої освіти України (наказ Міністерства освіти і науки України від 24.01.2025 № 98)

Ілюстрації *Володимира Хорошенка*

Бар'яхтар В. Г.

Б 24 Фізика : підруч. для 8 кл. закл. загал. серед. освіти / В. Г. Бар'яхтар, Ф. Я. Божинова, С. О. Довгий, М. М. Кірюхін, О. О. Кірюхіна ; за ред. С. О. Довгого. — Х. : Вид-во «Ранок», 2025.

УДК 37.016:53(075.3)

Інтерактивний електронний додаток до підручника доступний за QR-кодом або посиланням **rnk.com.ua/107935**

© Бар'яхтар В. Г., Божинова Ф. Я., Довгий С. О., Кірюхін М. М., Кірюхіна О. О., 2025
© Хорошенко В. Д., ілюстрації, 2025
© ТОВ Видавництво «Ранок», 2025

Видавництво «Ранок»

Дорогі учні та учениці!

Цього навчального року ви продовжите подорож світом фізики. Як і раніше, ви будете спостерігати явища природи, проводити справжні наукові експерименти й на кожному уроці робити власні маленькі відкриття. А підручник стане для вас надійним помічником.

Будьте уважними й наполегливими, вивчаючи зміст кожного параграфа, не обминайте додаткових рубрик — і ви зможете застосовувати здобуті знання в повсякденному житті. Приклади практичного застосування фізики ви знайдете в рубриці *«Чи знаєте ви, що...»*. Розвинути критичне мислення, необхідне для ефективного навчання та успішної реалізації в дорослому житті, допоможе рубрика *«А як насправді?»*.

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

Рубрика *«Підбиваємо підсумки»*, яку подано у вигляді опорних конспектів, акцентує на головному. *«Контрольні запитання»* дають змогу з'ясувати, чи зрозуміли ви вивчений матеріал. Рубрика *«Вправа»* допоможе перевірити, чи можете ви застосувати отримані знання на практиці. Завдання рубрики диференційовані за рівнями складності. Номери завдань підкреслено відповідними кольорами (у порядку підвищення складності): синій, зелений, оранжевий, червоний. Фіолетовим кольором позначено завдання для формування інформаційно-комунікаційної компетентності. Довідкові дані, необхідні для виконання завдань, ви знайдете в *Додатку 1* наприкінці підручника.

Фізика — наука насамперед експериментальна, тому на вас очікують *дослідження*, *експериментальні завдання* та *лабораторні роботи*. Обов'язково виконуйте їх — і ви будете краще розуміти фізику.

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

Безумовно, корисним буде для вас *інтерактивний електронний додаток*, де подано тренувальні тестові завдання з автоматичною перевіркою, відеоролики з демонстраціями лабораторних робіт, певних фізичних дослідів або процесів, а також список рекомендованих джерел інформації для тих, хто хоче дізнатися більше.

Сформувати адаптивність і здатність до співпраці допоможе активна участь у реалізації *навчальних проєктів*, теми яких запропоновано в підручнику. Поради щодо виконання проєктів ви знайдете в *Додатку 2*.

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

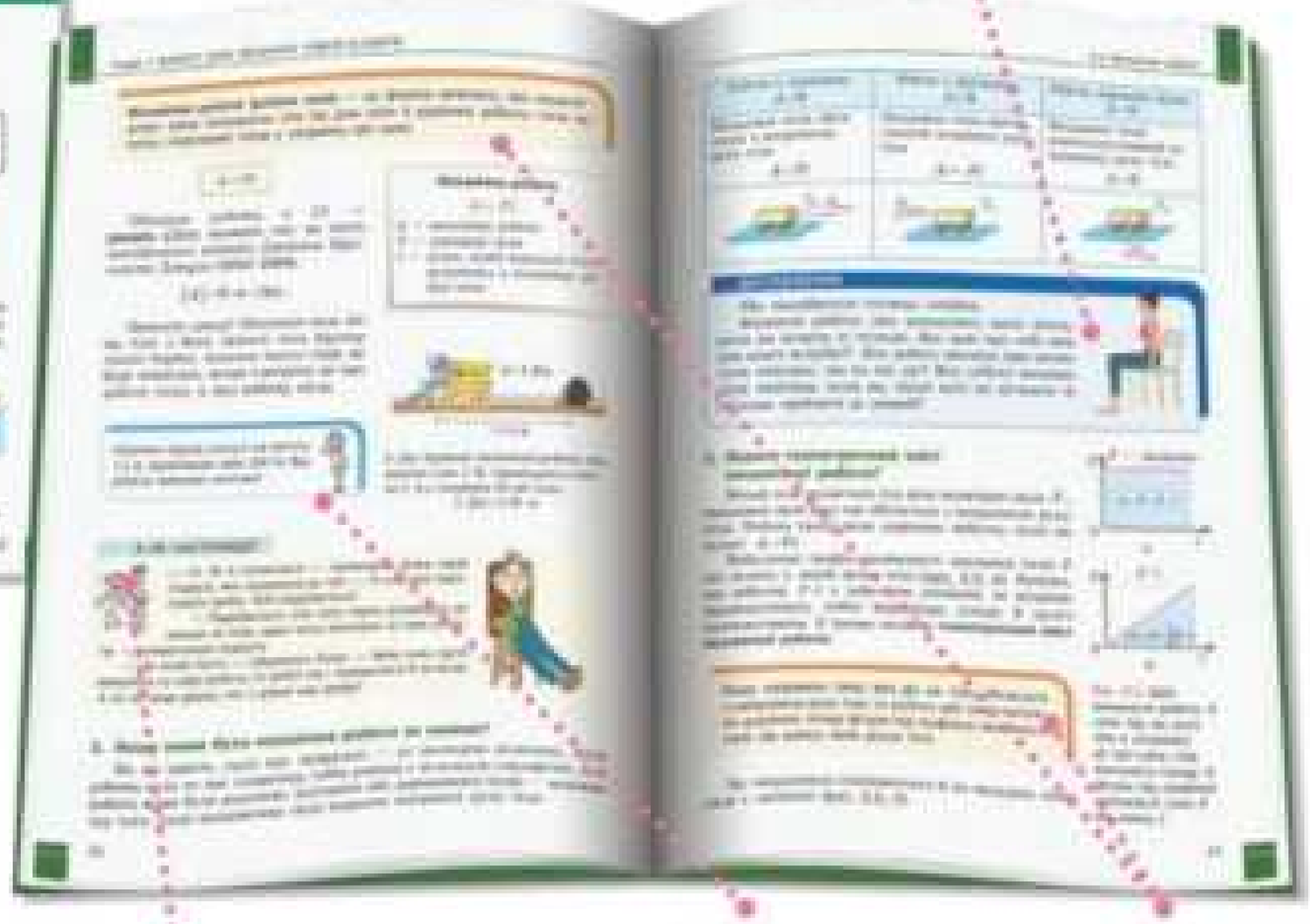
Бажаємо успіхів!

Видавництво «Ранок»

ПЕРЕКИДАЄМО МІСТОК ВІД ВІДОМОГО ДО НЕВІДОМОГО

Питання для обговорення для мотивації навчальної діяльності

Дослідження із застосуванням підручних засобів



Приклади практичного застосування фізики

Запитання для обмірковування

Означення

Завдання для розвитку критичного мислення

Опорні конспекти

Інтерактивний електронний додаток до підручника

Тематичне узагальнення

Завдання і задачі

Алгоритми та приклади розв'язування фізичних задач

Пошуково-дослідницькі завдання

РОЗДІЛ 1

МОМЕНТ СИЛИ. МЕХАНІЧНА РОБОТА ТА ЕНЕРГІЯ

Ви знаєте, що для отримання виграшу в силі людина використовує прості механізми, а дізнаєтеся, на яких законах ґрунтується дія цих механізмів і як можна збільшити їх коефіцієнт корисної дії

Ви знаєте, як виміряти силу і шлях, а з'ясуєте, як визначити роботу і розрахувати потужність

Ви знаєте, що існують механічна, електрична, атомна енергії, а дізнаєтесь, яку енергію має тіло, що рухається, а яку — тіло, що взаємодіє

Фото: Національний олімпійський комітет України

§ 1. ПРОСТІ МЕХАНІЗМИ. ПОХИЛА ПЛОЩИНА

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. На заставці до параграфа ви можете побачити майже всі види простих механізмів, що їх використовують люди протягом тисяч років. Чому, на вашу думку, ці пристрої виявилися такими «стійкими»? Згадайте, які прості механізми є у вас удома.

1. Для чого призначені прості механізми?

Багато пристроїв, якими ми постійно користуємося в побуті, є *простими механізмами*.

Двері діють як *важіль*, *гвинти* запобігають розвалюванню меблів, а жалюзі опускають за допомогою *блока*. Перевезти важке тіло можна на візку з *колесами*; витягнути з криниці відро з водою допомагає *коловорот*.

Колесо на осі, похила площина, важіль, блок, гвинт, клин, коловорот — усе це прості механізми.

Рис. 1.1. За допомогою простих механізмів можна змінити: напрямок сили (*а*); значення сили (*б*); значення й напрямок сили одночасно (*в*)

Прості механізми — це пристрої, призначені для зміни значення та (або) напрямку сили.

Розгляньте рис. 1.1. Як блок флагштока змінює напрямок сили? Збільшується чи зменшується значення прикладеної сили, коли ми відкриваємо кран? Чому ми можемо стверджувати, що коловорот одночасно змінює і значення, і напрямок сили?

Видавництво «Ранок»

Рис. 1.2. Складний механізм м'ясорубки містить декілька простих механізмів

2. Що спільного в роботі простих механізмів?

У повсякденному житті ми постійно користуємося різними пристроями. Це велосипед і тачка, м'ясорубка і міксер, швацька машинка і дриль тощо. Більшість цих пристроїв містять прості механізми, які працюють разом. У тачці використовуються важіль і колеса, до складу м'ясорубки входять гвинт, клин і коловорот (рис. 1.2), а у велосипеді взагалі можна знайти майже всі прості механізми.

Усі прості механізми мають певні *спільні риси*. Якщо простий механізм надає **виграш у силі**, то ми обов'язково отримуємо програш у відстані (рис. 1.3). І навпаки, виграш у відстані супроводжується програшем у силі.

Прості механізми, попри їх різноманіття, можна поділити за принципом дії лише на два види: *похила площина* (різновиди — пандус, клин, гвинт) і *важіль* (різновиди — важіль, блок, коловорот).

Виграш у силі

$$\frac{F_1}{F_2}$$

F_1 — вихідна сила (сила, яку ми створюємо за допомогою простого механізму)

F_2 — прикладена сила

Рис. 1.3. Щоб підняти колесо автомобіля на незначну висоту за допомогою ручного механічного домкрата, людина обертає його ручку, при цьому рука людини долає значну відстань

ДОСЛІДЖЕННЯ

Що знадобиться: гладеньке тіло (пенал, дерев'яний брусок тощо); тонкий довгий гумовий шнур; аркуш картону; стос підручників.

Покладіть картон на підручники так, щоб утворилася похила площина. Поміркуйте, як довести, що тягнути тіло похилою площиною легше, ніж піднімати його. Проведіть дослід. Зробіть висновок щодо призначення похилої площини.

Видавництво «Ранок»

Похила площина — це плоска поверхня, розташована під певним кутом до горизонту.

Рис. 1.4. Похила площина допомагає підняти вантаж. Чим пологішим є ухил, тим легше це зробити

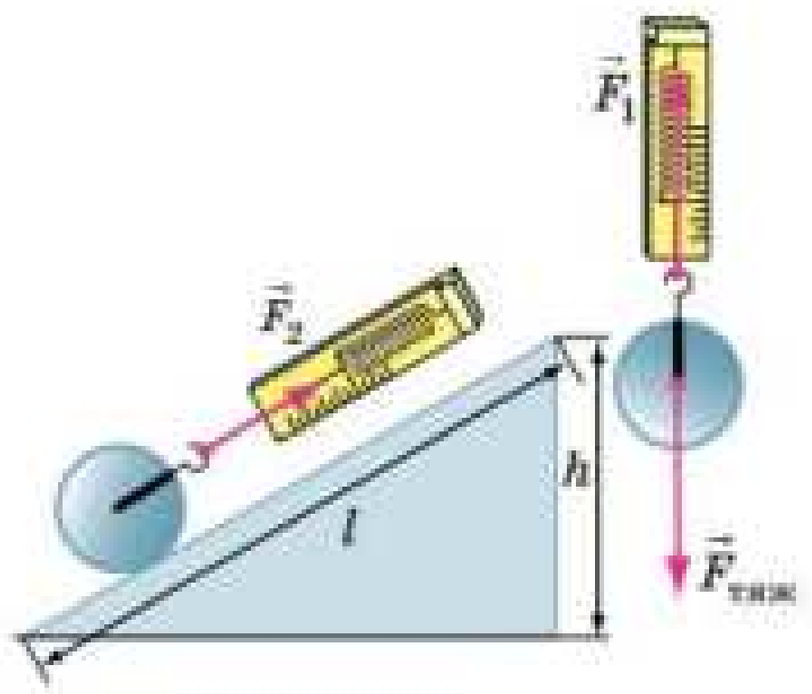


Рис. 1.5. Для підняття тіла похилою площиною потрібна значно менша сила, ніж для підняття цього самого тіла вертикально

Рис. 1.6. Пандус є прикладом використання властивостей похилої площини

3. Для чого призначена похила площина?

За допомогою похилої площини можна піднімати важкі предмети, прикладаючи до них відносно невелику силу (рис. 1.4). Похила площина змінює одночасно значення і напрямок сили. Але *що меншу силу ми прикладаємо, то більшу відстань нам потрібно подолати.*

Нехай потрібно підняти тіло на висоту h. Ми можемо підняти його вертикально, прикладаючи силу $\vec{F}_1$, яка за значенням дорівнює силі тяжіння, або за допомогою похилої площини завдовжки l, прикладаючи силу $\vec{F}_2$ (рис. 1.5). Розрахунки свідчать, що за відсутності тертя ми отримаємо **максимальний виграш у силі:**

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{l}{h}.$$

Властивість похилої площини давати виграш у силі та змінювати напрямок дії цієї сили застосовують у конструкціях сходів, ескалаторів, конвеєрів, пандусів тощо (рис. 1.6).

4. Клин і гвинт — різновиди похилої площини

Щоб полегшити рубання дров, у тріщину колоди встромляють *клин* і б'ють по ньому молотком або обухом сокири (рис. 1.7). Під час удару на клин діють три тіла: зверху — обух сокири, з боків — дві частини колоди. Відповідно клин діє на обух сокири вгору, а на деревину колоди — в боки, тобто розсуває частини колоди. Отже, клин змінює напрямок сили, з якою діє сокира. Окрім того, кожна з двох сил, з якими клин розсуває частини колоди, набагато більша за силу удару сокири.

Видавництво «Ранок»

До речі, сокира — це поєднання важеля (держак) та похилої площини (полотно з лезом).

Різновидом похилої площини також є *гвинт*. Візьмемо трикутник, вирізаний із тонкого картону, та розташуємо його біля циліндра (рис. 1.8). Похилою площиною буде ребро картону. Обгорнувши картонний трикутник навколо циліндра, одержимо гвинтову похилу площину.

Власне, *нарізка гвинта — це похила площина*, яку багато разів обернуто навколо циліндра. Подібно до клина гвинт може змінювати напрямок і значення прикладеної сили. Гвинт використовують у механічних домкратах і підіймачах, м'ясорубці, лещатах, струбцинах, свердлах, шурупах, різьбових кріпленнях тощо.

Рис. 1.7. Клин не тільки дає виграш у силі, а й змінює її напрямок

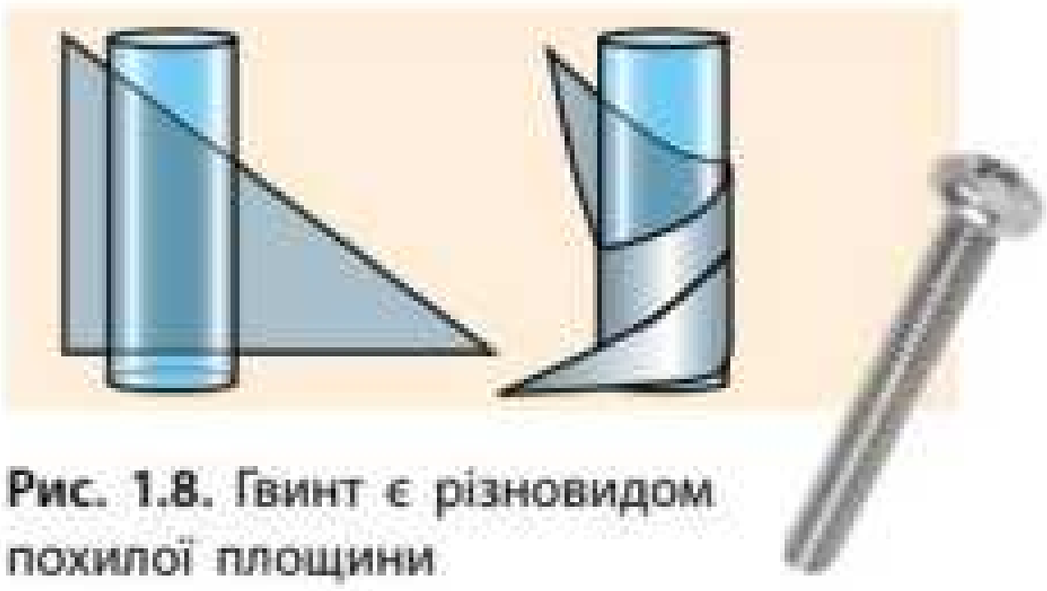


Рис. 1.8. Гвинт є різновидом похилої площини

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

ПРОСТІ МЕХАНІЗМИ — це пристрої, призначені для зміни значення чи напрямку сили або її значення й напрямку одночасно.

Якщо простий механізм надає виграш у силі, то ми обов'язково отримуємо програш у відстані; і навпаки, виграш у відстані супроводжується програшем у силі.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Для чого використовують прості механізми? 2. Які є види простих механізмів? 3. Назвіть різновиди похилої площини та важеля. Наведіть приклади їх застосування. 4. Які спільні риси мають прості механізми? 5. За якою формулою визначають виграш у силі?

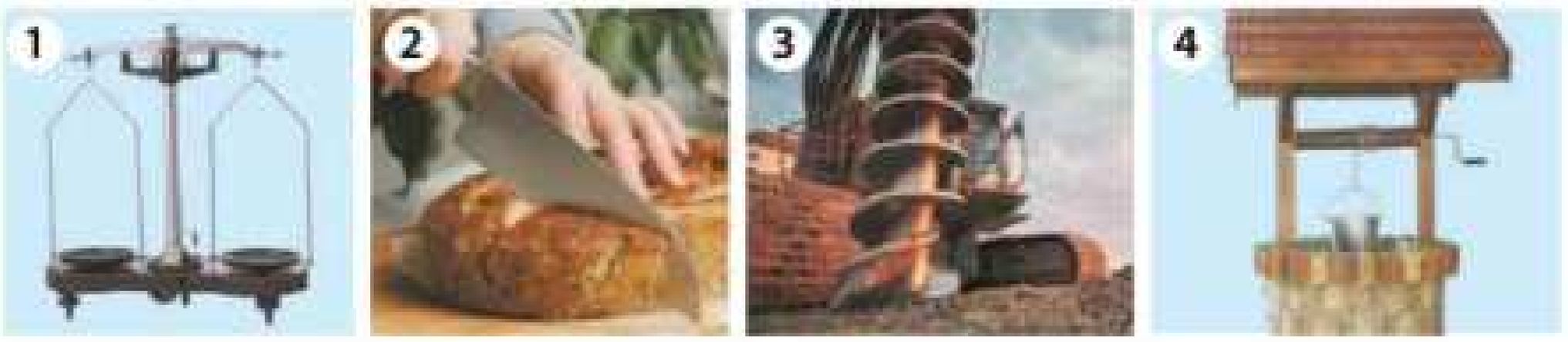
Видавництво «Ранок»

ВПРАВА № 1

Рис. 1

1. Який простий механізм використовують для завантаження багажу в літак (рис. 1)? Що змінює цей механізм?

2. Установіть відповідність між зображенням простого механізму (1–4) та його назвою (А–Д).



А Блок Б Важіль В Клин Г Коловорот Д Гвинт

Рис. 2

3. Які властивості похилої площини ми використовуємо, піднімаючись гірським «серпантином»?

4. Які прості механізми входять до складу ножиць? до складу бура (рис. 2)?

5. Який максимальний виграш у силі дає похила площина, якщо за її допомогою рівномірно піднімають тіло масою 80 кг на висоту 2 м, прикладаючи силу 400 Н? Якою є довжина цієї похилої площини?

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...

Будь-яке будівництво починається з фундаменту, який утримує споруду від зсуву або руйнування. Фундамент зазвичай створювали з великих каменів або з не менш важкого залізобетону. Сучасні будинки завдяки новим матеріалам стали значно легшими. Невже їм теж потрібні важкі фундаменти? На допомогу прийшов один із простих механізмів, а саме геошуруп. Геошурупи схожі на звичайні шурупи, ось тільки їхня довжина сягає декількох метрів. Геошурупи заглиблюють у землю, і на таких гвинтових палях надійно тримається будинок.

Ключові терміни

Прості механізми • Похила площина • Важіль • Клин • Гвинт

rnk.com.ua/
110472

§ 2. ВАЖІЛЬ. МОМЕНТ СИЛИ. УМОВА РІВНОВАГИ ВАЖЕЛЯ

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Припустимо, що ви хочете погойдатися на гойдалці разом із малюком. Куди вам краще сісти, щоб було зручніше гойдатися? Чому?

1. Як часто ми маємо справу з важелем?

Ви добре знаєте, що важке тіло підняти значно легше, якщо просунути під нього міцний стрижень — лом. Лом, криничний журавель, лопата (рис. 2.1) — усе це приклади застосування *важеля* — *простого механізму*, яким людина користується протягом тисяч років.

Важіль — це тверде тіло, яке може обертатися навколо нерухомої осі — осі обертання.

Зображення важеля можна знайти на скелях і в печерах, на стінах стародавніх храмів, у папірусах. І сьогодні приклади застосування важеля ми бачимо всюди. Зазвичай важіль використовують для того, щоб отримати виграш у силі.

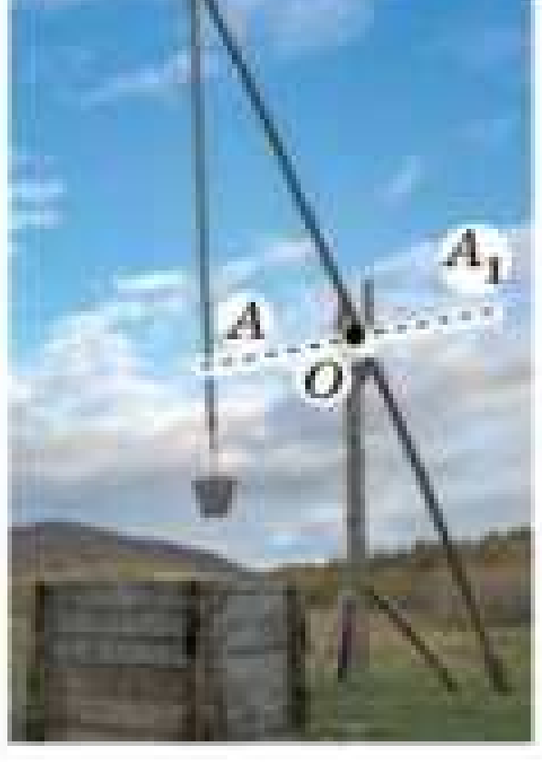


Рис. 2.1. Важіль — один із найдавніших простих механізмів. Тут AA_1 — вісь обертання; O — точка опори

Розкажіть за рисунками про застосування важелів. Спробуйте навести інші приклади.

2. Правило важеля

Візьмемо лабораторний важіль і за допомогою дротяних гачків підвісимо до нього тягарці. Зрівноважимо важіль, пересуваючи гачки й змінюючи *плечі сил* (рис. 2.2).

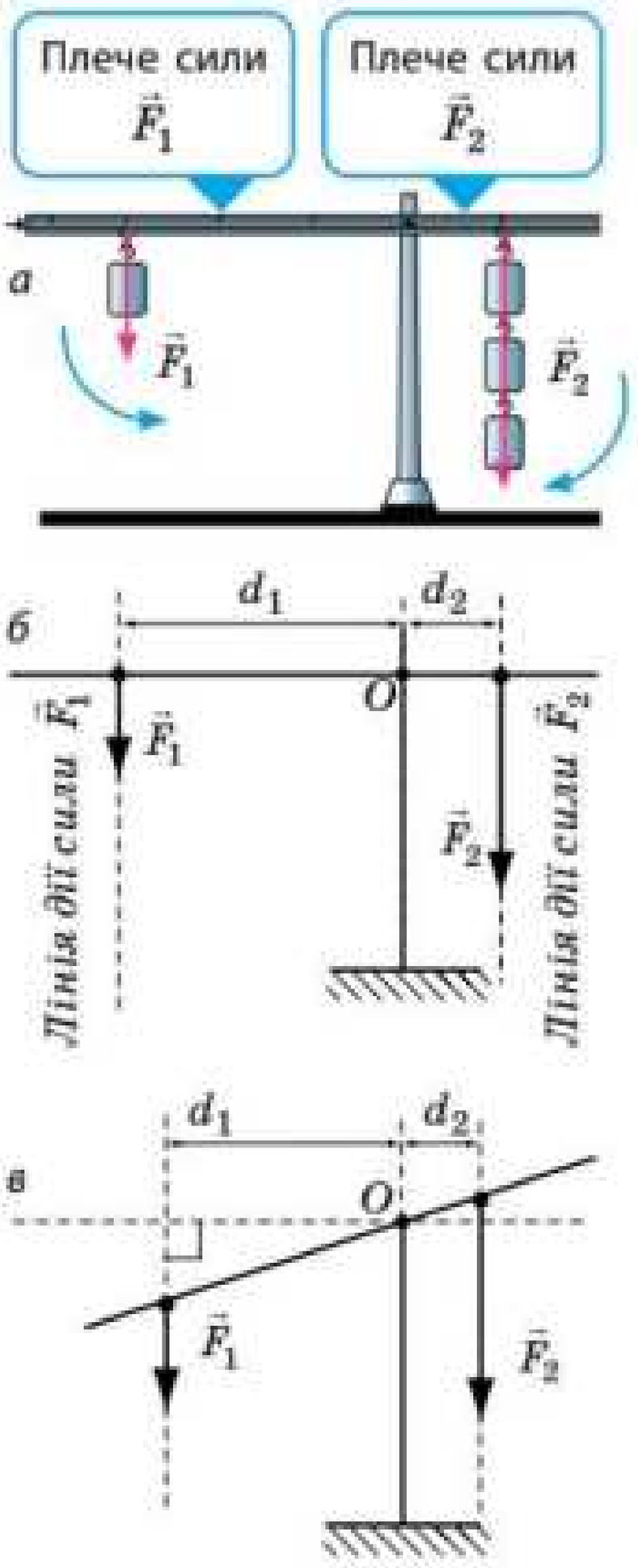


Рис. 2.2. Щоб знайти плече сили, слід від точки опори провести перпендикуляр до лінії дії сили. Тут O — точка опори; d_1 — плече сили $\vec{F}_1$; d_2 — плече сили $\vec{F}_2$

Плече d сили — це найменша відстань від осі обертання важеля до лінії, уздовж якої сила діє на важіль.

Важіль перебуває в рівновазі, якщо значення сил, що діють на плечі важеля, обернено пропорційні плечам цих сил:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{d_2}{d_1}$$

Одержана рівність має назву **умова рівноваги важеля**, або **правило важеля.**

Зверніть увагу: сили $\vec{F}_1$ і $\vec{F}_2$, які діють на плечі важеля, прагнуть обертати його в протилежних напрямках: сила $\vec{F}_1$ — проти ходу годинникової стрілки, сила $\vec{F}_2$ — за ходом годинникової стрілки.

А ЯК НАСПРАВДІ?

Правило важеля встановив давньогрецький учений *Архімед*. За легендою, саме він сказав: «*Дайте мені точку опори — і я переверну Землю*». А чи справді Архімед, «знайшовши точку опори», пересунув би Землю бодай на 1 см?

Гравюра з книжки П'єра Варіньона про механіку (1787 р.)

3. Що називають моментом сили? Правило моментів

Скориставшись властивістю пропорції, запишемо правило важеля інакше: $F_1 d_1 = F_2 d_2$. В обох частинах рівності маємо добуток сили на її плече — *момент сили*.

Момент сили — фізична величина, що характеризує обертальну дію сили й дорівнює добутку сили, яка діє на тіло, на плече цієї сили:

$$M = Fd$$

Момент сили

$$M = Fd$$

M — момент сили
F — значення сили
d — плече сили

Одиниця моменту сили в СІ — **ньютон-метр:** $[M] = \text{Н} \cdot \text{м}$.

Сила 1 Н *створює момент сили* 1 Н·м, *якщо плече сили дорівнює* 1 м.

Отже, **умову рівноваги важеля** під дією двох обертальних сил можна сформулювати так: *важіль перебуває в рівновазі, якщо момент сили, яка обертає важіль проти ходу годинникової стрілки, дорівнює моменту сили, яка обертає важіль за ходом годинникової стрілки:*

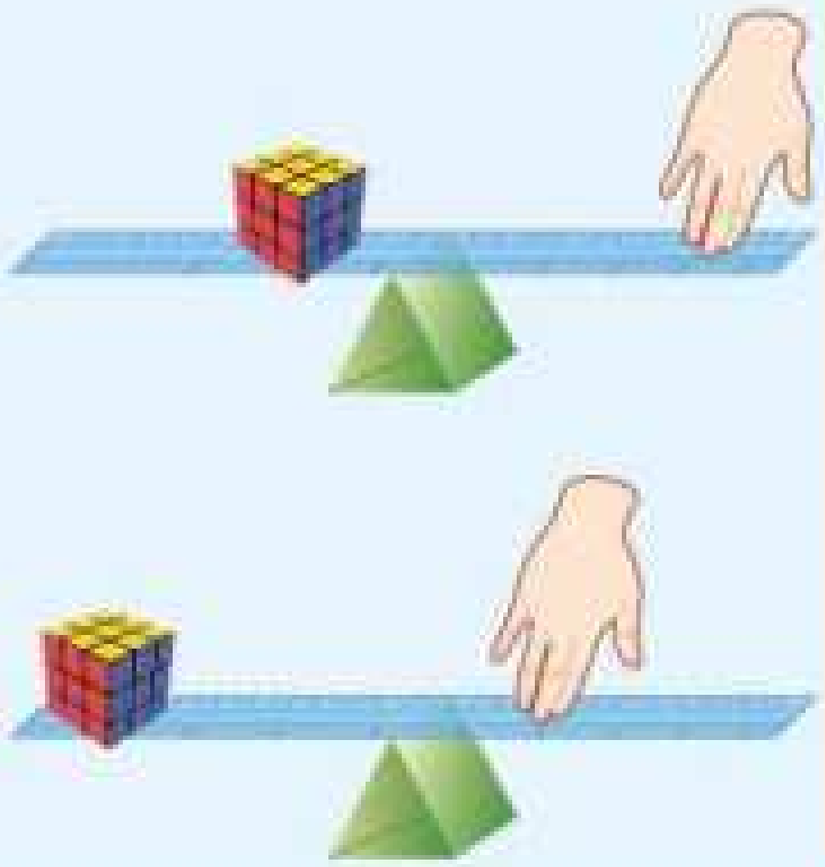
$$M_1 = M_2$$

ДОСЛІДЖЕННЯ

Що знадобиться: довга лінійка; олівець (або інше тіло для опори); невелике важке тіло.

Розмістить лінійку на опорі. Ближче до опори покладіть вантаж. Натисніть рукою на інший кінець лінійки (далі від опори) — ви легко втримаєте вантаж.

Розташуйте вантаж далі від опори, а руку — ближче. Чому тепер ви змушені прикладати більше зусиль, адже вантаж залишився той самий?



Найчастіше на важіль діють більше ніж дві сили. У загальному випадку **умова рівноваги важеля (правило моментів)** формулюється так:

Важіль перебуває в рівновазі, якщо сума моментів сил, які обертають важіль проти ходу годинникової стрілки, дорівнює сумі моментів сил, які обертають важіль за ходом годинникової стрілки.

Видавництво «Ранок»

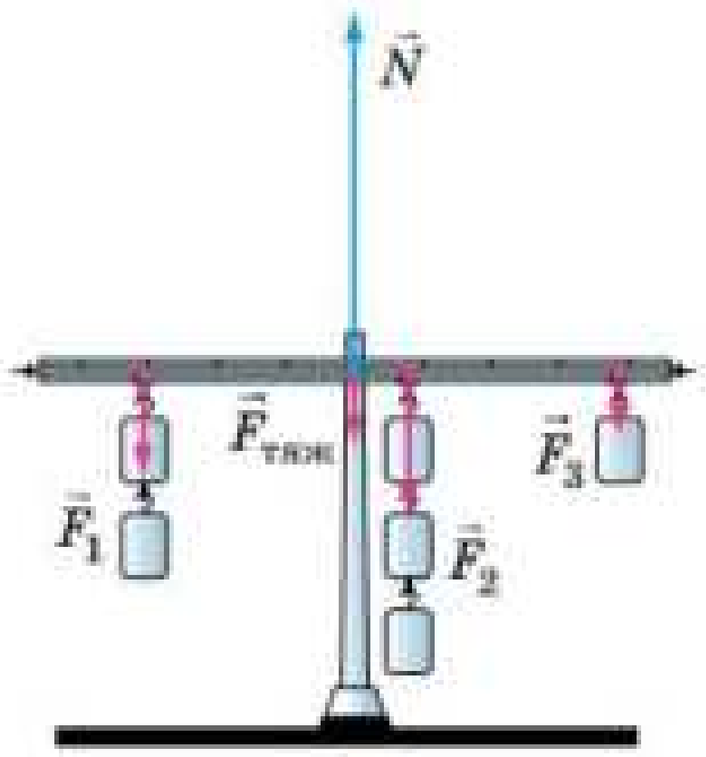


Рис. 2.3. Важіль залишається нерухомим, якщо справджується правило моментів і сили, що діють на важіль, скомпенсовані

Наприклад, коли на плечі важеля діють три сили (рис. 2.3), умова його рівноваги матиме вигляд:

$$M_1 = M_2 + M_3.$$

Зверніть увагу!

1. На важіль (див. рис. 2.3), крім сил $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ і $\vec{F}_3$, які намагаються обертати важіль, діють ще сила тяжіння $\vec{F}_{тяж}$ (важіль має масу) і сила нормальної реакції опори $\vec{N}$. Але плечі цих сил, а отже, їхні моменти дорівнюють нулю, тому ці сили не впливають на обертання важеля.
2. Важіль нерухомий. Це означає, що сили, які діють на важіль, скомпенсовані:

$$F_1 + F_2 + F_3 + F_{тяж} = N.$$

Зрозуміло, що сили будуть скомпенсовані для будь-якого важеля, що перебуває в рівновазі.

4. Чи завжди важіль застосовують для виграшу в силі?

Зазвичай кажуть, що за допомогою важеля можна отримати виграш у силі: наприклад, прикладаючи досить малу силу, можна підняти порівняно важке тіло (рис. 2.4, *а*). *Однак виграш у силі завжди супроводжується програшем у відстані*: плече меншої сили є більшим, тому, коли людина за допомогою важеля піднімає важке тіло навіть на невелику висоту, рука долає значну відстань.

І навпаки, діючи на коротке плече важеля, ми *програємо в силі, проте в стільки ж разів виграємо у відстані* (рис. 2.4, *б*).

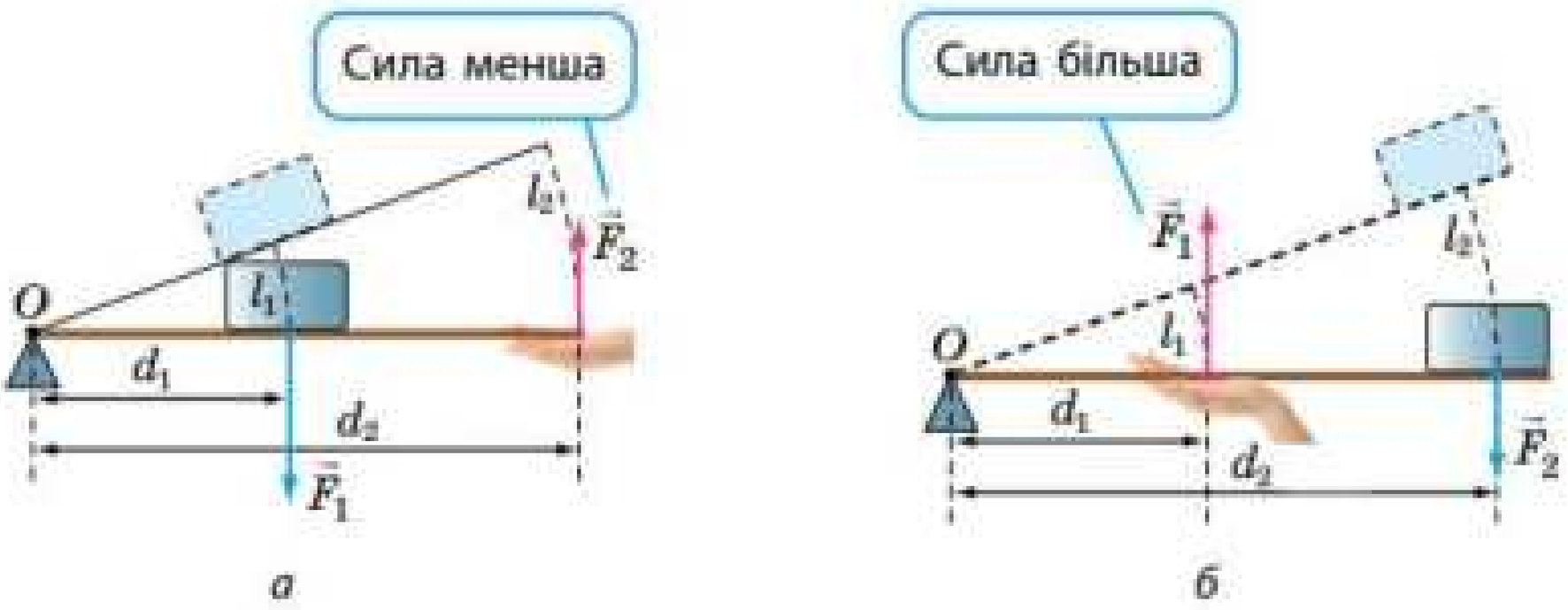


Рис. 2.4. За допомогою важеля можна отримати як виграш у силі (*а*), так і виграш у відстані (*б*): точка прикладання меншої сили ($\vec{F}_2$) завжди проходить більший шлях (l_2), а точка прикладання більшої сили ($\vec{F}_1$) — менший шлях (l_1)

Видавництво «Ранок»

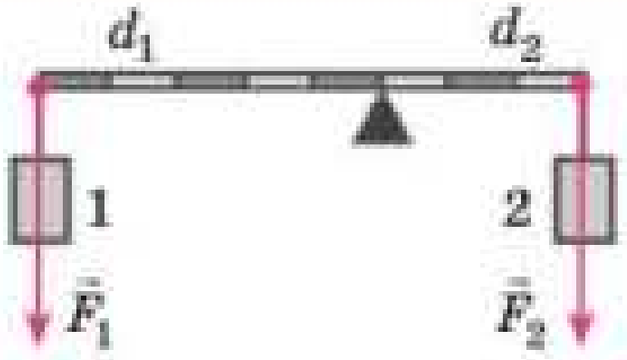
ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...

Острів Пасхи — одне з найзагадковіших місць на Землі. Він розташований майже посередині Тихого океану, за кілька тисяч кілометрів від Великої землі. Найбільшою таємницею острова є сотні величезних кам'яних статуй масою десятки тонн, які з'явилися там приблизно в XVI ст. Навіщо жителі острова їх робили? Навіщо тягли на сотні метрів від місця виготовлення та розміщували вздовж узбережжя? Відповідей досі немає.

Проте є відповідь на те, як переміщували та встановлювали вертикально ці величезні споруди. Норвезький мандрівник *Тур Хеєрдал* у середині XX ст. з'ясував, що місцеві жителі винайшли (скоріш за все, незалежно від жителів Євразії) деякі прості механізми. Статуї котили на стволах дерев, які перекочуються як колеса, а підіймали за допомогою важелів.

5. Учимося розв'язувати задачі

■ Задача. Визначте масу вантажу 1 (див. рисунок), якщо маса вантажу 2 становить 4 кг. Масою важеля знехтуйте. ■



Аналіз фізичної проблеми. На плечі важеля діють дві сили: вага вантажу 1 (сила $\vec{F}_1$) і вага вантажу 2 (сила $\vec{F}_2$). Ці сили намагаються обертати важіль у протилежних напрямках: сила $\vec{F}_1$ — проти ходу годинникової стрілки, сила $\vec{F}_2$ — за ходом годинникової стрілки. Із рисунка бачимо, що плечі цих сил становлять: $d_1 = 5a$, $d_2 = 3a$, де a — довжина одного відрізка. Важіль перебуває в рівновазі, тому можемо скористатися правилом важеля.

Дано:
$m_2 = 4$ кг
$d_1 = 5a$
$d_2 = 3a$

Знайти:
m_1 — ?

Пошук математичної моделі, розв'язання

За правилом важеля: $\frac{F_1}{F_2} = \frac{d_2}{d_1}$.

Оскільки $F_1 = m_1 g$, а $F_2 = m_2 g$, маємо:

$\frac{m_1 g}{m_2 g} = \frac{d_2}{d_1} \Rightarrow \frac{m_1}{m_2} = \frac{d_2}{d_1}$. Отже, $m_1 = m_2 \frac{d_2}{d_1}$.

Перевіримо одиницю, визначимо значення шуканої величини:

$[m_1] = \text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{м}} = \text{кг}$; $m_1 = 4 \cdot \frac{3a}{5a} = \frac{4 \cdot 3}{5} = 2{,}4$ (кг).

Аналіз результату: до меншого плеча важеля підвішено вантаж масою 4 кг, а до більшого плеча — вантаж масою 2,4 кг. Результат є правдоподібним.

Відповідь: $m_1 = 2{,}4$ кг.

Видавництво «Ранок»

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Важіль — це тверде тіло, яке може обертатися навколо нерухомої осі.

Плече сили — найкоротша відстань від осі обертання важеля до лінії дії сили.

Момент сили — фізична величина, яка характеризує обертальну дію сили й дорівнює добутку сили, що діє на тіло, на плече цієї сили.

$$M = Fd$$

$$[M] = \text{Н} \cdot \text{м}$$

Умова рівноваги важеля (правило моментів): важіль перебуває в рівновазі, якщо сума моментів сил, які обертають важіль проти ходу годинникової стрілки, дорівнює сумі моментів сил, які обертають важіль за ходом годинникової стрілки.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що таке важіль? 2. Наведіть приклади застосування важеля. 3. Дайте означення плеча сили. 4. Якою рівністю записують правило важеля? 5. Дайте означення моменту сили. 6. Якою є одиниця моменту сили в СІ? 7. Сформулюйте правило моментів. 8. Чи завжди важіль застосовують для отримання виграшу в силі? Наведіть приклади.

ВПРАВА № 2

У завданнях 1–6, 8 масою важеля знехтуйте.

1. Маса якої людини на рис. 1 є більшою? Поясніть свою відповідь.
2. Розгляньте рис. 2. Який важіль застосовують для виграшу в силі, а який — для виграшу у відстані? Відповідь обґрунтуйте.

Рис. 1

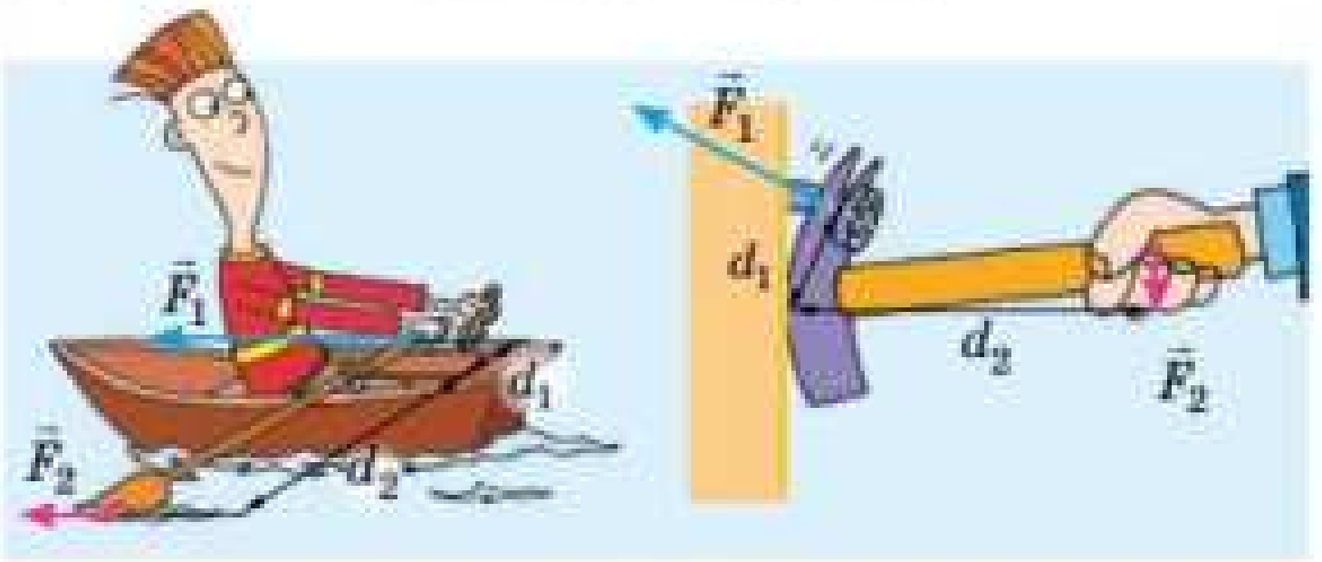


Рис. 2

3. Вага вантажу 1 становить 90 Н (рис. 3). Визначте вагу вантажу 2.

4. Визначте масу вантажу (рис. 4), якщо на правий кінець важеля діє сила 40 Н.

5. Загальна маса вантажів на рис. 5 — 48 кг. Визначте масу кожного вантажу.

6. До кінців тонкого однорідного стрижня завдовжки 2 м підвішено вантажі масами 14 і 26 кг. На якій відстані від середини стрижня слід розмістити опору, щоб стрижень перебував у рівновазі?

7. Розгляньте рис. 6 і поясніть: чому ножиці для різання металу мають довгі ручки, а для різання тканини — короткі; як «працює» гайковий ключ; яким ключем легше відкрутити гайку — з довгою ручкою чи з короткою.

8. Маса вантажу 1 — 10 кг, вантажу 2 — 5 кг (рис. 7). Визначте масу вантажу 3. З якою силою важіль тисне на опору?

9. Розв'яжіть задачу, розглянуту в § 2, урахувавши, що маса важеля — 500 г.

10. Знайдіть відомості про важелі в тілі людини (див., наприклад, рис. 8). Складіть задачу за цими відомостями й розв'яжіть її.

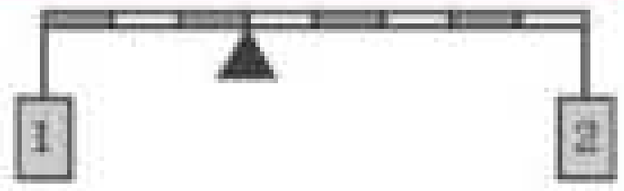


Рис. 3

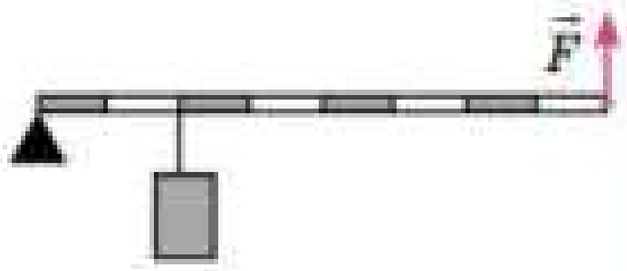


Рис. 4

Рис. 5

Рис. 6

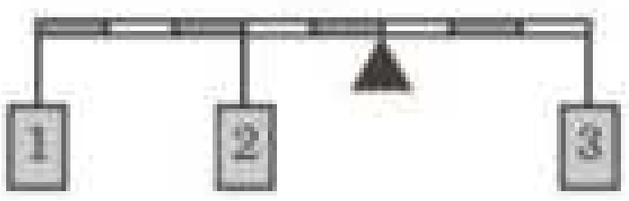


Рис. 7

Рис. 8

Ключові терміни

Важіль · Плече сили · Момент сили · Правило важеля · Правило моментів

Видавництво «Ранок»

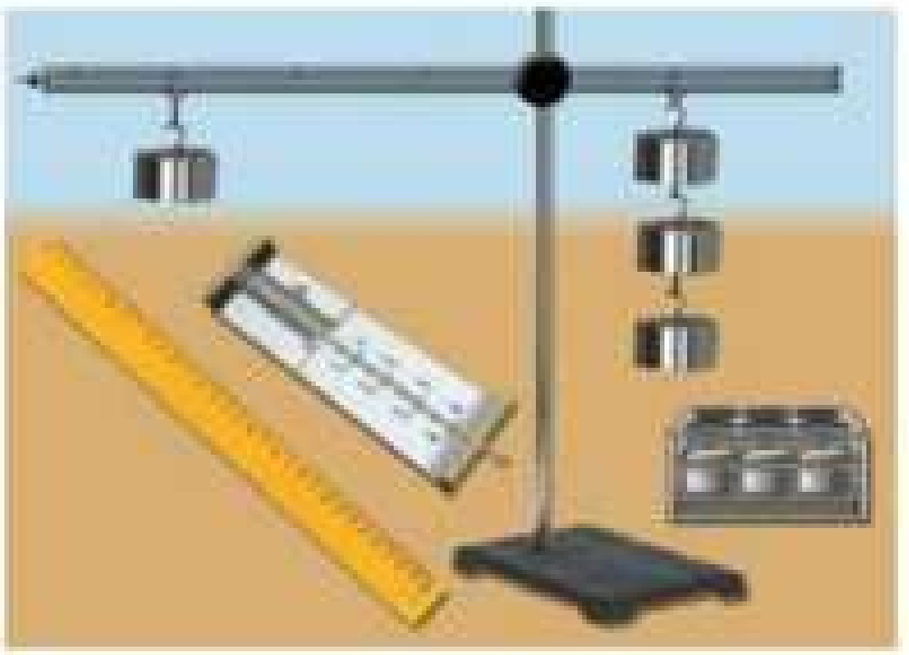
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

rnk.com.ua/110473

Тема. Вивчення умови рівноваги важеля.

Мета: перевірити дослідним шляхом, яким має бути співвідношення сил і їхніх плечей, щоб важіль перебував у рівновазі.

Обладнання: важіль; штатив із муфтою та лапкою; набір тягарців масою по 100 г; динамометр; лінійка.



Вказівки до роботи

Підготовка до експерименту

1. Перед виконанням роботи згадайте відповіді на такі запитання.
   1) Який механізм називають важелем і де застосовують важелі?
   2) Що називають плечем сили?
   3) Що таке момент сили?
2. Визначте ціни поділок шкал вимірювальних приладів.
3. Обчисліть силу, що діє на важіль з боку одного тягарця. Урахуйте, що ця сила дорівнює вазі тягарця.
4. Закріпіть на лапці штатива важіль і зрівноважте його за допомогою регулювальних гайок.

Експеримент

Дотримуйтесь інструкції з безпеки (див. форзац підручника).

Результати вимірювань відразу заносьте до таблиці.

Номер досліду	Проти ходу годинникової стрілки			За ходом годинникової стрілки			$\frac{F_1}{F_2}$	$\frac{d_2}{d_1}$
	F_1, Н	d_1, м	M_1, Н·м	F_2, Н	d_2, Н	M_2, Н·м		

1. Підвісьте з одного боку від осі обертання важеля один тягарець, з іншого боку — два тягарці.
2. Пересуваючи тягарці, зрівноважте важіль (рис. 1).
3. Виміряйте за допомогою лінійки плечі d_1 і d_2 відповідних сил $\vec{F}_1$ і $\vec{F}_2$.

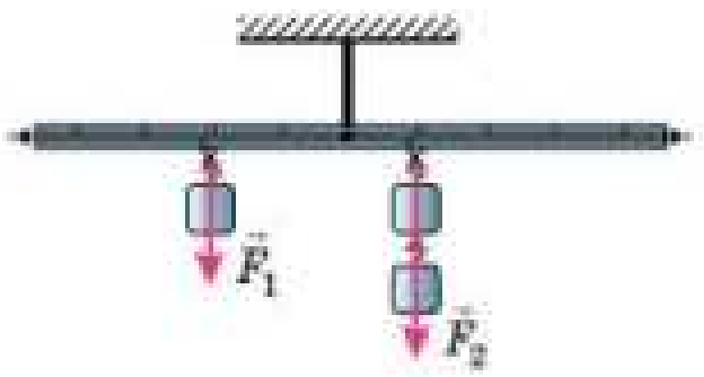


Рис. 1

Видавництво «Ранок»

4. Повторіть дослід, підвісивши на одній половині важеля два, а на іншій — три тягарці (рис. 2).
5. Підвісьте праворуч від осі обертання на відстані 12 см три тягарці (рис. 3). Визначте за допомогою динамометра, яку силу $\vec{F}_1$ потрібно прикласти в точці, що лежить на відстані 8 см правіше від точки підвішення тягарців, щоб утримувати важіль у рівновазі.

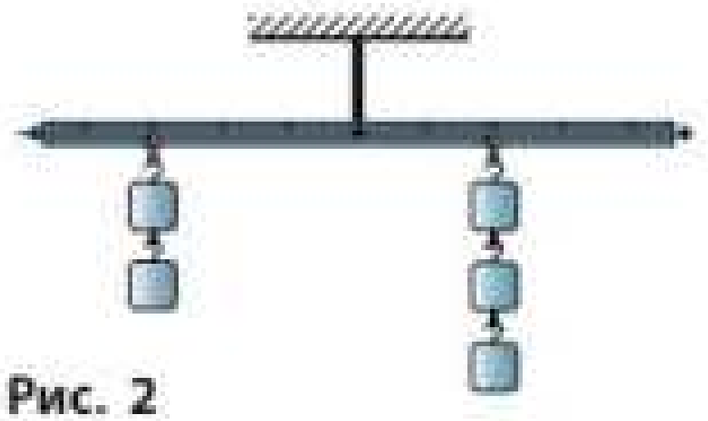


Рис. 2

Опрацювання результатів експерименту

1. Для кожного досліду:
   1) знайдіть відношення сил $\frac{F_1}{F_2}$ і відношення плечей $\frac{d_2}{d_1}$;
   2) обчисліть момент M_1 сили, що повертає важіль проти ходу годинникової стрілки, і момент M_2 сили, що повертає важіль за ходом годинникової стрілки.
2. Закінчіть заповнення таблиці.

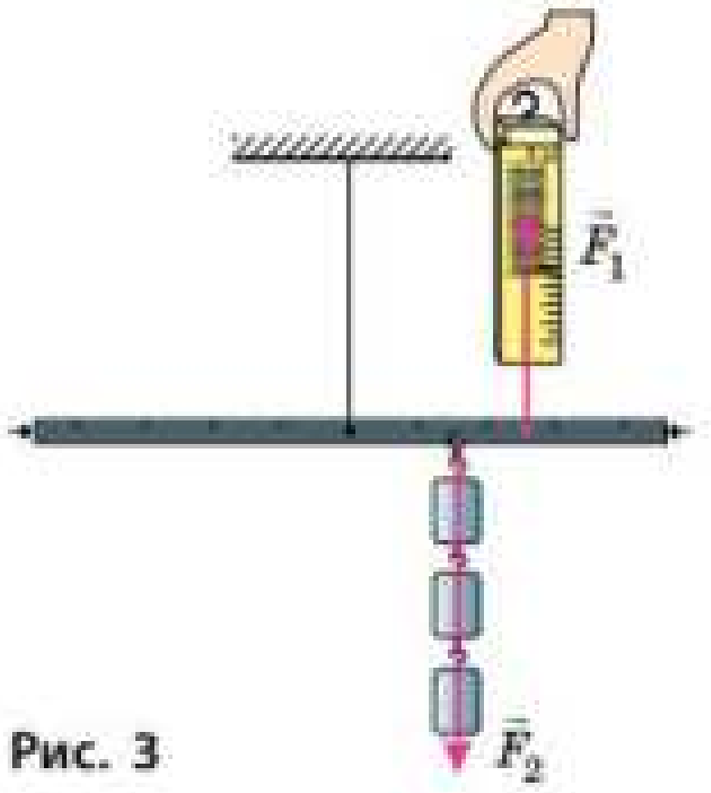


Рис. 3

Аналіз експерименту та його результатів

На підставі проведених дослідів порівняйте: 1) відношення сил, що діють на важіль, і відношення його плечей; 2) момент сили, що повертає важіль за ходом годинникової стрілки, з моментом сили, що повертає важіль проти ходу годинникової стрілки.

Зробіть висновок, у якому: 1) зазначте, чи підтвердили проведені вами експерименти умову рівноваги важеля; 2) проаналізуйте, які чинники вплинули на точність вимірювань.

Творчі завдання

1. Зберіть пристрій, як показано на рис. 4. Виконайте необхідні вимірювання та визначте моменти сил, що діють на важіль. Знайдіть суму моментів сил, що повертають важіль за ходом годинникової стрілки, та суму моментів сил, що повертають важіль проти ходу годинникової стрілки. Зробіть висновок про умову рівноваги важеля в цьому експерименті.

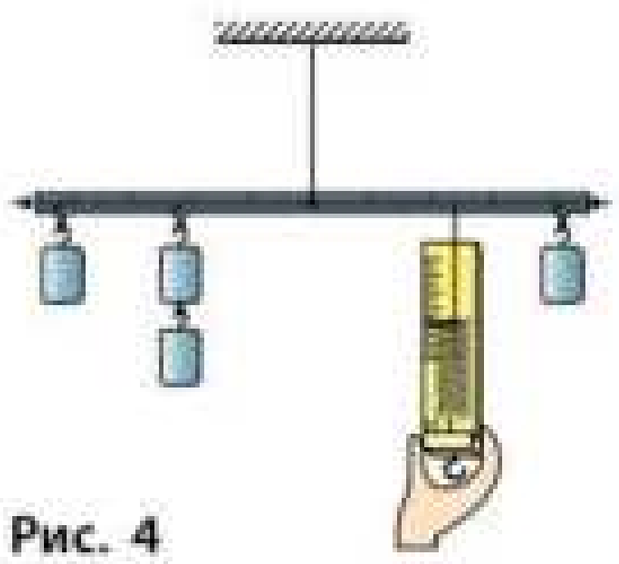
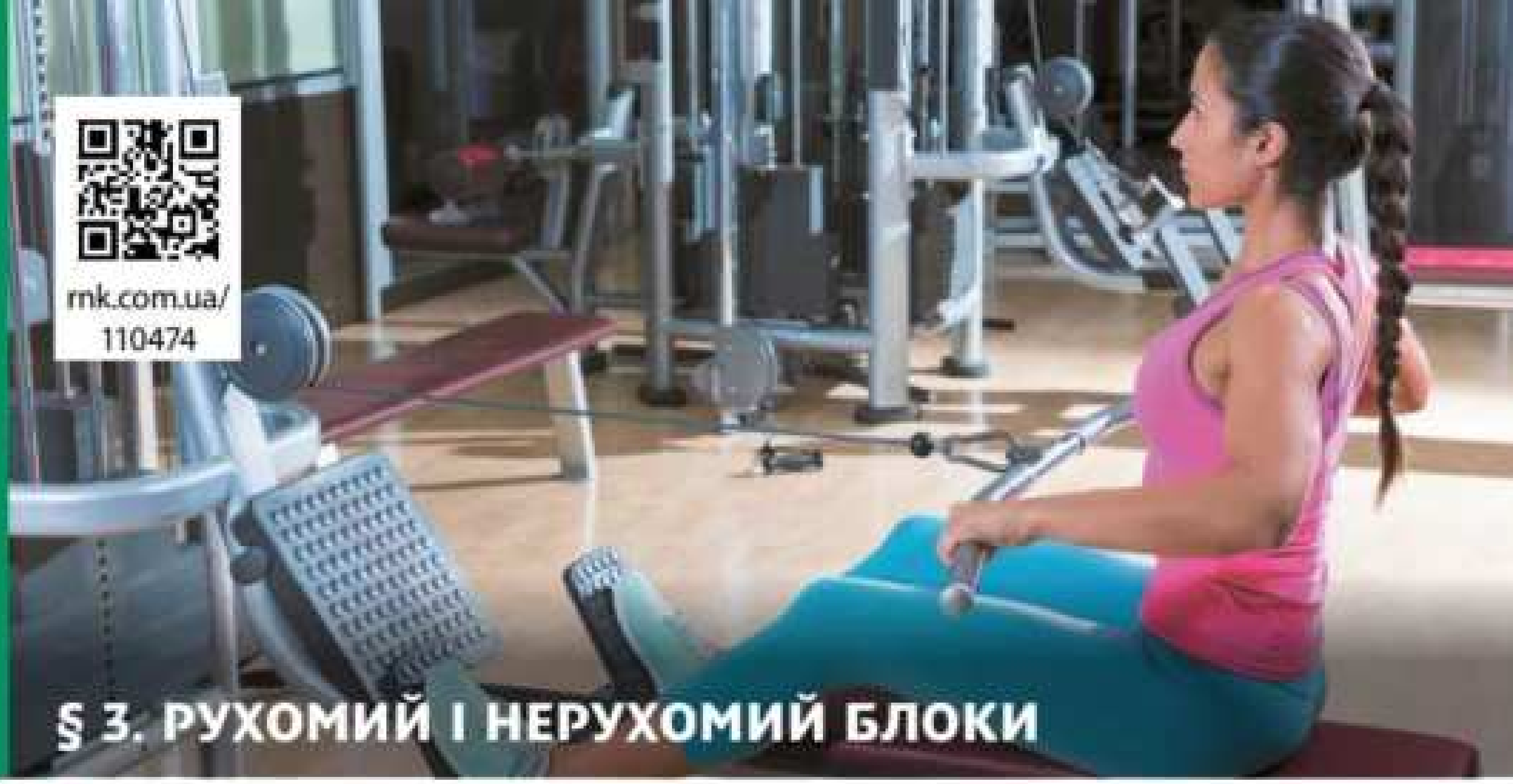


Рис. 4

2. За допомогою олівця та кількох монет виміряйте масу лінійки. Вважайте, що сила тяжіння, яка діє на лінійку, прикладена до її середини. Відомості щодо мас монет, використаних в експерименті, знайдіть в інтернет-ресурсах.

Видавництво «Ранок»



rnk.com.ua/
110474

§ 3. РУХОМИЙ І НЕРУХОМИЙ БЛОКИ

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. На рисунках ви бачите три способи підіймання вантажу. Який спосіб, на вашу думку, найзручніший? Чому?

1. Що спільного між нерухомим блоком і важелем?

За легендою, Архімед за допомогою кількох блоків зміг спустити на воду важке судно, яке не могли зрушити з місця десятки коней. Зараз блоки є в багатьох машинах і механізмах. Чим пояснюється їх широке застосування?

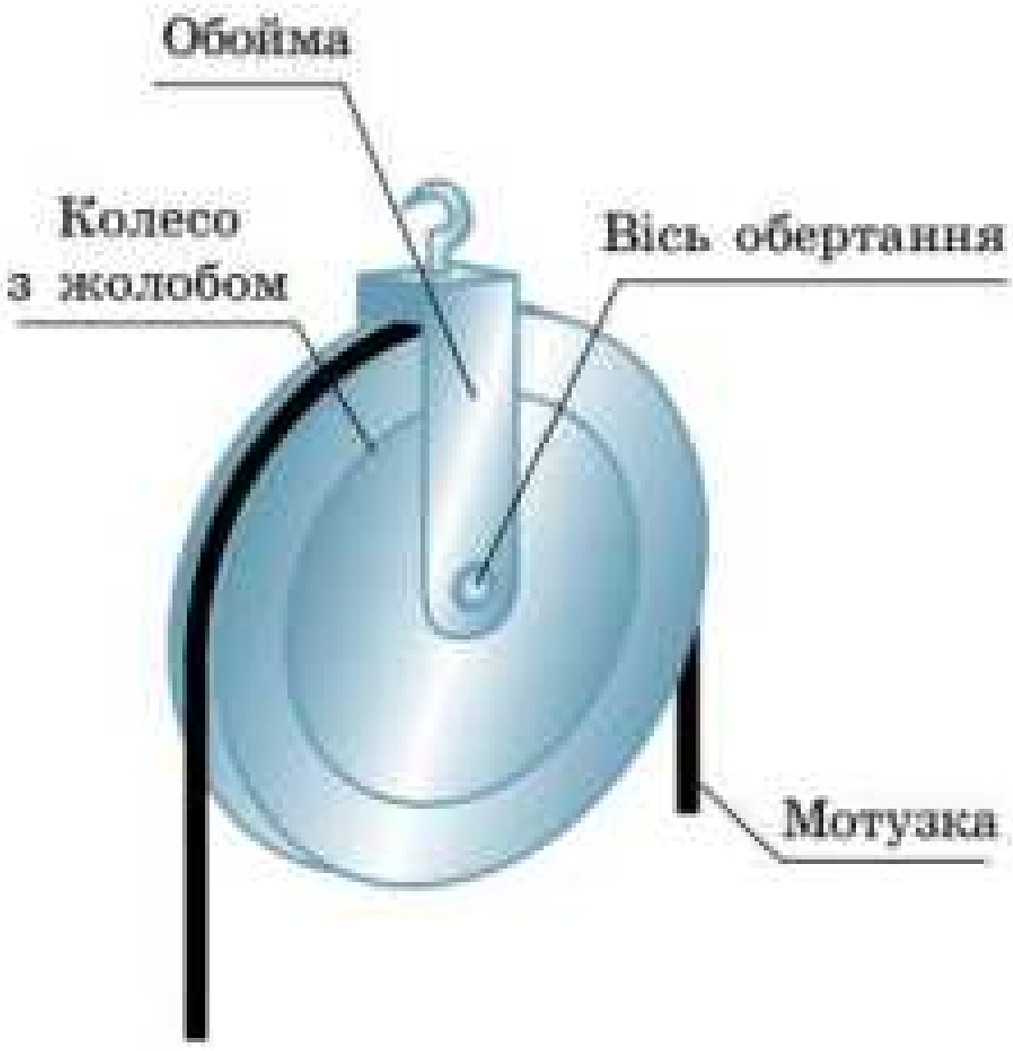


Рис. 3.1. Будова блока

Блок — це простий механізм, що має форму колеса із жолобом, яке може обертатися навколо своєї осі (рис. 3.1).

Якщо вісь блока закріплена, то такий блок називають *нерухомим*. На перший погляд, важіль і нерухомий блок є різними механізмами. Насправді *нерухомий блок — це важіль з однаковими плечима* (рис. 3.2).

На рис. 3.2 зображено нерухомий блок. На мотузку, перекинуту через блок, людина діє із силою $\vec{F}_1$, вантаж — із силою $\vec{F}_2$. Бачимо, що плече d_1 сили F_1 і плече d_2 сили F_2 дорівнюють радіусу R блока:

$$d_1 = OA = R;\ d_2 = OB = R.$$

З умови рівноваги важеля $\left(\frac{F_1}{F_2} = \frac{d_2}{d_1}\right)$ випливає, що $\frac{F_1}{F_2} = \frac{R}{R} = 1$. Тобто

$$\boxed{F_1 = F_2}.$$

Отже, *нерухомий блок не дає виграшу в силі, проте дозволяє змінювати напрямок дії сили* (див., наприклад, рис. 3.2, 3.3).

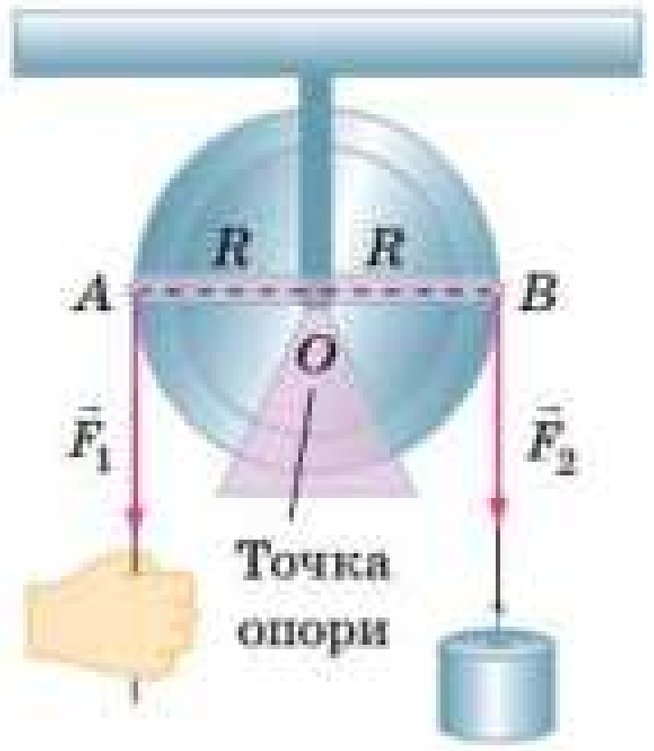
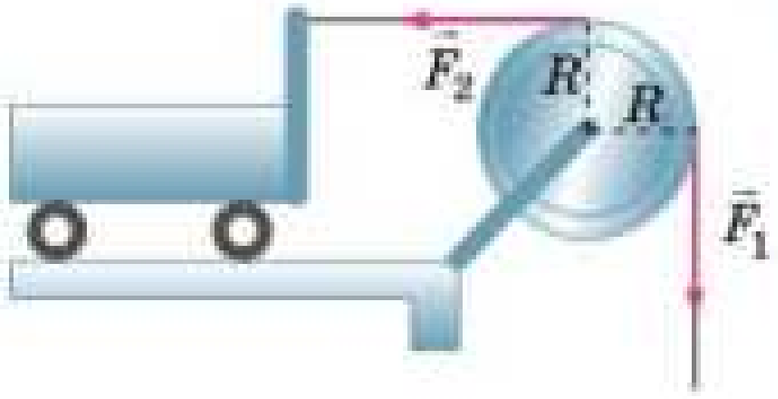


Рис. 3.2. Нерухомий блок подібний до важеля з однаковими плечима

Рис. 3.3. Нерухомі блоки в конструкції кар'єрних екскаваторів, у механізмі канатної дороги та в складі багатьох інших пристроїв дозволяють змінювати напрямок дії сил під різними кутами

Розгляньте рисунок. Куди рухатиметься візок, якщо вільний кінець мотузки потягти вниз? Чи можемо ми стверджувати, що блок, зображений на рисунку, не дає виграшу в силі? Чому?



ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...

Блоки часто асоціюються з будівельними кранами, і ви, мабуть, бачили, як вони з легкістю підіймають, скажімо, тонну вантажу.

А чи знаєте ви, що з-поміж кранів є справжні «чемпіони», але працюють вони не на будівництві, а завантажують і розвантажують кораблі? Такі крани можуть підіймати вантаж масою до 20 тис. тонн! Зазвичай маса п'ятиповерхівки на чотири під'їзди не перевищує 5 тис. тонн. Отже, один кран-«чемпіон» може підняти чотири такі будинки одночасно!

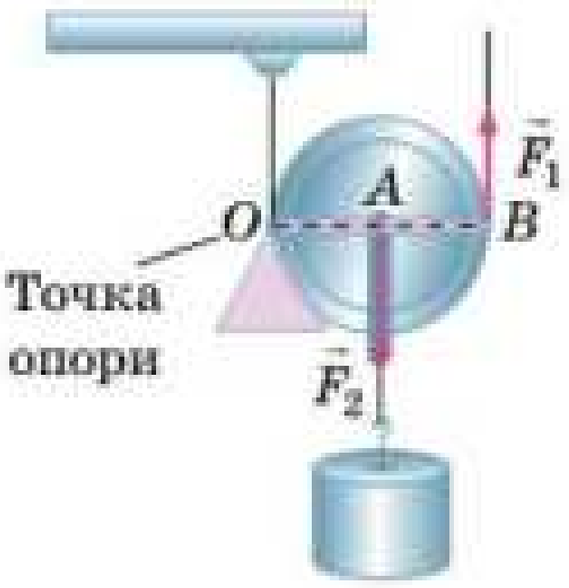


Рис. 3.4. Рухомий блок можна розглядати як важіль із відношенням плечей 1:2

2. Чому рухомий блок дає виграш у силі?

Причепимо вантаж до обойми блока та закріпимо один кінець мотузки (рис. 3.4). Якщо тепер тягнути вільний кінець мотузки, то блок підніматиметься разом із вантажем. Такий блок називають *рухомим*.

Рухомий блок можна розглядати як важіль, що обертається навколо осі, яка проходить через точку опори O (див. рис. 3.4). Із рисунка бачимо:

- плече d_1 сили $\vec{F}_1$, з якою тягнуть мотузку, дорівнює діаметру блока, тобто двом його радіусам:

$$d_1 = OB = 2R;$$

- плече d_2 сили $\vec{F}_2$, з якою вантаж діє на блок, дорівнює радіусу блока:

$$d_2 = OA = R.$$

За умовою рівноваги важеля:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{R}{2R} = \frac{1}{2}, \text{ або } \boxed{F_1 = \frac{F_2}{2}}$$

Отже, *використання рухомого блока дає змогу отримати виграш у силі у 2 рази.*

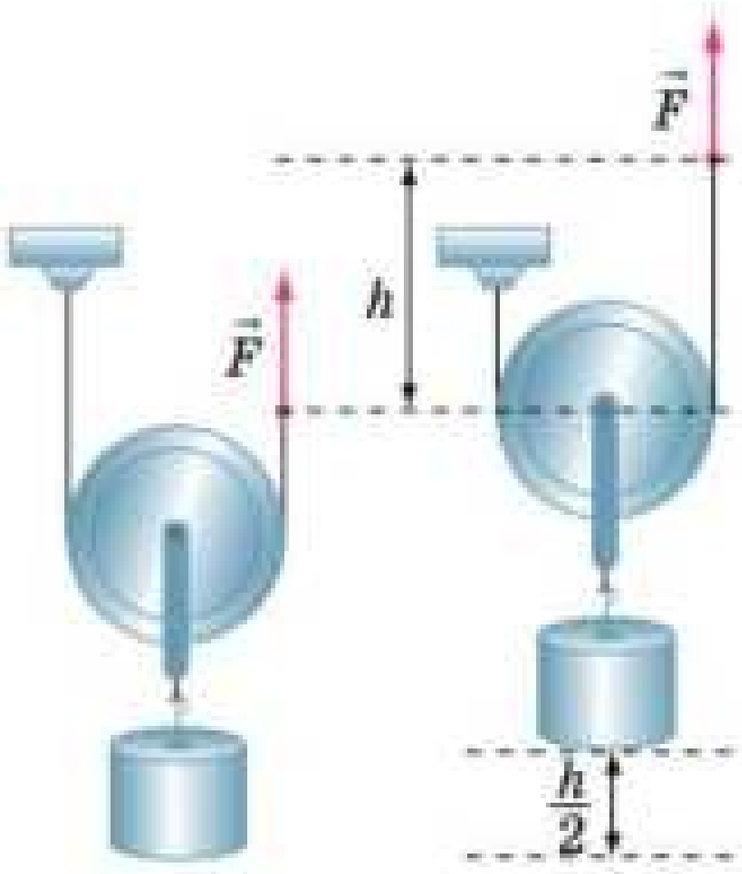


Рис. 3.5. Щоб за допомогою рухомого блоку підняти вантаж на висоту $\frac{h}{2}$, вільний кінець мотузки слід підняти на висоту h

Виграш у силі буде супроводжуватися таким самим програшем у відстані: якщо вільний кінець мотузки підняти на висоту h, то блок разом із вантажем піднімуться лише на висоту $\frac{h}{2}$ (рис. 3.5).

Зверніть увагу!

1. Рухомий блок, як і важіль, використовують не лише для одержання виграшу в силі, але й для одержання виграшу у відстані (або виграшу у швидкості руху). Для цього тіло причіплюють до вільного кінця мотузки, а тягнуть за обойму (рис. 3.6).
2. Нерухомі та рухомі блоки, як правило, використовують одночасно — як систему блоків.

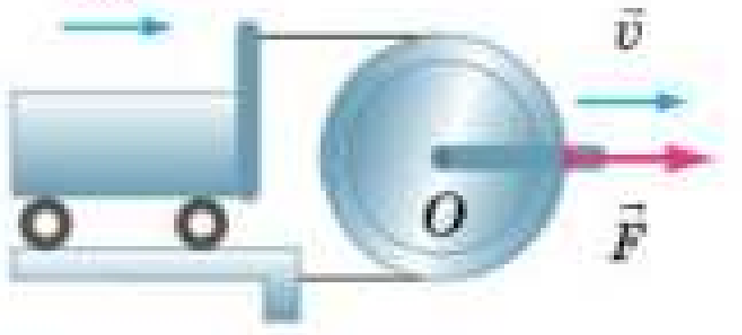
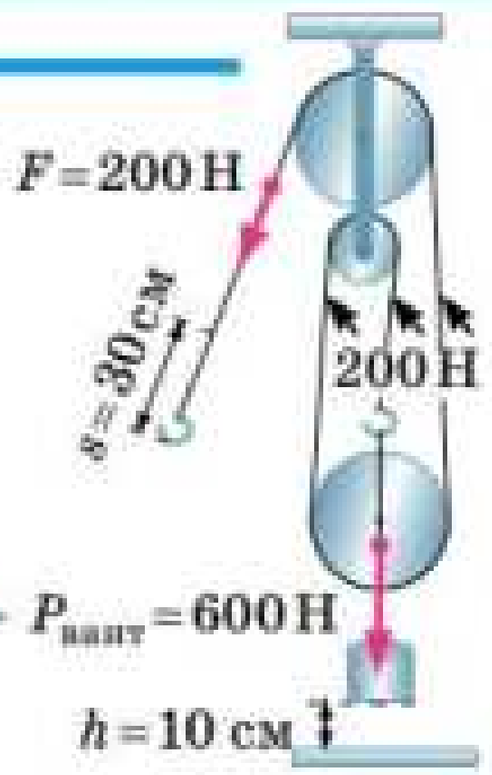


Рис. 3.6. Якщо точку прикладання сили $\vec{F}$ переміщувати з певною швидкістю $\vec{v}$, то візок рухатиметься удвічі швидше

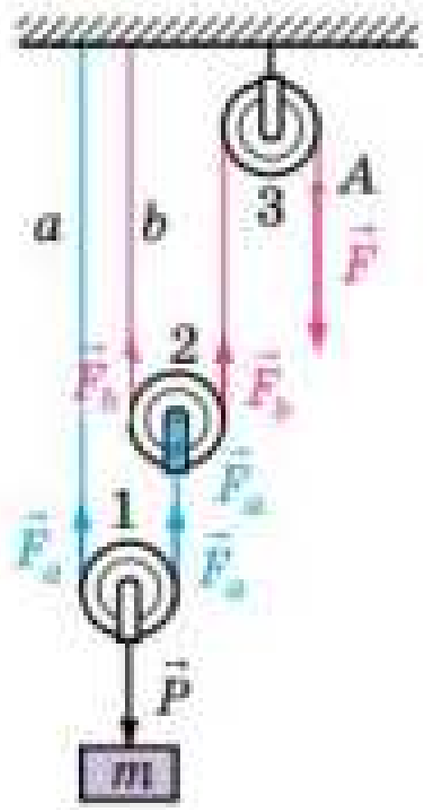
Видавництво «Ранок»

Як ви вважаєте, чи дозволяє зображена на рисунку система блоків змінити напрямок дії сили? Який виграш у силі одержують? Порівняйте виграш у силі з кількістю рухомих блоків у системі. Чи можна за допомогою даної системи отримати виграш у швидкості руху? Якщо так, то який і як це зробити?



3. Учимося розв'язувати задачі

■ **Задача.** На рисунку зображено систему блоків. Якими є сили натягу мотузок *a* і *b*, якщо маса вантажу 20 кг? Який виграш у силі дає ця система? На яку відстань h_A опуститься точка *A*, якщо вантаж підніметься на 10 см? Масою блоків і силою тертя знехтуйте. ■



Аналіз фізичної проблеми. Система складається з двох рухомих блоків (1 і 2) та одного нерухомого блока (3). Для визначення виграшу в силі порівняємо вагу *P* вантажу та силу *F*, прикладену до вільного кінця мотузки.

Урахуємо, що, вигравши в силі, ми в стільки ж разів програємо у відстані.

Дано:
$m = 20$ кг
$h = 10$ см
$g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$

Знайти:
F_a — ?
F_b — ?
$\frac{P}{F}$ — ?
h_A — ?

Пошук математичної моделі, розв'язання

Знайдемо вагу вантажу:

$$P = mg = 20 \text{ кг} \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} = 200 \text{ Н}.$$

Сили, що діють на рухомий блок 1, скомпенсовані, отже: $2F_a = P \Rightarrow F_a = \frac{P}{2} = \frac{200 \text{ Н}}{2} = 100 \text{ Н}.$

Сили, що діють на рухомий блок 2, теж скомпенсовані, тому: $2F_b = F_a \Rightarrow F_b = \frac{F_a}{2} = \frac{100 \text{ Н}}{2} = 50 \text{ Н}.$

Сила *F* є силою натягу мотузки *b*: $F = F_b = 50$ Н.

Тому виграш у силі становить: $\frac{P}{F} = \frac{200 \text{ Н}}{50 \text{ Н}} = 4$.

У скільки разів ми виграли в силі, у стільки ж разів програли у відстані: $h_A = 4h = 40$ см.

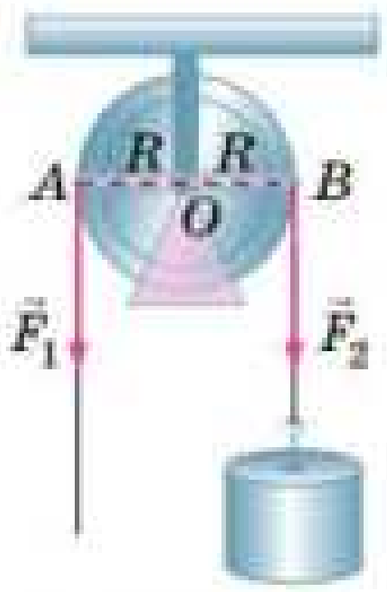
Аналіз результату. У системі два рухомі блоки, і кожний дає виграш у силі у 2 рази, тому загальний виграш у силі дорівнює 4. Результат реальний.

Відповідь: $F_a = 100$ Н; $F_b = 50$ Н; виграш у силі — 4; $h_A = 40$ см.

Видавництво «Ранок»

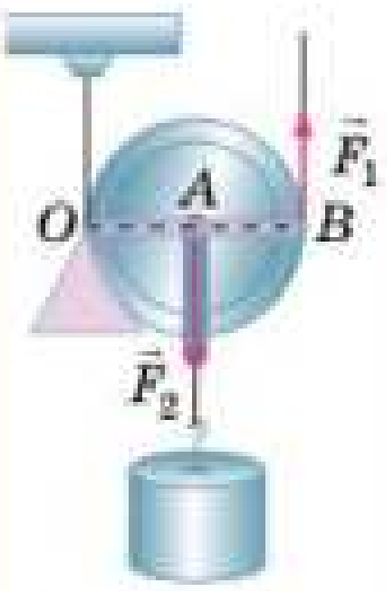
ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Блок — це простий механізм, що має форму колеса із жолобом, яке може обертатися навколо своєї осі.



Нерухомий блок

Нерухомий блок подібний до важеля з однаковими плечима, він *не дає виграшу в силі, проте дозволяє змінювати напрямок дії сили.*



Рухомий блок

Рухомий блок подібний до важеля, в якого відношення плечей становить 1:2, він *дає виграш у силі у 2 рази. Але це супроводжується програшем у відстані у 2 рази.*

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Опишіть нерухомий блок. 2. Чому нерухомий блок не дає виграшу в силі? 3. Для чого використовують нерухомий блок? 4. Опишіть рухомий блок. 5. Який виграш у силі дає рухомий блок? 6. Що означає вираз: «Рухомий блок дає програш у відстані у 2 рази»? 7. Як за допомогою рухомого блока отримати виграш у швидкості руху? 8. Як за допомогою блоків отримати виграш у силі більше ніж у 2 рази?

ВПРАВА № 3

У завданнях 1, 2, 4, 5 масою блоків і дією сили тертя знехтуйте.

1. Розгляньте рис. 1. Який блок зображений на рисунку? На скільки підніметься вантаж, якщо вільний кінець мотузки витягти вгору на 10 см? З якою силою F тягнуть мотузку, якщо вага вантажу 60 Н?

2. Кінець мотузки тягнуть із силою 40 Н (рис. 2). Якою є маса вантажу? На скільки підніметься вантаж, якщо витягти мотузку на 24 см?

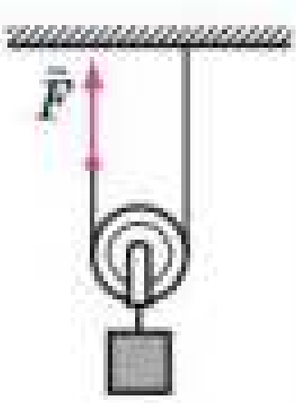


Рис. 1

3. Яку силу F треба прикласти до вільного кінця мотузки (див. рис. 2), щоб підняти вантаж масою 100 кг, якщо маса рухомого блока становить 2 кг? Вважайте, що тертя в осях відсутнє.

4. З якою швидкістю рухається вантаж (рис. 3), якщо блок піднімається зі швидкістю 0,3 м/с? Яка маса вантажу, якщо сила, прикладена до блока, дорівнює 100 Н?

5. Вантаж масою m утримується за допомогою системи блоків (рис. 4). Визначте силу натягу кожної мотузки.

6. У системі на рис. 5 маса вантажу 3 дорівнює 1 кг, маса кожного блока — 100 г. Система зрівноважена та нерухома. Знайдіть маси вантажів 1 і 2. Масою мотузки й тертям у блоках знехтуйте.

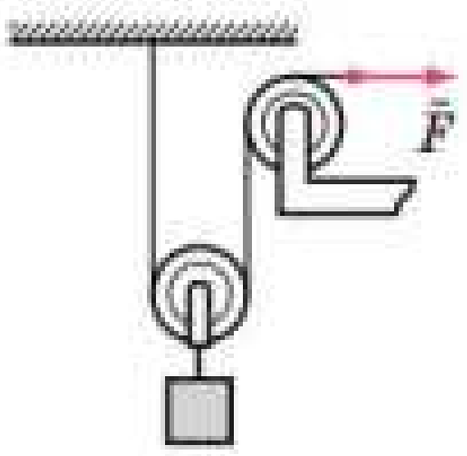


Рис. 2

Рис. 3

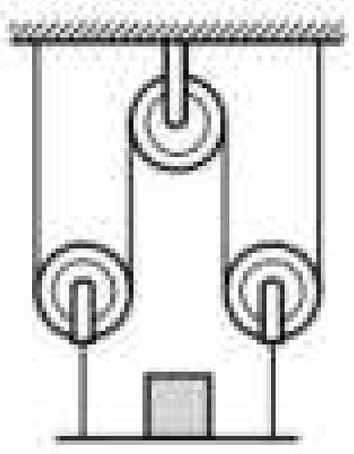


Рис. 4

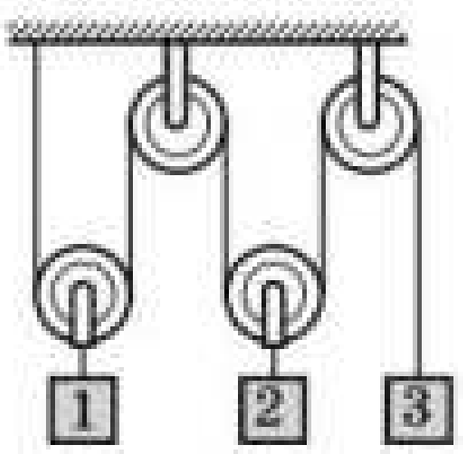


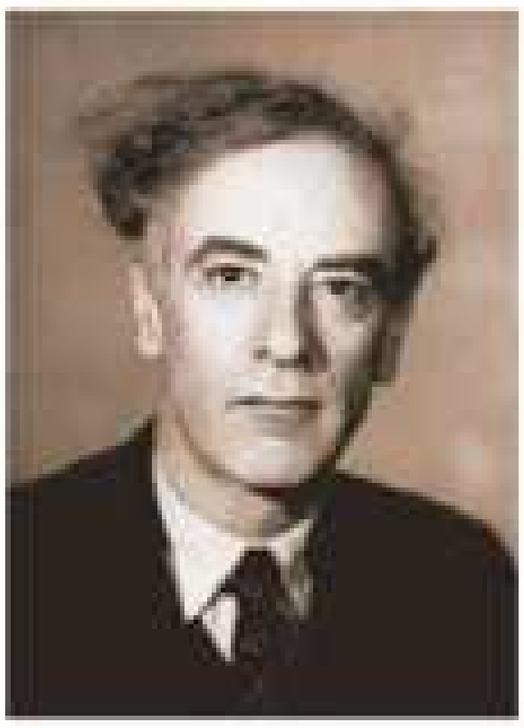
Рис. 5

7. У техніці досить часто використовують *поліспасти* — пристрої, які складаються із системи рухомих і нерухомих блоків. Дізнайтеся про поліспасти більше. Підготуйте коротке повідомлення.

Ключові терміни

Рухомий блок · Нерухомий блок · Виграш у силі · Виграш у відстані

ФІЗИКА І ТЕХНІКА В УКРАЇНІ



Видатний фізик **Лев Давидович Ландау** (1908–1968) продемонстрував свої неабиякі здібності ще в школі. Після університету він стажувався в одного з творців квантової фізики *Нільса Бора*. У 24 роки Л. Д. Ландау очолив теоретичний відділ Українського фізико-технічного інституту (УФТІ) в Харкові та кафедру теоретичної фізики в Харківському політехнічному інституті, а згодом — кафедру теоретичної фізики Харківського університету. В УФТІ вчений створив відому школу теоретичної фізики.

Як і більшість видатних фізиків-теоретиків, Л. Д. Ландау вирізнявся надзвичайною широтою наукових інтересів. Ядерна фізика, фізика плазми, теорія надплинності, теорія надпровідності — в усі ці розділи фізики Ландау зробив значний внесок. У 1962 р. за роботи з фізики низьких температур Л. Д. Ландау отримав Нобелівську премію.

Видавництво «Ранок»

mk.com.ua/
110475

§ 4. МЕХАНІЧНА РОБОТА

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Як ви вважаєте, чи виконуєте ви роботу, коли слухаєте вчителя, сидячи за партою? учите нові слова з іноземної мови? прибираєте в кімнаті? берете участь у змаганнях?

1. Коли сила виконує роботу?

Словом «робота» ми зазвичай називаємо корисну дію людини, тварини або пристрою. У фізиці існує термін «механічна робота», що має чіткіший зміст.

Про механічну роботу говорять тоді, коли тіло *змінює своє положення в просторі під дією сили*. Розглянемо рух баржі, яку тягне буксир (рис. 4.1). Буксир діє на баржу силою тяги; унаслідок дії цієї сили баржа рухається, отже, сила тяги виконує механічну роботу. Вантаж, розташований на баржі, також діє на баржу — тисне на неї своєю вагою. Але в напрямку дії сили тиску вантаж не рухається, тому сила тиску роботи не виконує.

Чим більший шлях пройде баржа під дією сили тяги, тим більшу механічну роботу виконає ця сила. Ця робота збільшиться і в разі зростання сили тяги: це станеться, якщо, наприклад, змусити буксир із баржею рухатися з більшою швидкістю.

Механічна робота (робота сили) — це фізична величина, яка характеризує зміну положення тіла під дією сили й дорівнює добутку сили на шлях, подоланий тілом у напрямку цієї сили:

$$A = Fl$$

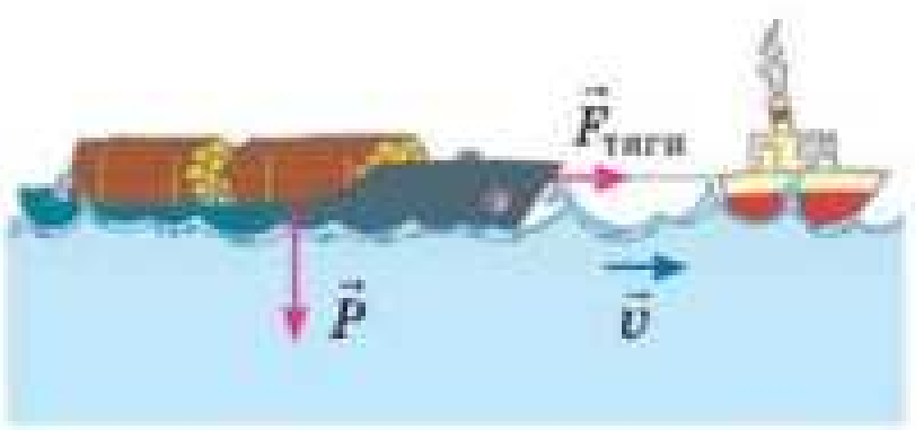


Рис. 4.1. Сила тяги виконує механічну роботу, адже баржа рухається в напрямку дії цієї сили

Видавництво «Ранок»

Одиниця роботи в СІ — **джоуль** (Дж); названа так на честь англійського вченого *Джеймса Прескотта Джоуля* (1818–1889):

$$[A] = \text{Н} \cdot \text{м} = \text{Дж}.$$

Зверніть увагу! Оскільки сила діє на тіло з боку іншого тіла (*буксир тягне* баржу, *мишеня штовхає* сир), не буде помилки, якщо говорити не про роботу сили, а про *роботу тіла*.

Механічна робота

$$A = Fl$$

A — механічна робота
F — значення сили
l — шлях, який подолало тіло, рухаючись у напрямку дії цієї сили

1 Дж дорівнює механічній роботі, яку виконує сила 1 Н, *переміщуючи тіло на* 1 м *у напрямку дії цієї сили:*

$$1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Хлопчик підняв штангу на висоту 1,5 м, приклавши силу 200 Н. Яку роботу виконав хлопчик?

А ЯК НАСПРАВДІ?

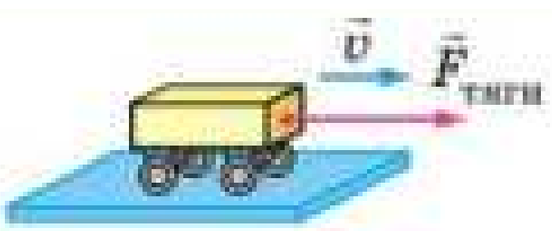
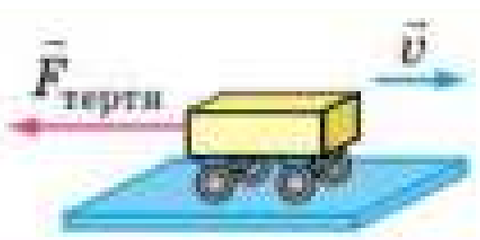
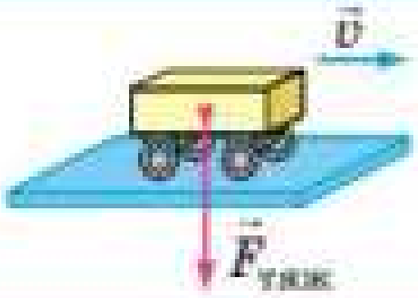
— Ух. Як я втомилася! — промовила Аліна своїй подрузі, яка зазирнула до неї. — Я сьогодні пересувала меблі. Тобі подобається?

— Подобається, але сила тертя втомилася не менше за тебе, адже вона виконала ту саму роботу, — пожартувала подруга.

— Не може бути! — обурилась Аліна. — Якби сила тертя виконала ту саму роботу, то меблі так і залишилися б на місці. А як на вашу думку, хто з дівчат має рацію?

2. Якою може бути механічна робота за знаком?

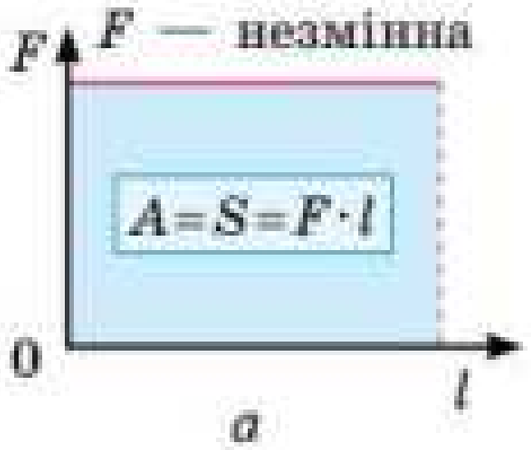
Як ви знаєте, *сила має напрямок — це векторна величина*. А от *робота сили не має напрямку*, тобто *робота є величиною скалярною*. Але робота може бути додатною, від'ємною або дорівнювати нулю — залежно від того, куди напрямлена сила відносно напрямку руху тіла:

Робота є додатною, $A > 0$	Робота є від'ємною, $A < 0$	Робота дорівнює нулю, $A = 0$
Напрямок сили збігається з напрямком руху тіла $A = Fl$	Напрямок сили протилежний напрямку руху тіла $A = -Fl$	Напрямок сили перпендикулярний до напрямку руху тіла $A = 0$
		

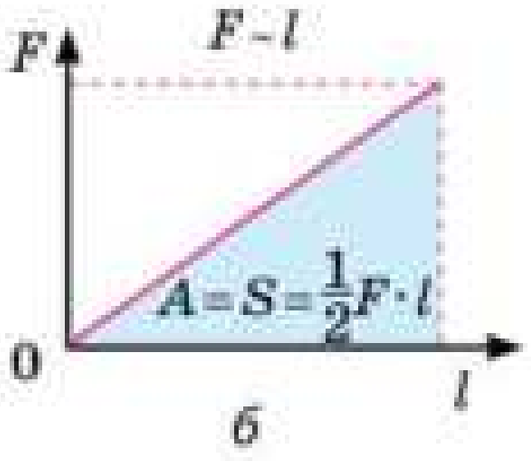
ДОСЛІДЖЕННЯ

Що знадобиться: стілець; лінійка.

Визначте роботу, яку виконують ваші м'язи, коли ви встаєте зі стільця. Яку роботу виконує при цьому сила тяжіння, що на вас діє? Яку роботу виконає сила тяжіння, коли ви, після того як встанете зі стільця, пройдете до дверей?



а



б

Рис. 4.2. Площа S фігури під графіком залежності сили F від шляху l чисельно дорівнює роботі сили

3. Яким є геометричний зміст механічної роботи?

Нехай тіло рухається під дією сили $\vec{F}$, напрямок якої збігається з напрямком руху тіла. Робота такої сили дорівнює добутку сили на шлях: $A = Fl$.

Побудуємо графік залежності значення сили F від шляху l, який долає тіло (рис. 4.2, *а*). Бачимо, що добуток $F \cdot l$ є добутком довжини та ширини прямокутника, тобто відповідає площі S цього прямокутника. У цьому полягає **геометричний зміст механічної роботи:**

> Якщо напрямок сили, яка діє на тіло, збігається з напрямком руху тіла, то робота цієї сили чисельно дорівнює площі фігури під графіком залежності сили від шляху, який долає тіло.

Це твердження поширюється й на випадки, коли сила є змінною (рис. 4.2, *б*).

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...

Для людей, що слідкують за своїм здоров'ям, важливо розуміти, скільки енергії вони витратили за годину, за день, за тренування... Такі показники отримують за допомогою *енергометрів*. Деякі з таких приладів дуже складні — їх використовують тільки під час підготовки спортсменів і спортсменок екстракласу; простіші можна побачити, наприклад, на велотренажерах.

Для повсякденного використання будь-якою людиною зручними є *смарт-годинники*. Вони можуть вимірювати пульс, кількість пройдених кроків, насиченість крові киснем та інші параметри. Такі годинники в режимі онлайн розраховують, яку кількість енергії «спалив» їхній власник.

4. Учимося розв'язувати задачі

■ Задача. За допомогою пружини жорсткістю 25 Н/м брусок пересувають по столу зі швидкістю 5 см/с. Яку роботу виконає сила пружності за 20 с, якщо видовження пружини становить 4 см? ■

Аналіз фізичної проблеми. $A>0$, оскільки брусок рухається в напрямку дії сили. Для обчислення роботи слід знайти значення сили пружності $\left(F_{\text{пруж}}\right)$ і шлях l, який подолав брусок. Силу пружності знайдемо за законом Гука. Брусок рухається рівномірно, отже, його шлях дорівнює добутку швидкості та часу руху.

Дано:

$k = 25\ \frac{\text{Н}}{\text{м}}$

$v = 5\ \frac{\text{см}}{\text{с}} = 0{,}05\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$

$t = 20\ \text{с}$

$x = 4\ \text{см} = 0{,}04\ \text{м}$

Знайти:

A — ?

Пошук математичної моделі, розв'язання

$A = F_{\text{пруж}} l$.

Тут $F_{\text{пруж}} = k|x|$ (закон Гука); $l = vt$.

Остаточно одержимо: $A = k|x| \cdot vt$.

Перевіримо одиницю, знайдемо значення шуканої величини:

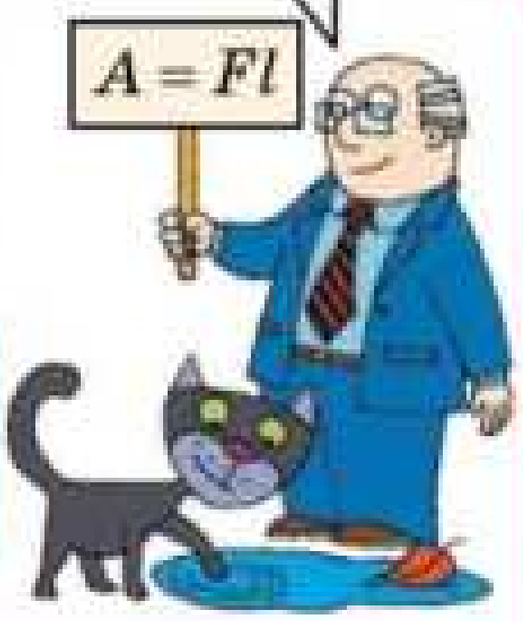
$$[A] = \frac{\text{Н}}{\text{м}} \cdot \text{м} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \text{с} = \text{Н} \cdot \text{м} = \text{Дж};$$

$A = 25 \cdot 0{,}04 \cdot 0{,}05 \cdot 20 = 1$ (Дж).

Відповідь: $A = 1$ Дж.

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Робота — не вовк,
а добуток сили на відстань!

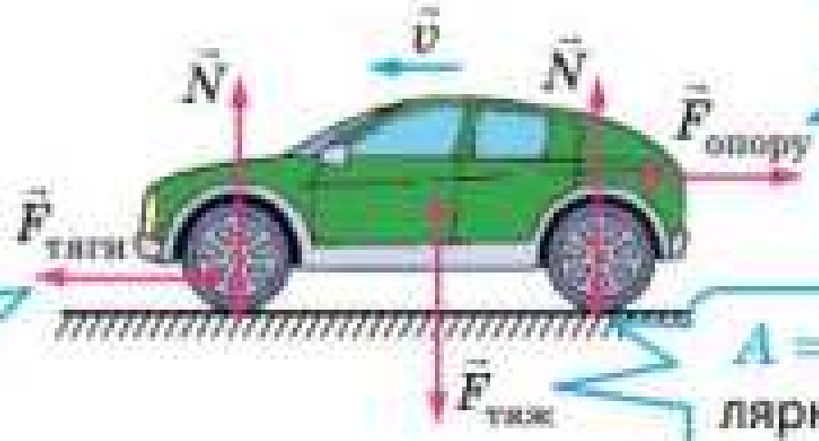


Механічна робота *(робота сили)* — це фізична величина, яка характеризує зміну положення тіла під дією сили й дорівнює добутку сили на шлях, подоланий тілом у напрямку цієї сили.

$A = Fl$,
якщо сила є незмінною
і діє в напрямку руху тіла

Одиниця механічної роботи в СІ — **джоуль (Дж)**:
1 Дж = 1 Н·м

$A > 0$, якщо напрямок сили збігається з напрямком руху тіла



$A < 0$, якщо напрямок сили протилежний напрямку руху тіла

$A = 0$, якщо сила перпендикулярна до напрямку руху тіла

Видавництво «Ранок»

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Дайте означення механічної роботи. 2. Назвіть одиницю роботи в СІ і дайте її означення. 3. На честь якого вченого отримала назву одиниця роботи? 4. У яких випадках механічна робота є додатною? від'ємною? дорівнює нулю? 5. У чому полягає геометричний зміст механічної роботи?

ВПРАВА № 4

1. Тягар нерухомо висить на пружині. Чи виконує роботу сила пружності, яка діє на тягар? Чи виконує роботу сила тяжіння?

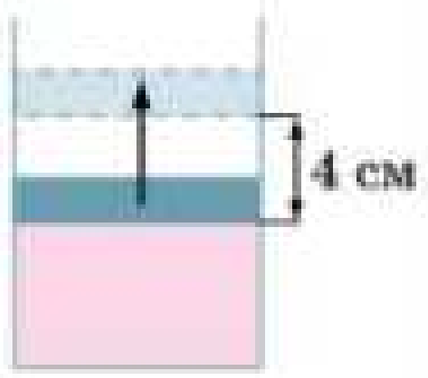
2. Чи виконує роботу сила тяжіння, що діє на баскетбольний м'яч, який: а) лежить на землі? б) летить угору? в) падає? Якщо виконує, то яку — додатну чи від'ємну?

3. Наведіть приклади ситуацій (не розглянуті в параграфі), коли сила, яка діє на тіло, виконує додатну роботу; виконує від'ємну роботу; не виконує роботи.

5. Камінь масою 4 кг падає з висоти 5 м. Яка сила виконує додатну роботу під час падіння каменя? Чому дорівнює ця робота?

6. Дівчина веде велосипед, прикладаючи горизонтальну силу 40 Н. При цьому велосипед рухається рівномірно. Визначте швидкість руху велосипеда, якщо за 5 хв дівчина виконала роботу 12 кДж.

7. Під тиском газу поршень у циліндрі рівномірно пересунувся на 4 см (див. рисунок). Яку роботу виконав газ? Тиск газу в циліндрі є незмінним і становить 0,6 МПа; площа поршня — 0,005 м^2.



8. Складіть задачу, обернену до задачі, яку розглянуто в § 4, і розв'яжіть її.

9. Яку роботу треба виконати, щоб підняти з дна на поверхню озера камінь масою 15 кг? Глибина озера становить 2 м, середня густина каменя — 3000 кг/м^3. Опором води знехтуйте.

4. Прикладаючи горизонтальну силу 50 Н, поверхнею стола протягли з незмінною швидкістю вантаж. Відомо, що при цьому було виконано роботу 150 Дж. Який шлях подолав вантаж?

Ключові терміни

Механічна робота · Джоуль (Дж) · Геометричний зміст роботи

Видавництво «Ранок»

rnk.com.ua/
110477

§ 5. ПОТУЖНІСТЬ

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Поміркуйте над лексичним значенням слова «потужний». Що означає це слово? Для характеристики чого (кого) ви його використовуєте? А чи зустрічались ви із цим словом у техніці? Наведіть приклади.

1. Що характеризує потужність?

Різним виконавцям для виконання тієї самої роботи потрібен різний час: екскаватор швидше за копача викопає траншею (рис. 5.1); кран швидше за вантажника підніме потрібну кількість цеглин; трактор швидше за коня зоре поле тощо.

Для характеристики швидкості виконання роботи використовують фізичну величину *потужність*.

Рис. 5.1. Екскаватор виконує ту саму роботу в декілька разів швидше за копача

Потужність — це фізична величина, яка характеризує швидкість виконання роботи й дорівнює відношенню виконаної роботи до часу, за який цю роботу виконано

Потужність

$$N = \frac{A}{t}$$

N — потужність
A — механічна робота
t — час виконання роботи

Потужність позначають символом N (зазвичай у механіці) або P (зазвичай в електриці).

Одиниця потужності в СІ — **ват**; названа на честь британського інженера та винахідника *Дж. Ватта* (1736–1819).

1 Вт *дорівнює потужності, за якої протягом* 1 с *виконується робота* 1 Дж:

$$1\ \text{Вт} = 1\ \frac{\text{Дж}}{\text{с}}.$$

Видавництво «Ранок»

З означення потужності випливає, що *потужність чисельно дорівнює роботі, яку виконало тіло за одну секунду.* Тобто під час виконання механічної роботи *більшу потужність розвиває те тіло, яке за той самий час виконує більшу роботу.*

Потужність двигунів

Технічний засіб	Потужність, кВт
Пральні машини	0,15–0,45
Пилососи	1,3–2,5
Мотоцикли	11–230
Легкові автомобілі	37–1000
Вантажні автомобілі	35–2940
Трактори	45–410
Гелікоптери	425–8380
Літак АН-140 (1 двигун)	1840

Скористайтеся таблицею і дайте відповіді на запитання: яку роботу виконає сила тяги одного двигуна літака АН-140 за 1 секунду? за 10 секунд?

ДОСЛІДЖЕННЯ

Що знадобиться: рулетка; секундомір; допомога друга або подруги.

Підніміться сходами з першого поверху на другий — спочатку повільно, а потім швидко. Визначте потужність, яку ви розвиваєте в кожному випадку. Для цього згадайте, що, піднімаючись, ви долаєте силу притягання Землі.

Коли дорога починає підніматися вгору, водій або водійка автомобіля натискає на педаль газу, адже інакше двигун може заглухнути. Поясніть, чому.

2. Швидше і сильніше — чи означає це потужніше?

Припустимо, що треба визначити потужність транспортного засобу, який рухається рівномірно зі швидкістю v, а його двигун створює силу тяги F. За означенням: $N = \frac{A}{t}$. Тут $A = Fl$ — робота сили, де $l = vt$ — шлях, який долає тіло за час t. Після підстановки маємо:

$$N = \frac{A}{t} = \frac{Fl}{t} = \frac{Fvt}{t} = Fv.$$

Ми отримали ще одну *формулу для визначення потужності*:

$$N = Fv$$

Зверніть увагу! Ця формула дозволяє розраховувати також *миттєву потужність* (тобто потужність у певний момент часу) транспортного засобу, навіть якщо швидкість його руху та сила тяги змінюються.

Видавництво «Ранок»

А ЯК НАСПРАВДІ?

Як одиницю потужності *Джеймс Ватт* запровадив *кінську силу*. Цю одиницю й зараз використовують у техніці: 1 к. с. ≈ 735,5 Вт.

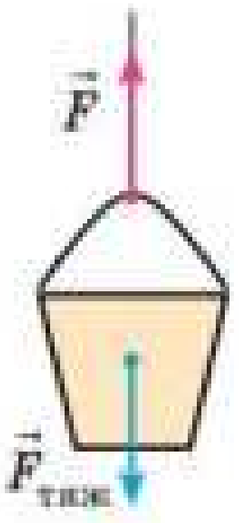
У статті в інтернеті було написано: «У той час в Англії для підняття із шахти вугілля, води й людей використовували бочки. Маса бочки разом із вантажем становила приблизно 172 кг. Тягнули таку бочку за канат, перекинутий через блок, два коні. Коні рухалися зі швидкістю 2 милі за годину». Чи правильні дані навів автор? (1 миля ≈ 1,6 км).

Дві кінські сили

3. Учимося розв'язувати задачі

■ Задача. Людина рівномірно піднімає відро з водою на висоту 5 м за 5 с. Яку потужність розвиває людина, якщо маса відра з водою становить 10 кг? ■

Аналіз фізичної проблеми. Щоб визначити потужність, треба розрахувати роботу, яку виконала людина. Для цього слід знайти значення сили $\vec{F}$, з якою людина діє на відро. На відро діють дві сили: сила тяжіння $\vec{F}_{тяж}$ і сила $\vec{F}$. Відро рухається рівномірно, тому ці сили скомпенсовані: $F = F_{тяж}$.



Дано:
$h = 5$ м
$t = 5$ с
$m = 10$ кг
$g = 10 \frac{Н}{кг}$

Знайти:
N — ?

Пошук математичної моделі, розв'язання

За означенням потужності: $N = \frac{A}{t}$, де $A = Fl$.

$F = F_{тяж} = mg$, $l = h$, тому $A = mgh$. Отже: $N = \frac{mgh}{t}$.

Знайдемо значення шуканої величини:

$$[N] = \frac{кг \cdot \frac{Н}{кг} \cdot м}{с} = \frac{Н \cdot м}{с} = \frac{Дж}{с} = Вт; \quad N = \frac{10 \cdot 10 \cdot 5}{5} = 100 \text{ (Вт)}.$$

Відповідь: $N = 100$ Вт.

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...

Будь-яка комаха значно сильніша за слона. Парадоксальне твердження? Але воно є правильним, якщо порівнювати їхні відносні потужності.

Хтось бачив стрибки слона? А от людина може стрибати навіть вище за свій зріст. Так, світовий рекорд у стрибках у висоту серед жінок (2 м 10 см, 2024 р.) належить українській атлетці Ярославі Магучіх, яка має зріст 180 см. Стрибки будь-якої кішки перевищують її зріст у 2–3 рази, а блохи — навіть у 100 разів!

На жаль, зі збільшенням розмірів зменшується не тільки відносна потужність, але й відносна міцність скелета. Тобто великим бути «невигідно». Може, саме тому в природі існують тільки три види слонів, але мільйони видів комах.

Видавництво «Ранок»

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Потужність — це фізична величина, яка характеризує швидкість виконання роботи й дорівнює відношенню виконаної роботи до часу, за який цю роботу виконано:

$$N = \frac{A}{t} \qquad \text{Потужність} = \frac{\text{Механічна робота}}{\text{Час}}$$

Одиниця потужності в СІ — ват (Вт):

$$1\ \text{Вт} = 1\ \frac{\text{Дж}}{\text{с}}$$

Позасистемна одиниця потужності — *кінська сила:* 1 к. с. ≈ 735,5 Вт.

$N = Fv$

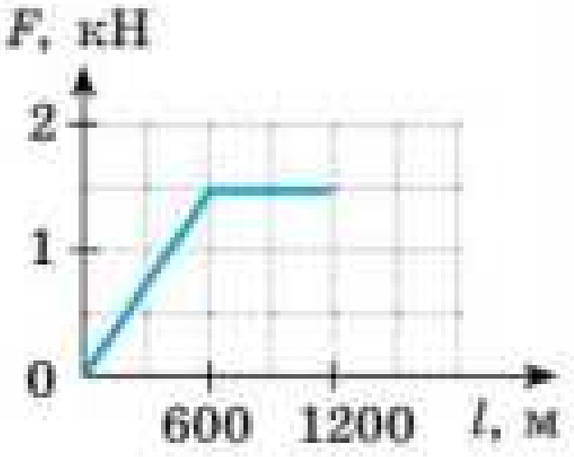
Чим більшу силу тяги створює двигун і чим швидше рухається транспортний засіб, тим двигун потужніший.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Дайте означення потужності. 2. Назвіть одиницю потужності в СІ і дайте її означення. 3. Яку позасистемну одиницю потужності ви знаєте? 4. Як визначити потужність, яку розвиває тіло, якщо відомі сила, що діє на тіло, і швидкість руху тіла?

ВПРАВА № 5

1. Вчителька і учень за однаковий час піднялися сходами з першого поверху на другий. Хто з них розвинув більшу потужність?
2. Під час змагань хлопчик розвинув потужність 160 Вт. Яку роботу виконав хлопчик за 20 с?
3. За який час двигун автомобіля, розвиваючи потужність 150 кВт, виконає роботу 900 кДж?
4. Загальна потужність двигунів літака становить 10 МВт. Визначте силу опору рухові, якщо літак рухається зі швидкістю 720 км/год.
5. На графіку подано залежність сили тяги мотоцикла від шляху, який він долає за 2 хв руху. Визначте середню потужність двигуна мотоцикла.



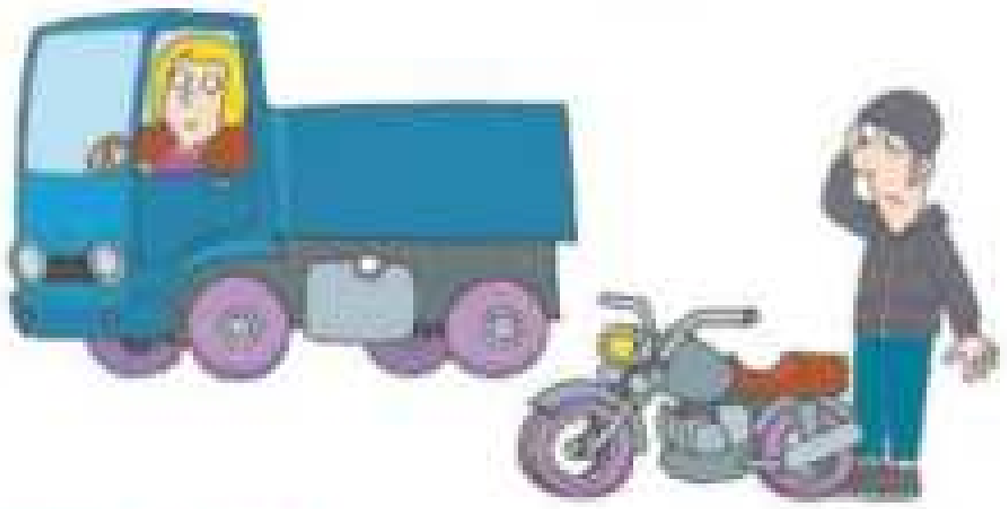
6. «Три ущелини» — розташована в Китаї найпотужніша гідроелектростанція у світі. Вона може замінити 9 атомних електростанцій. Висота її греблі дорівнює 180 м, потужність водного потоку — 22,5 ГВт. Визначте об'єм води, що падає з греблі за хвилину.
7. Складіть 1–2 задачі за темою § 5. Розв'яжіть одержані задачі; їхні умови та розв'язання оформте на окремому аркуші.

Видавництво «Ранок»

mk.com.ua/
110478

§ 6. КОЕФІЦІЄНТ КОРИСНОЇ ДІЇ ПРОСТИХ МЕХАНІЗМІВ

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Уявіть, що потрібно завантажити важкий мотоцикл у вантажівку, тобто необхідно виконати певну роботу. Який простий механізм і чому ви для цього використаєте? А чи дасть цей механізм виграш у роботі?



1. Чи працює «золоте правило механіки»?

Ви вже знаєте, що багато простих механізмів дозволяють отримати виграш у силі, однак, отримавши перевагу в силі, ми обов'язково програємо у відстані. Давнє так зване *«золоте правило» механіки* стверджує: «У скільки разів ми виграємо в силі, у стільки ж разів програємо у відстані». А чи дійсно це так?

Припустимо, що треба підняти вантаж на певну висоту. Щоб було зручніше, скористаємося нерухомим блоком (рис. 6.1).

Під час піднімання вантажу за допомогою блока на висоту h виконується *корисна робота*: $A_{\text{кор}} = Ph$.

А от *повна робота*, тобто робота, яку ми виконуємо, витягаючи мотузку на довжину l, що дорівнює висоті h ($l = h$), становить: $A_{\text{повна}} = F_{\text{тяги}} l = F_{\text{тяги}} h$.

Оскільки в осі блока є сила тертя, то $F_{\text{тяги}} > P$, тому $A_{\text{повна}} > A_{\text{кор}}$.

Корисна робота, яку виконують за допомогою будь-якого механізму, завжди менша від повної роботи. Лише за ідеальних умов корисна робота може дорівнювати повній, але цього *ніколи не буває*.

Рис. 6.1. У блоці завжди є тертя, тому сила F, з якою тягнуть мотузку, за значенням більша за вагу P вантажу: $F > P$

А ЯК НАСПРАВДІ?

Дізнавшись, що за допомогою рухомого блока можна отримати виграш у силі у 2 рази, дівчина вирішила, що зможе підняти скутер. Вона розмірковувала так: «Щоб підняти скутер, потрібно прикласти силу близько 1000 Н. Я зможу підняти 10 кг, тобто створити зусилля 100 Н. Отже, мені потрібен виграш у силі лише в 10 разів. Якщо я використаю 5 рухомих блоків, то підніму скутер».

Як на вашу думку, чи має рацію дівчина?

2. Що визначає коефіцієнт корисної дії?

Яку частину повної роботи механізм перетворює на корисну, показує фізична величина, яку називають *коефіцієнт корисної дії (ККД)*.

Коефіцієнт корисної дії механізму — це фізична величина, яка дорівнює відношенню корисної роботи до повної роботи

Коефіцієнт корисної дії

$$\eta = \frac{A_{кор}}{A_{повна}}$$

η (ета) — коефіцієнт корисної дії (ККД)
$A_{кор}$ — корисна робота
$A_{повна}$ — повна робота

Зазвичай ККД подають *у відсотках*:

$$\eta = \frac{A_{кор}}{A_{повна}} \cdot 100\,\%$$

Оскільки в ході використання механізмів корисна робота завжди менша від повної, *ККД будь-якого механізму завжди менший від 100 %*.

Отримаємо формулу для визначення ККД похилої площини. Нехай необхідно підняти тіло масою m на висоту h похилою площиною завдовжки l (рис. 6.2).

Щоб підняти тіло вертикально (без похилої площини), потрібно прикласти силу $\vec{F}_1$, яка за значенням дорівнює силі тяжіння: $F_1 = F_{тяж} = mg$.

Тіло необхідно підняти на висоту h, тому корисна робота дорівнюватиме: $A_{кор} = F_1 \cdot h = mgh$.

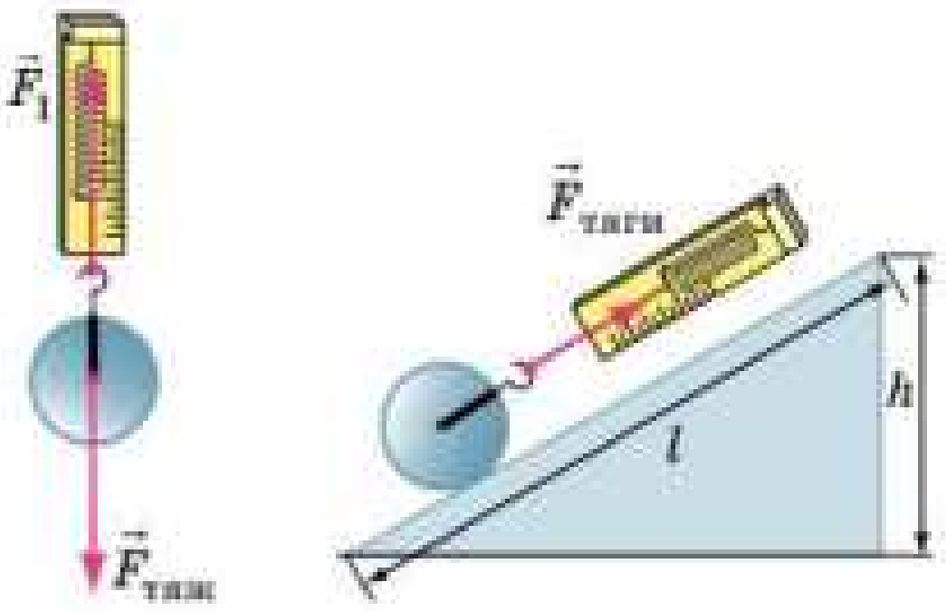


Рис. 6.2. Корисна робота — це те, що нам потрібно зробити (підняти тіло); повна робота — це те, як ми це робимо (тягнемо похилою площиною)

Видавництво «Ранок»

Щоб затягти тіло похилою площиною на ту саму висоту h, слід прикласти силу тяги $\vec{F}_{\text{тяги}}$, напрямлену вздовж похилої площини. Робота, яка при цьому виконується (повна робота), обчислюється за формулою: $A_{\text{повна}} = F_{\text{тяги}} l$, де l — довжина похилої площини.

За означенням ККД маємо:

$$\eta = \frac{A_{\text{кор}}}{A_{\text{повна}}} = \frac{mgh}{F_{\text{тяги}} l}.$$

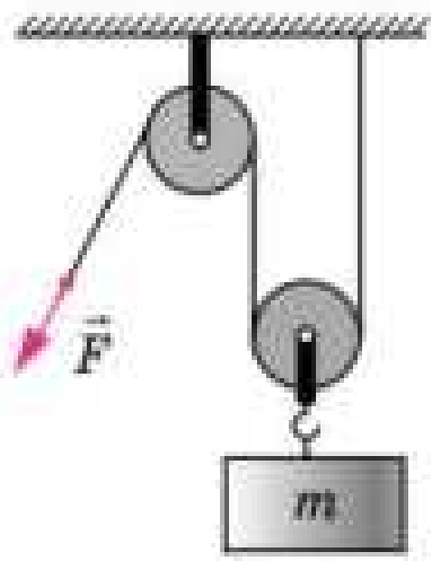
Зверніть увагу!

Незалежно від того, який механізм ми застосовуємо для підняття тіла масою m на висоту h (похила площина, блок, важіль або коловорот), корисна робота завжди визначається за формулою:

$$A_{\text{кор}} = mgh$$

3. Учимося розв'язувати задачі

■ Задача. Вантаж масою 95 кг рівномірно піднімають на третій поверх будинку за допомогою системи, що складається з рухомого та нерухомого блоків (див. рисунок). Визначте ККД цієї системи, якщо до вільного кінця мотузки прикладають силу 500 Н. ■



Аналіз фізичної проблеми. У системі є один рухомий блок, тому, піднімаючи вантаж на висоту h, мотузку витягують на довжину $l = 2h$. Нерухомий блок системи тільки змінює напрямок дії сили.

Дано:
$m = 95$ кг
$F = 500$ Н
$g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$

Знайти:
η — ?

Пошук математичної моделі, розв'язання

За означенням ККД: $\eta = \frac{A_{\text{кор}}}{A_{\text{повна}}}$.

Що роблять? Піднімають вантаж на висоту h, тому $A_{\text{кор}} = mgh$.

Як це роблять? Тягнуть за мотузку, прикладаючи силу $\vec{F}$. Тому $A_{\text{повна}} = Fl$, де $l = 2h$. Отже:

$$A_{\text{повна}} = F \cdot 2h.$$

Підставивши вирази для $A_{\text{кор}}$ і $A_{\text{повна}}$ у формулу ККД, маємо:

$$\eta = \frac{mgh}{F \cdot 2h} = \frac{mg}{2F}.$$

Перевіримо одиницю, знайдемо значення шуканої величини:

$$[\eta] = \frac{\text{кг} \cdot \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot \text{м}}{\text{Н} \cdot \text{м}} = 1; \quad \eta = \frac{95 \cdot 10}{2 \cdot 500} = \frac{95}{100} = 0{,}95; \quad \eta = 95\,\%.$$

Аналіз результату: ККД механізму менший від 100 % — це правдоподібний результат.

Відповідь: $\eta = 95\,\%$.

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...

Щоб дістатися з Києва до Житомира автівкою, необхідно витратити близько 10 л пального. Лише 2–4 л йде на власне подорож, а решта пального витрачається на обігрів навколишнього середовища. Річ у тім, що ККД сучасних автомобілів становить від 20 до 40 %.

Але наука й техніка постійно розвиваються. Уже існують пристрої, ККД яких наближається до 100 %! Наприклад, теплові помпи або пристрої, у яких застосовується явище надпровідності. Детальніше про це ви дізнаєтеся під час подальшого вивчення курсу фізики.

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Коефіцієнт корисної дії механізму (ККД) — це фізична величина, яка дорівнює відношенню корисної роботи до повної роботи.

$$\eta = \frac{A_{кор}}{A_{повна}}$$

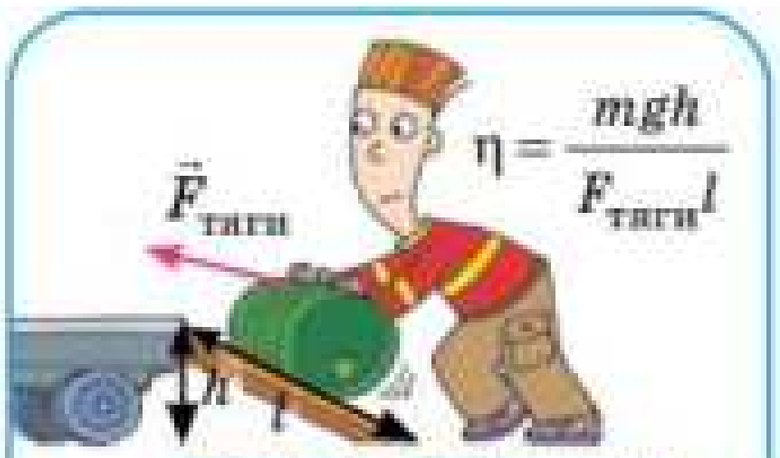
Зазвичай ККД подають у відсотках.

$$\eta = \frac{A_{кор}}{A_{повна}} \cdot 100\,\%$$

Корисна робота — це те, що нам потрібно зробити (підняти, пересунути тіло).

Повна робота — це те, як ми це робимо (тягнемо, штовхаємо).

ККД будь-якого механізму завжди менший від 100 %.



ПОХИЛА ПЛОЩИНА

НЕРУХОМИЙ БЛОК

РУХОМИЙ БЛОК

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

1. Дайте означення ККД. **2.** Чому ККД завжди менший від 100 %? **3.** Як визначити ККД похилої площини? рухомого блока? нерухомого блока?

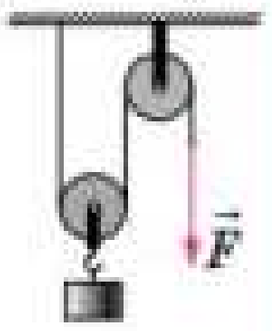
ВПРАВА № 6

1. Двигун підіймального крана виконав повну роботу 1 кДж. Чи може корисна робота дорівнювати: а) 1530 Дж; б) 900 Дж?

2. За допомогою простого механізму виконано корисну роботу 120 Дж. Визначте ККД механізму, якщо повна робота 150 Дж.

3. Тіло піднімають похилою площиною, виконуючи корисну роботу 180 кДж. Визначте повну роботу, якщо ККД похилої площини 90 %.

4. Вантаж масою 45 кг піднімають за допомогою пристрою, який складається з рухомого та нерухомого блоків (див. рисунок). Яку силу потрібно прикладати до вільного кінця мотузки, якщо ККД пристрою становить 75 %?



5. Вантаж масою 108 кг підняли за допомогою важеля, прикладаючи вертикальну силу $\vec{F}$, значення якої дорівнює 400 Н. Визначте ККД важеля, якщо плече сили, яка діє на важіль із боку вантажу, утричі менше від плеча сили $\vec{F}$.

6. Скориставшись додатковими джерелами інформації, дізнайтеся про значення ККД деяких механізмів і про роботу, яку вони виконують. Складіть 1–2 задачі за отриманими даними, розв'яжіть їх.

Ключові терміни

Коефіцієнт корисної дії · Корисна робота · Повна робота

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

mk.com.ua/110479

Тема. Визначення ККД похилої площини.

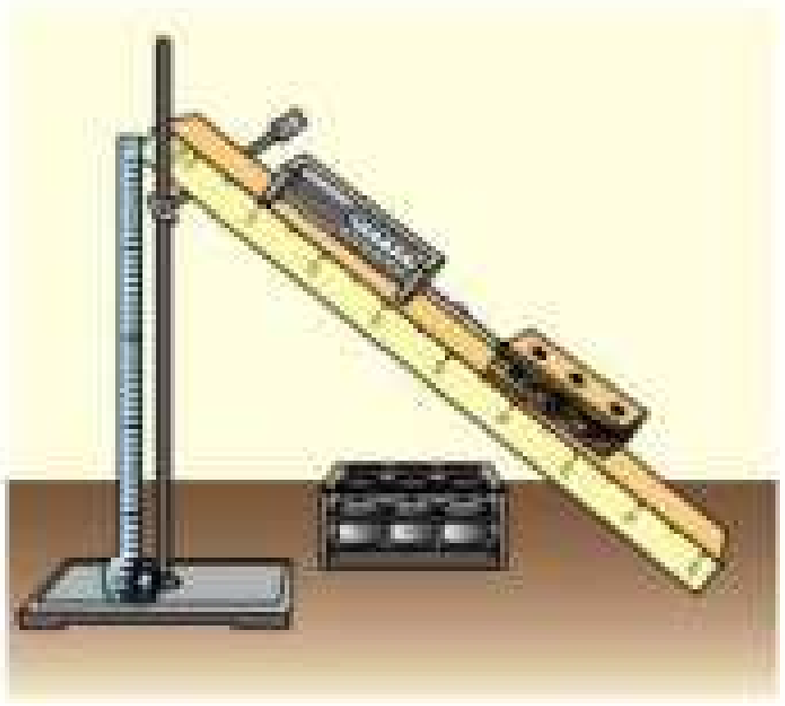
Мета: переконатися на досліді, що корисна робота, виконана за допомогою похилої площини, менша від повної роботи; визначити ККД похилої площини.

Обладнання: мірна стрічка; динамометр; три тягарці однакової маси; дерев'яна лінійка; штатив із муфтою та лапкою; дерев'яний брусок.

Вказівки до роботи

Підготовка до експерименту

1. Перш ніж виконувати роботу, згадайте відповіді на такі запитання.
   1) Які види простих механізмів ви знаєте?
   2) Як визначити коефіцієнт корисної дії?
   3) Чому ККД будь-якого механізму завжди менший від 100 %?
2. Визначте ціни поділок шкал вимірювальних приладів.
3. Зберіть експериментальну установку, як показано на рисунку.



Експеримент

Дотримуйтесь інструкції з безпеки.

Результати вимірювань і обчислень відразу заносьте до таблиці.

1. Виміряйте довжину l і висоту h похилої площини.
2. Визначте за допомогою динамометра вагу P_1 бруска.
3. Покладіть брусок на похилу площину й за допомогою динамометра рівномірно пересувайте його площиною вгору. Виміряйте силу тяги $F_{\text{тяги }1}$, що діє на брусок з боку динамометра.
4. Визначте за допомогою динамометра вагу одного тягарця.
5. Не змінюючи кута нахилу площини, повторіть дослід (див. п. 3) ще тричі, розмістивши на бруску спочатку один, потім два, а потім три тягарці.

Зверніть увагу! У кожному із цих дослідів, щоб знайти вагу тіла, необхідно до ваги бруска додати вагу тягарця (тягарців).

Опрацювання результатів експерименту

Для кожного досліду обчисліть:

1) повну роботу ($A_{\text{повна}} = F_{\text{тяги}} l$);

2) корисну роботу ($A_{\text{кор}} = Ph$, де P — вага тіла);

3) виграш у силі, який дає похила площина $\left(\frac{P}{F}\right)$;

4) ККД похилої площини $\left(\eta = \frac{A_{\text{кор}}}{A_{\text{повна}}} \cdot 100\,\% = \frac{Ph}{F_{\text{тяги}} l} \cdot 100\,\%\right)$.

Номер досліду	Вага тіла (P, Н)	Висота похилої площини h, м	Корисна робота ($A_{\text{кор}}$, Дж)	Сила тяги ($F_{\text{тяги}}$, Н)	Довжина похилої площини l, м	Повна робота ($A_{\text{повна}}$, Дж)	Виграш у силі $\left(\frac{P}{F_{\text{тяги}}}\right)$	ККД (η, %)

Аналіз експерименту та його результатів

1) Для кожного досліду порівняйте значення сили ($F_{\text{тяги}}$) зі значенням ваги тіла (P) і зробіть висновок про виграш у силі, який дає похила площина.

2) Порівняйте одержані значення ККД і зробіть висновок, чи залежить ККД від ваги тіла, яке піднімають похилою площиною.

Творче завдання

З'ясуйте за допомогою експерименту, як залежить ККД похилої площини від кута її нахилу. Чому, на вашу думку, ККД змінюється?

Видавництво «Ранок»

mk.com.ua/
110480

§ 7. МЕХАНІЧНА ЕНЕРГІЯ. КІНЕТИЧНА І ПОТЕНЦІАЛЬНА ЕНЕРГІЇ

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Розгляньте заставку до параграфа. Чому влучною назвою для цього фото може бути «Енергія»? Які види енергії ви тут «бачите»? Як часто для опису природних явищ, людей, тварин або механізмів ви використовуєте слова «енергія», «енергійний»? Наведіть приклади.

1. Що таке енергія і як вона пов'язана з механічною роботою?

Енергія в перекладі з грецької означає «діяльність». Ви вже знаєте про різні види енергії, зокрема електричну, атомну, механічну. У механіці ми маємо справу з *механічною енергією*.

Механічна енергія — це фізична величина, яка є мірою руху та взаємодії тіл.

Енергію позначають символом E (або W). *Одиниця енергії в СІ*, як і робо́ти, — **джоуль**:

$$[E] = \text{Дж}.$$

Розташуємо маленьку кульку на краю стола, а на підлозі поставимо посудину з водою. Якщо зіштовхнути кульку, то вона впаде й розхлюпає воду (рис. 7.1). Поява бризок означає, що *виконана певна робота*. Якщо ж кульки не торкатися, вона залишиться лежати на столі. Отже, енергія кульки може бути реалізована виконанням роботи або збережеться до «кращих часів».

Напевно, багато хто з вас грав у боулінг. Від моменту кидка до влучення в кеглі куля рухається практично за інерцією, виконана робота майже дорівнює нулю. Але потім,

Рис. 7.1. Кулька має механічну енергію, за рахунок якої виконано механічну роботу (точніше роботу виконає сила, що діятимемо збоку кульки на воду)

Рис. 7.2. Куля, яка рухається доріжкою, має механічну енергію, за рахунок якої виконується робота — збиваються кеглі

Наведіть кілька прикладів тіл, які мають певну механічну енергію.

коли куля збиває кеглі (рис. 7.2), унаслідок виконаної роботи швидкість її руху зменшується.

Під час виконання механічної роботи енергія тіла змінюється. Отже, *механічна робота є мірою зміни енергії тіла.*

Наприклад, коли на будівництві робітник піднімає цеглини, механічна енергія цеглин збільшується на значення роботи, виконаної робітником проти сили тяжіння.

2. Як визначити потенціальну енергію?

Тіло, підняте над поверхнею Землі, має певну енергію, зумовлену притяганням тіла до Землі. Таку енергію називають *потенціальною.*

Потенціальна енергія E_p — це енергія, зумовлена взаємодією тіл або частин тіла.

Потенціальна енергія піднятого тіла

$$E_p = mgh$$

E_p — потенціальна енергія піднятого тіла
m — маса тіла
g — прискорення вільного падіння
h — висота, на якій розташовано тіло, відносно нульового рівня

Потенціальна енергія піднятого на деяку висоту тіла дорівнює роботі, яку виконає сила тяжіння за час падіння тіла з цієї висоти:

$$E_p = A.$$

Оскільки $A = Fl$, де $F = F_{тяж} = mg$, а $l = h$ (рис. 7.3), маємо:

$$E_p = mgh$$

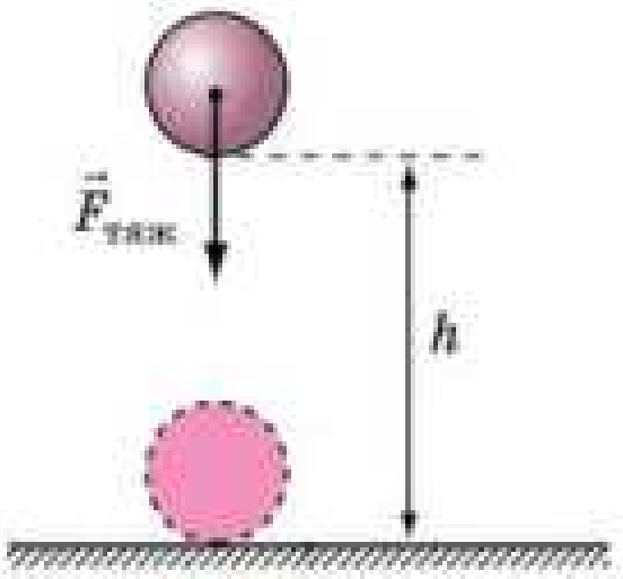


Рис. 7.3. Шлях l, який подолало тіло, що падало під дією сили тяжіння $\vec{F}_{тяж}$, дорівнює висоті h, на якій перебувало тіло

Потенціальна енергія піднятого тіла залежить від висоти, на якій перебуває тіло, тому *вибір нульового рівня, тобто рівня, від якого буде вимірюватися висота,* — впливає на значення потенціальної енергії (рис. 7.4).

3. Чому пружно деформовані тіла мають потенціальну енергію?

У пружно деформованому тілі частини тіла взаємодіють силами пружності. Якщо тіло «звільнити», то сили пружності виконають механічну роботу. Отже, пружно деформоване тіло має потенціальну енергію (рис. 7.5).

Потенціальну енергію *пружно деформованої* (розтягненої або стисненої) *пружини* визначають за формулою:

$$E_p = \frac{kx^2}{2},$$

Рис. 7.4. Потенціальна енергія книжки, розташованої на четвертій полиці, відносно підлоги є більшою, ніж відносно другої полиці

де k — жорсткість пружини, x — її видовження.

Властивість деформованої пружини «запасати» потенціальну енергію, а потім за її рахунок виконувати механічну роботу використовують у багатьох механізмах: механічних годинниках, дверних замках, клапанах автомобільних двигунів, амортизаторах автомобілів тощо.

ДОСЛІДЖЕННЯ

Що знадобиться: лінійка; гумова стрічка; клаптик паперу; будь-яке досить легке тверде тіло.

Поміркуйте, як за допомогою поданого обладнання провести декілька дослідів на підтвердження того, що пружне деформоване тіло має потенціальну енергію. Проведіть ці досліди.

4. Коли тіло має кінетичну енергію?

Згадаймо приклад із кулею для боулінгу: вона котиться, збиває кеглі й зменшує швидкість свого руху. Енергія, яка дозволила виконати роботу, була зумовлена рухом кулі. У фізиці цю енергію називають *кінетичною*.

Кінетична енергія залежить від маси тіла та швидкості його руху.

Наприклад, із двох куль, які рухаються з однаковою швидкістю, куля більшої маси відштовхне той самий брусок на більшу відстань.

Рис. 7.5. Чим більше деформовані тятива та плечі лука, тим більша їхня потенціальна енергія

Видавництво «Ранок»

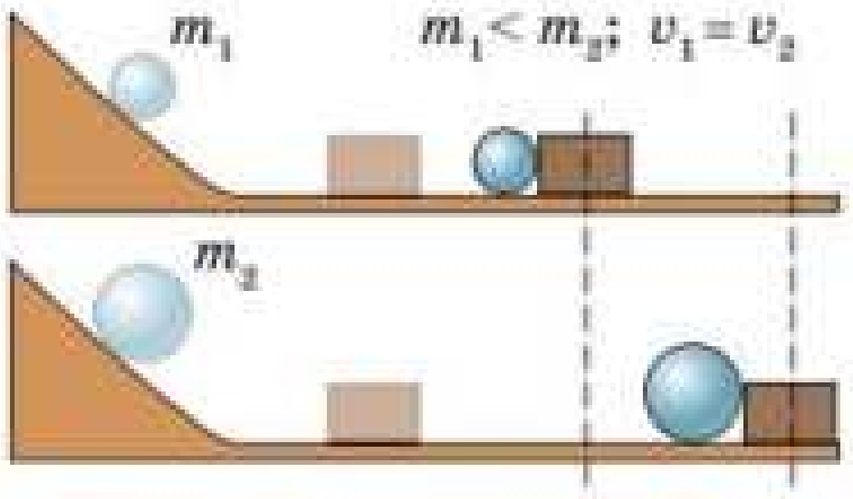


Рис. 7.6. Чим більшою є маса кулі, тим більшу кінетичну енергію має куля

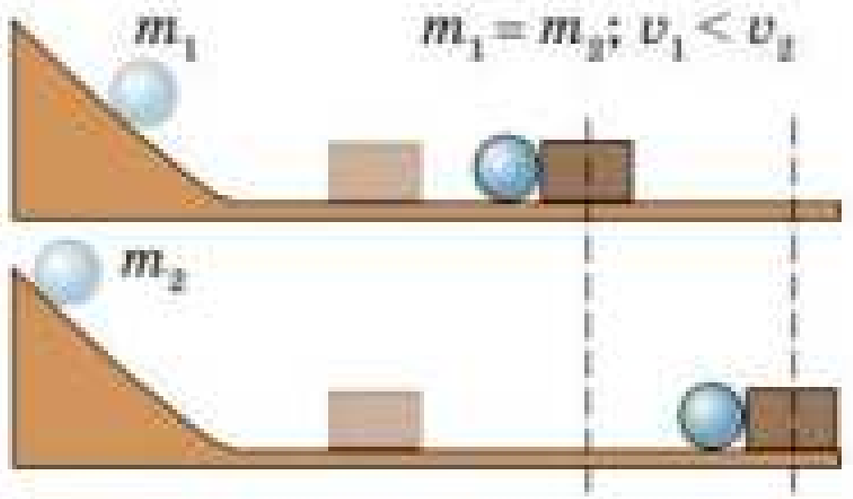


Рис. 7.7. Чим більшою є швидкість руху кулі, тим більшу кінетичну енергію має куля

Це означає, що за однакової швидкості руху куля більшої маси має більшу кінетичну енергію (рис. 7.6).

Якщо кулі мають однакову масу, то більшу кінетичну енергію має та куля, яка рухається з більшою швидкістю (рис. 7.7).

Кінетична енергія — це енергія, яка зумовлена рухом тіла і дорівнює половині добутку маси тіла на квадрат швидкості його руху:

Кінетична енергія тіла

$$E_k = \frac{mv^2}{2}$$

E_k — кінетична енергія тіла
m — маса тіла
v — швидкість руху тіла

$$E_k = \frac{mv^2}{2}$$

Кінетична енергія тіла для різних спостерігачів може бути різною, оскільки відносно них може бути різною швидкість руху цього тіла.

Доволі часто тіло має і потенціальну, і кінетичну енергії. Наприклад, літак, що летить над землею на деякій висоті, має і потенціальну енергію (бо взаємодіє із землею), і кінетичну енергію (бо рухається).

Суму кінетичної і потенціальної енергій тіла називають **повною механічною енергією тіла:**

$$E_{\text{повна}} = E_k + E_p$$

Пасажир потяга, що рухається повз платформи, читає книжку. Чи має книжка кінетичну енергію відносно потяга? відносно людини, яка стоїть на платформі?

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Механічна енергія — це фізична величина, яка є мірою руху та взаємодії тіл.

$[E] = \text{Дж}$

Види механічної енергії

Кінетична енергія E_k

енергія, зумовлена рухом тіла

$$E_k = \frac{mv^2}{2}$$

m — маса тіла
v — швидкість руху тіла

Потенціальна енергія E_p

енергія, зумовлена взаємодією тіл або частин тіла

E_p **піднятого тіла:**

$$E_p = mgh$$

m — маса тіла
h — висота відносно нульового рівня

E_p **пружно деформованої пружини (шнура):**

$$E_p = \frac{kx^2}{2}$$

k — жорсткість пружини (шнура)
x — видовження пружини (шнура)

Сума кінетичної і потенціальної енергій тіла (системи тіл) — це **повна механічна енергія тіла (системи тіл)**: $E = E_k + E_p$

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що означає вираз: «Тіло (або система тіл) має енергію»? 2. Назвіть одиницю енергії в СІ. 3. Наведіть приклади на підтвердження того, що під час виконання роботи енергія тіла змінюється. 4. Дайте означення потенціальної енергії. 5. За якою формулою визначають потенціальну енергію: тіла, піднятого на висоту h? деформованої пружини? 6. Чи залежить значення потенціальної енергії піднятого на висоту тіла від вибору початкового рівня відліку висоти? 7. Дайте означення кінетичної енергії тіла. 8. За якою формулою обчислюють кінетичну енергію тіла? 9. Дайте означення повної механічної енергії тіла.

Видавництво «Ранок»

ВПРАВА № 7

1. Наведіть приклади тіл, які мають потенціальну енергію, і приклади тіл, які мають кінетичну енергію.

2. Опишіть, як змінюється потенціальна енергія літака під час зльоту та посадки. Як змінюється його кінетична енергія?

3. Обчисліть потенціальну енергію портфеля, який лежить на парті, відносно підлоги. Маса портфеля — 3 кг, висота парти — 80 см.

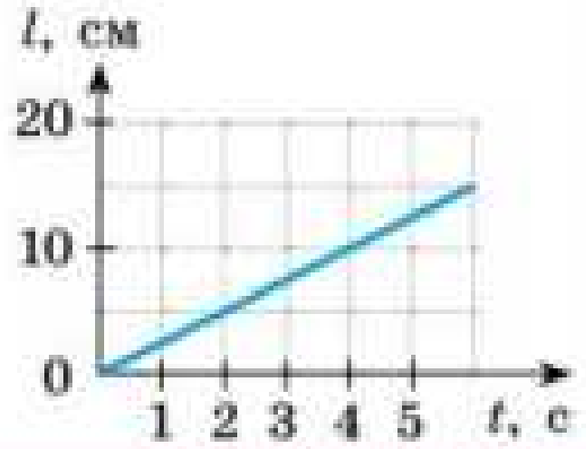
4. Визначте кінетичну енергію велосипедиста масою 50 кг, який рухається зі швидкістю 10 м/с.

5. Цеглина масою 5 кг має потенціальну енергію 20 Дж. На якій висоті над підлогою розташована цеглина, якщо за нульовий рівень узято поверхню підлоги?

6. Тіло рухається зі швидкістю 7,2 км/год. Визначте масу цього тіла, якщо його кінетична енергія становить 5 Дж.

7. Баскетбольний м'яч масою 400 г кинули в бік кільця. Визначте повну механічну енергію м'яча на висоті 3 м, якщо на цій висоті він рухався зі швидкістю 10 м/с. За нульовий рівень візьміть рівень підлоги спортзалу.

8. За графіком шляху тіла масою 16 кг (див. рисунок) визначте кінетичну енергію тіла.



9. Знайдіть (наприклад, в інтернеті) опис пристрою, дія якого ґрунтується на зміненні потенціальної енергії. Підготуйте повідомлення.

Ключові терміни

Кінетична енергія · Потенціальна енергія · Повна механічна енергія

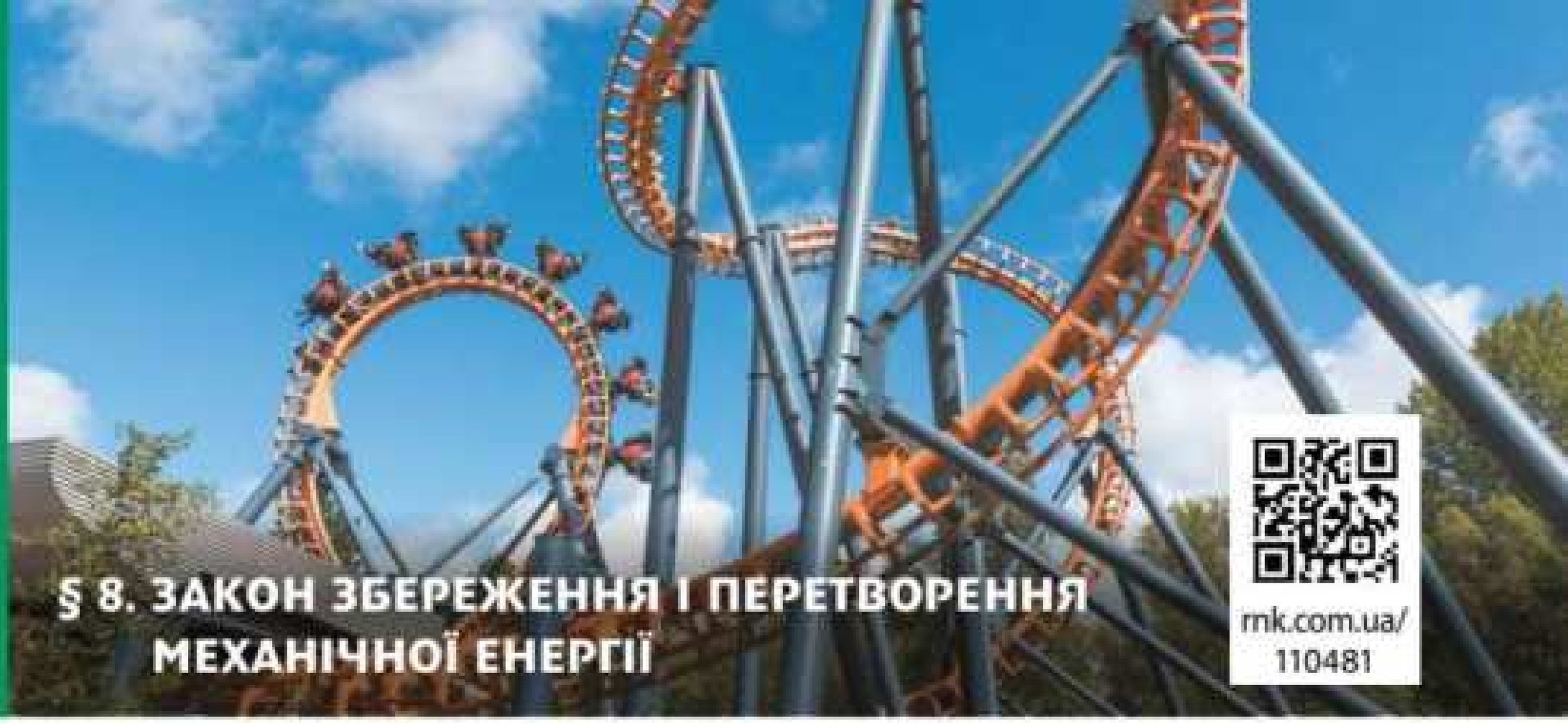
ФІЗИКА І ТЕХНІКА В УКРАЇНІ

Ігор Рафаїлович Юхновський (1925–2024) — учений у галузі теоретичної фізики, засновник львівської наукової школи статистичної фізики, один із засновників Західного наукового центру НАН України, громадський діяч, академік НАН України, Герой України.

І. Р. Юхновський закінчив фізико-математичний факультет Львівського державного університету ім. Івана Франка. У цьому ж університеті він пройшов шлях від аспіранта до академіка. І. Р. Юхновський і його учні отримали фундаментальні результати в мікроскопічній теорії електролітів, теорії металів і сплавів, теорії рідкого гелію, теорії фазових переходів.

У 1990 році І. Р. Юхновський створив Інститут фізики конденсованих систем НАНУ (м. Львів). Досягнення вченого й очолюваного ним колективу здобули широке визнання в науковому світі.

Видавництво «Ранок»



§ 8. ЗАКОН ЗБЕРЕЖЕННЯ І ПЕРЕТВОРЕННЯ МЕХАНІЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

rnk.com.ua/110481

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Протягом десятиліть основний принцип дії «американських гірок» був таким: потяг відбуксовують на найбільший пагорб, а далі він рухається маршрутом, який складається з пагорбів і запаморочливих поворотів. Чому, на вашу думку, потяг рухається, адже двигуна в ньому немає? Чому він інколи сповільнює свій рух, а інколи досягає досить великої швидкості?

1. Які перетворення енергії відбуваються під час коливань?

Одним із фундаментальних законів природи **є закон збереження і перетворення енергії:**

Енергія нікуди не зникає та нізвідки не виникає, вона лише перетворюється з одного виду на інший і передається від одного тіла до іншого.

Прослідкуємо перетворення механічної енергії під час вільних коливань маятника (рис. 8.1).

Відхилимо кульку до *положення 1*. У цьому положенні кулька перебуватиме на найбільшій висоті, отже матиме *найбільшу потенціальну енергію*: $E_{p\,max} = mgh_{max}$. Кулька не рухається, тому її кінетична енергія дорівнює нулю: $E_k = 0$.

Відпустимо кульку. Кулька починає рух, швидкість її руху збільшується, відповідно *зростає її кінетична енергія*. А от *потенціальна енергія кульки зменшується*, адже зменшується висота, на якій перебуває кулька.

У момент, коли кулька опиниться *в положенні 2*, її *потенціальна енергія зменшиться до нуля*: $h = 0$, $E_p = 0$. У цей момент швидкість руху кульки є найбільшою, також *найбільшою є її кінетична енергія*:

$$E_{k\,max} = \frac{mv_{max}^2}{2}.$$

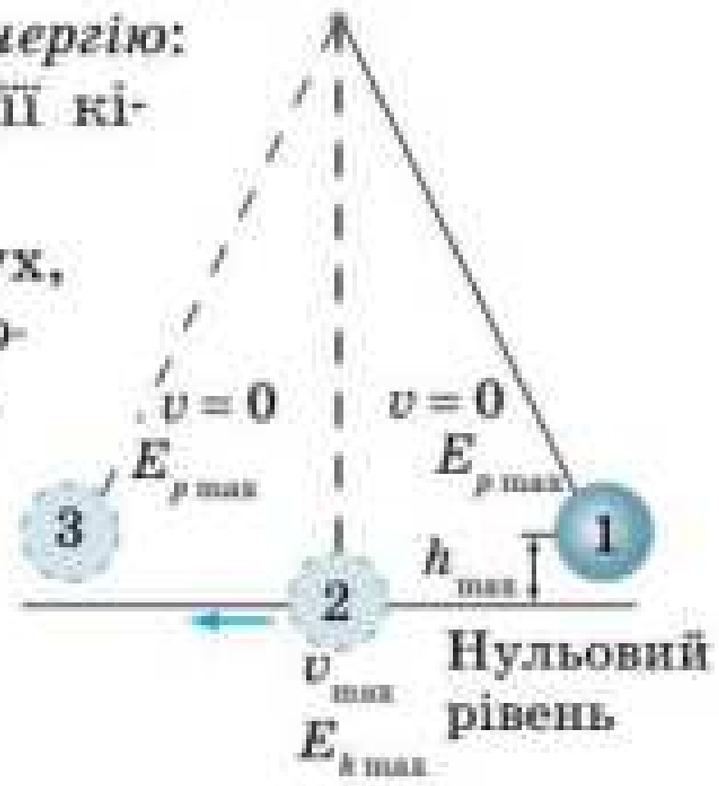
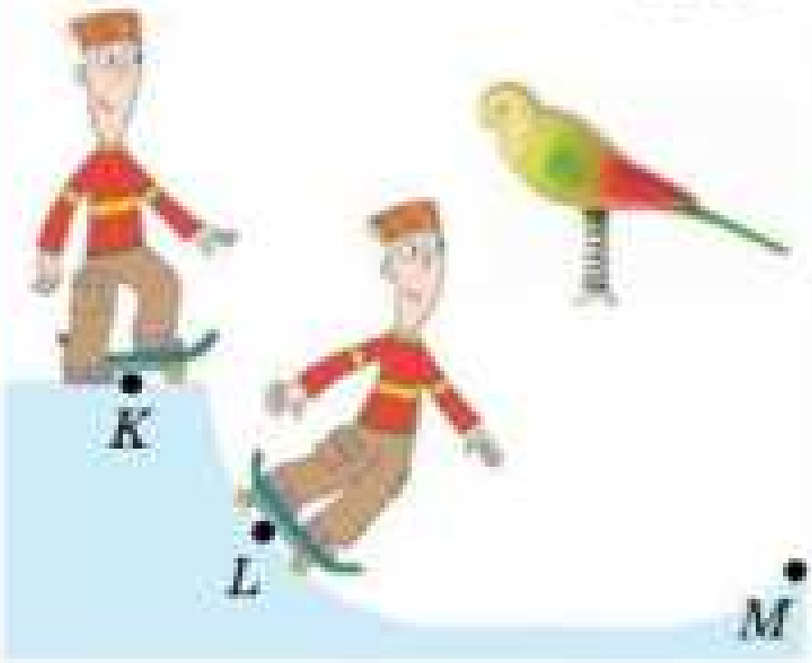


Рис. 8.1. Під час коливань відбувається безперервне перетворення потенціальної енергії кульки на кінетичну та навпаки

Які перетворення енергії відбуваються під час руху на скейті; під час коливань тіла на пружині?



За рахунок запасу кінетичної енергії кулька продовжує рух, піднімаючись усе вище, внаслідок чого *зростає її потенціальна енергія*. Натомість швидкість руху кульки зменшується, а отже, *зменшується її кінетична енергія*.

Нарешті кулька на мить зупиниться *в положенні 3* — на висоті h_{max}. *Кінетична енергія кульки перетвориться на нуль, а потенціальна енергія сягне найбільшого значення.*

Отже, *під час коливань один вид механічної енергії переходить в інший: потенціальна енергія перетворюється на кінетичну і навпаки.*

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...

Складові атома неможливо побачити неозброєним оком. Тому фізики винайшли непрямі методи спостереження — за слідами, які залишають частинки. Такі сліди дещо подібні до сліду, що залишає в небі літак.

Дослідження показали, що в мікросвіті теж виконуються закони збереження, зокрема закон збереження механічної енергії. Саме тому фізики можуть розрахувати траєкторії руху в разі зіткнень не тільки більярдних куль, а й елементарних частинок (електронів, протонів тощо).

2. Закон збереження повної механічної енергії

Чи бачили ви іграшковий пружинний пістолет? Уявімо, що з нього роблять постріл: стискають пружину, натискають на курок, пружина розпрямляється, і кулька набуває руху. А чи зберігається при цьому повна механічна енергія системи «пружина — кулька»?

$|x|$ зменшується
v збільшується

Розглянемо пружину та кульку відразу після звільнення пружини (рис. 8.2). Пружина розпрямляється, її видовження зменшується, відповідно зменшується її потенціальна енергія. Кінетична енергія кульки, навпаки, збільшується, адже весь час, доки пружина розпрямляється, кулька набуває швидкості руху. За умови відсутності сили тертя кінетична енергія кульки збільшиться на стільки, на скільки зменшиться потенціальна

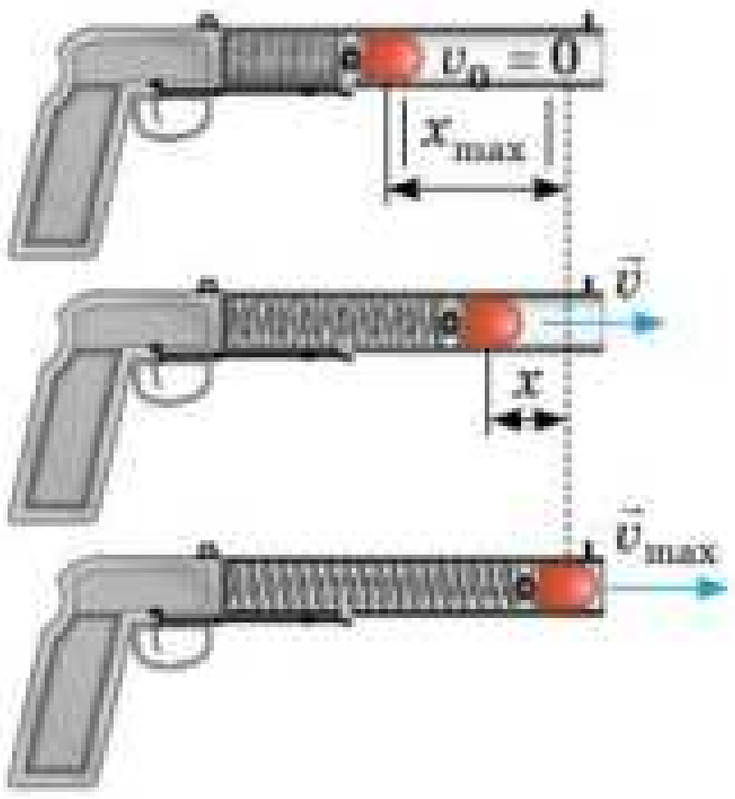


Рис. 8.2. Під час пострілу потенціальна енергія E_p пружини зменшується, а кінетична енергія E_k кульки збільшується

енергія пружини. Отже, повна механічна енергія системи «пружина — кулька» не зміниться.

Те саме можна сказати й про маятники, й про м'яч, кинутий вертикально вгору: за відсутності сил тертя повна механічна енергія залишається незмінною.

Теоретичні й експериментальні дослідження дозволили сформулювати **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:

$$E_{k0} + E_{p0} = E_k + E_p,$$

де $E_{k0} + E_{p0}$ — повна механічна енергія системи тіл на початку спостереження; $E_k + E_p$ — повна механічна енергія системи тіл у кінці спостереження.

ДОСЛІДЖЕННЯ

Що знадобиться: мірна стрічка; сірникова коробка (або якесь інше невелике тіло).

Підкиньте сірникову коробку та спіймайте її. Визначте початкову швидкість руху коробки та швидкість її руху в момент дотику до вашої руки. Висоту, на яку піднялося тіло, виміряйте або оцініть «на око». Опором повітря знехтуйте. Які перетворення енергії відбуваються під час руху коробки?

3. Чому за наявності тертя повна механічна енергія не зберігається?

Нагадаємо: закон збереження і перетворення механічної енергії справджується лише у випадках, коли немає втрат механічної енергії, зокрема за відсутності тертя. Якщо в системі є тертя, то механічна енергія (або її частина) перетворюється на *внутрішню енергію* — енергію руху та взаємодії молекул. (Докладніше про внутрішню енергію див. у § 10.)

Як приклад розглянемо перетворення механічної енергії на внутрішню під час гальмування потяга (рис. 8.4).

Коли машиніст натискає на гальмо, гальмівні колодки притискаються до коліс. Унаслідок дії сили тертя ковзання швидкість

Рис. 8.4. Колесо потяга під час гальмування

обертання колеса, а отже, і швидкість руху потяга зменшуються, тобто зменшується його механічна енергія.

При цьому якщо торкнутися до гальмівних колодок або до колеса відразу після гальмування, то можна навіть обпектися — так сильно вони нагріваються. Нагрівання свідчить про те, що внутрішня енергія цих тіл збільшилася.

Отже, кінетична енергія потяга *перетворилася* на внутрішню енергію гальмівних колодок, колеса та навколишнього середовища, а *не зникла*.

А ЯК НАСПРАВДІ?

— Нещодавно дивився змагання з керлінгу, — розповідав Вадим друзям і подругам. — Дуже цікаво! Якщо стисло, то дві команди змагаються, хто примусить великі камені якомога далі рухатися по льоду в напрямку цілі. Після того як камінь штовхнуть якомога сильніше, він вільно рухається, а гравці чомусь труть лід перед ним спеціальними щітками. Але ж я не розумію навіщо?

— Та це просто, — відповіла Настя. — Спортсмени протирають доріжку у вигляді схилу. Що крутіший схил, то далі й швидше рухається камінь.

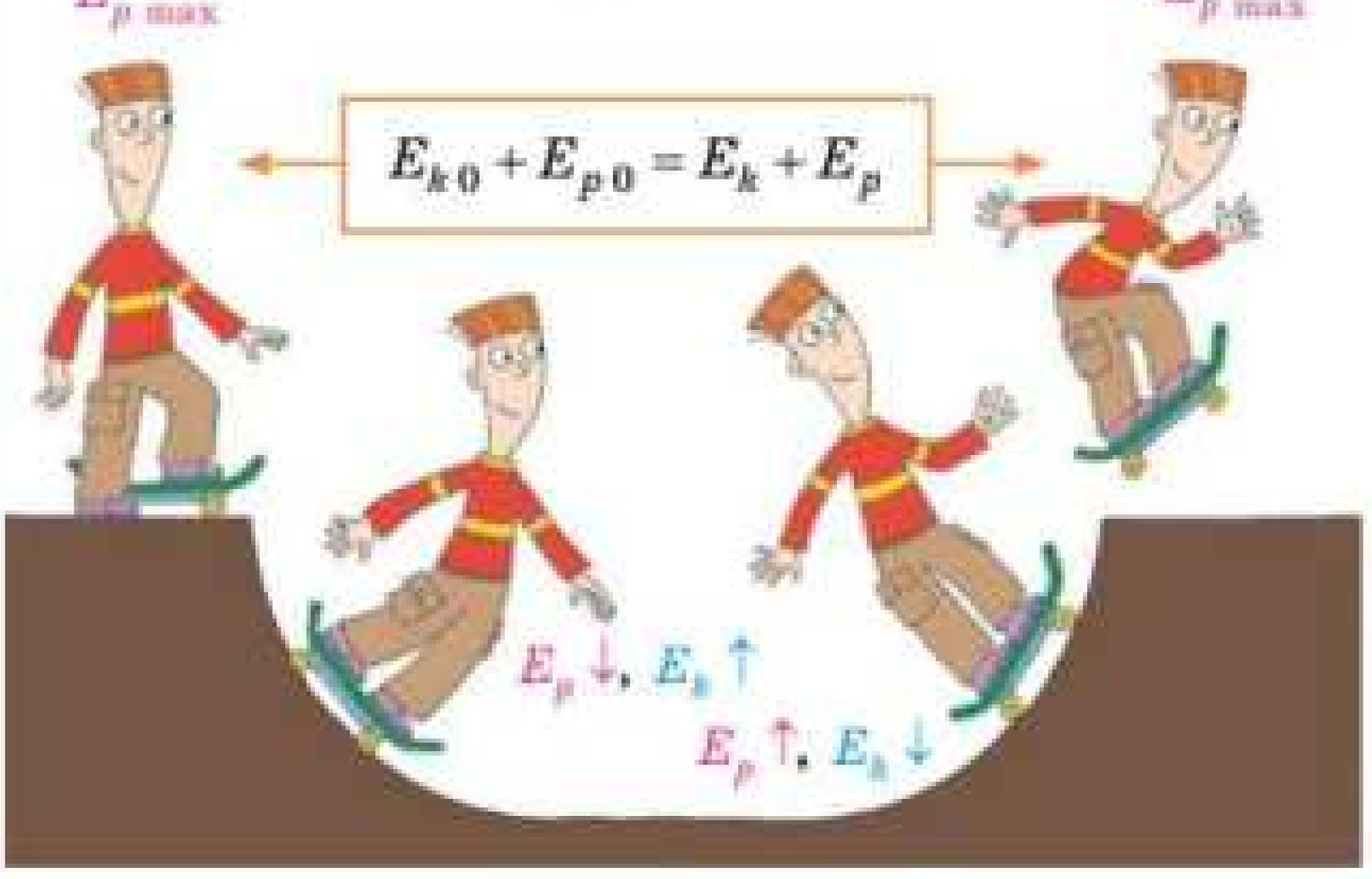
— Не може бути, я б цю доріжку побачив, — заперечив Вадим.

— Може, гравці притягують камінь магнітами? — припустив Сашко.

А як насправді?

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Закон збереження повної механічної енергії: у системі тіл, які взаємодіють одне з одним тільки силами пружності та силами тяжіння, повна механічна енергія не змінюється



Якщо в системі існує *тертя*, то повна механічна енергія із часом зменшується: *частина механічної енергії перетворюється на внутрішню*

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Наведіть приклади перетворення потенціальної енергії тіла на кінетичну та навпаки. 2. Сформулюйте закон збереження механічної енергії. За яких умов він виконується? 3. Наведіть приклади, коли повна механічна енергія не зберігається. Чи порушується при цьому закон збереження і перетворення енергії?

ВПРАВА № 8

1. Розгляньте рис. 1. Які перетворення енергії відбуваються?

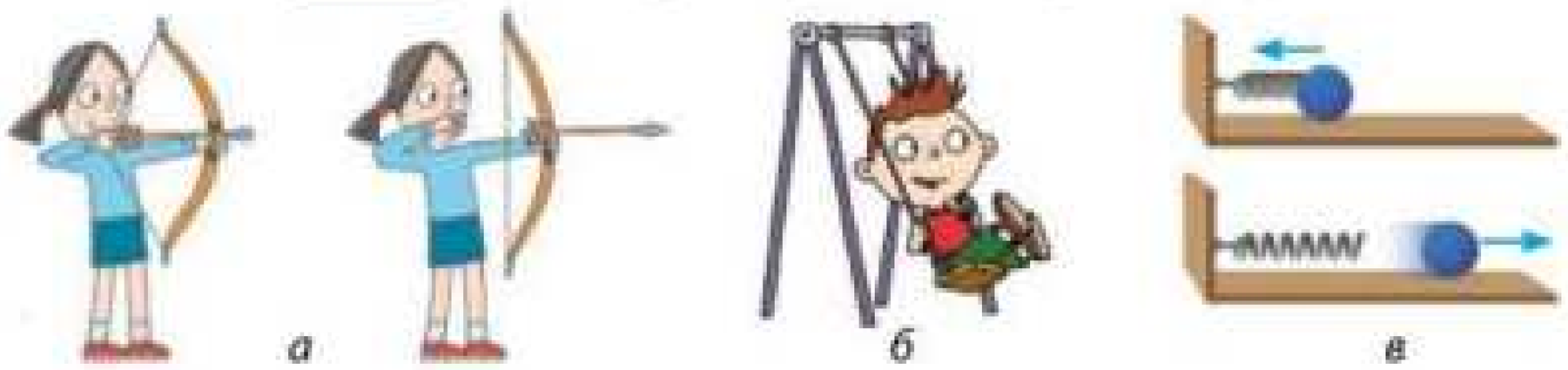


Рис. 1 *а* *б* *в*

2. Шайба зісковзує з льодової гірки на асфальт і зупиняється. Які перетворення енергії при цьому відбуваються? Чи зберігається в цьому випадку повна механічна енергія?

3. Пружинний пістолет заряджають кулькою і стріляють угору. Які перетворення енергії при цьому відбуваються?

4. Тіло масою 400 г кидають угору, надаючи йому кінетичну енергію 8 Дж. На якій висоті кінетична енергія тіла зменшиться до 2 Дж? Якою буде потенціальна енергія тіла на цій висоті? Опором повітря знехтуйте.

5. Чи зберігатиметься повна механічна енергія системи, якщо дівчинка (див. рис. 1, *б*) почне розгойдуватися? Якщо ні, то як і чому повна механічна енергія системи змінюватиметься?

6. Згадайте 5–6 ситуацій, де ви «зустрічалися» із законом збереження і перетворення механічної енергії. Зробіть коротке повідомлення у вигляді коміксів (див., наприклад, рис. 3), відео або презентації.

Рис. 3

Ключові терміни

Закон збереження і перетворення механічної енергії

Видавництво «Ранок»

$m = 50\,г = 0{,}05\,кг$

$x_0 = 4\,см = 0{,}04\,м$

$k = 125\ \frac{Н}{м}$

$v_0 = 0$

$v - ?$

До

Після

$E_{k0} + E_{p0} = E_k + E_p$

$E_{k0} = 0$

$E_{p0} = \frac{kx_0^2}{2}$

$E_k = \frac{mv^2}{2}$

$E_p = 0$

$\frac{kx_0^2}{2} = \frac{mv^2}{2} \Rightarrow v^2 = \frac{kx_0^2}{m} \Rightarrow v = x_0\sqrt{\frac{k}{m}}$

§ 9. УЧИМОСЯ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ЗАДАЧІ

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Поміркуйте, чи зберігається повна механічна енергія системи, якщо зовнішні сили виконують:

- додатну роботу (наприклад, ви кинули м'яч);
- від'ємну роботу (наприклад, велосипед зупинився через дію сили тертя).

Якщо ні, то збільшується чи зменшується механічна енергія? Звідки механічна енергія береться (у разі її збільшення) і куди зникає (у разі її зменшення)? Коли, розвязуючи задачі, ми можемо скористатися законом збереження механічної енергії?

Алгоритм розв'язування задач із застосуванням закону збереження механічної енергії

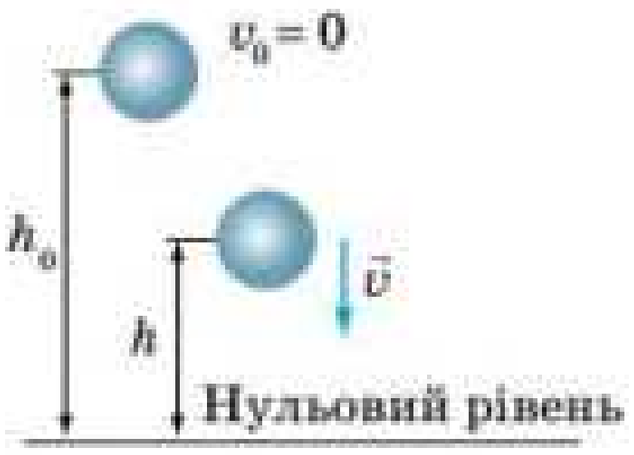
1. Уважно прочитайте умову задачі. З'ясуйте, чи взаємодіють тіла системи лише силами пружності та силами тяжіння. Пам'ятайте: якщо в системі є тертя або над системою виконують роботу зовнішні сили, то повна механічна енергія не зберігається.
2. Запишіть коротку умову задачі. Усі одиниці необхідно подавати в СІ.
3. Виконайте пояснювальний рисунок, на якому зазначте нульовий рівень, стан тіла (системи тіл) на початку та в кінці спостереження.
4. Запишіть закон збереження і перетворення механічної енергії. Конкретизуйте цей запис, скориставшись даними, наведеними в умові задачі, та відповідними формулами для визначення енергій.
5. Розв'яжіть отримане рівняння відносно невідомої величини. Перевірте її одиницю та знайдіть числове значення.
6. Проаналізуйте результат, запишіть відповідь.

Видавництво «Ранок»

■ **Задача 1.** Тіло масою 1 кг починає падати на поверхню Землі з висоти 20 м. На якій висоті кінетична енергія тіла дорівнюватиме 100 Дж? Опором повітря знехтуйте. ■

Аналіз фізичної проблеми. За відсутності опору повітря повна механічна енергія системи «тіло — Земля» не змінюється, тому для розв'язання задачі можемо скористатися законом збереження механічної енергії. Тіло починає рух, тому його початкова швидкість дорівнює нулю: $v_0 = 0$.

Виконаємо рисунок, на якому зазначимо стан тіла на початку та в кінці спостереження. За нульовий рівень оберемо поверхню Землі.



Дано:
$m = 1$ кг
$v_0 = 0$
$h_0 = 20$ м
$E_k = 100$ Дж
$g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$

Знайти:
h — ?

Пошук математичної моделі, розв'язання

За законом збереження механічної енергії:

$$E_{k0} + E_{p0} = E_k + E_p .$$

На початковій висоті h_0:
$E_{k0} = 0$ (адже $v_0 = 0$);
$E_{p0} = mgh_0$.

На шуканій висоті h:
$E_k = 0$ (адже тіло рухається);
$E_p = mgh$.

Отже: $0 + mgh_0 = E_k + mgh$.

Звідси маємо: $mgh = mgh_0 - E_k \Rightarrow h = h_0 - \frac{E_k}{mg}$.

Перевіримо одиницю, знайдемо значення шуканої величини:

$$[h] = \text{м} - \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \frac{\text{Н}}{\text{кг}}} = \text{м} - \frac{\text{Дж}}{\text{Н}} = \text{м} - \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{Н}} = \text{м};$$

$$h = 20 - \frac{100}{1 \cdot 10} = 20 - 10 = 10 \ \text{(м)}.$$

Відповідь: $h = 10$ м.

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...

У 2023 р. у світі було здійснено 211 успішних запусків космічних апаратів, які доставили на орбіту тонни корисного вантажу: супутники, запаси для Міжнародної космічної станції тощо. Для того щоб корисний вантаж, наприклад ракети Falcon-9, опинився на орбіті й не «впав» на Землю, його механічна енергія має дорівнювати приблизно 750 млрд джоулів. Саме тому маса корисного вантажу становить лише 4 % від стартової маси ракети, а маса ракетного палива — 87 %.

Видавництво «Ранок»

■ **Задача 2.** Тіло кидають вертикально вгору зі швидкістю 20 м/с. На якій висоті потенціальна енергія тіла дорівнюватиме його кінетичній енергії? Опором повітря знехтуйте. ■

Аналіз фізичної проблеми. Оскільки опором повітря ми нехтуємо, то повна механічна енергія системи «тіло — Земля» не змінюється, отже, для розв'язання задачі можемо скористатися законом збереження механічної енергії. Рівень, з якого кидають тіло, візьмемо за нульовий.

Дано:

$v_0 = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

$E_p = E_k$

$g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$

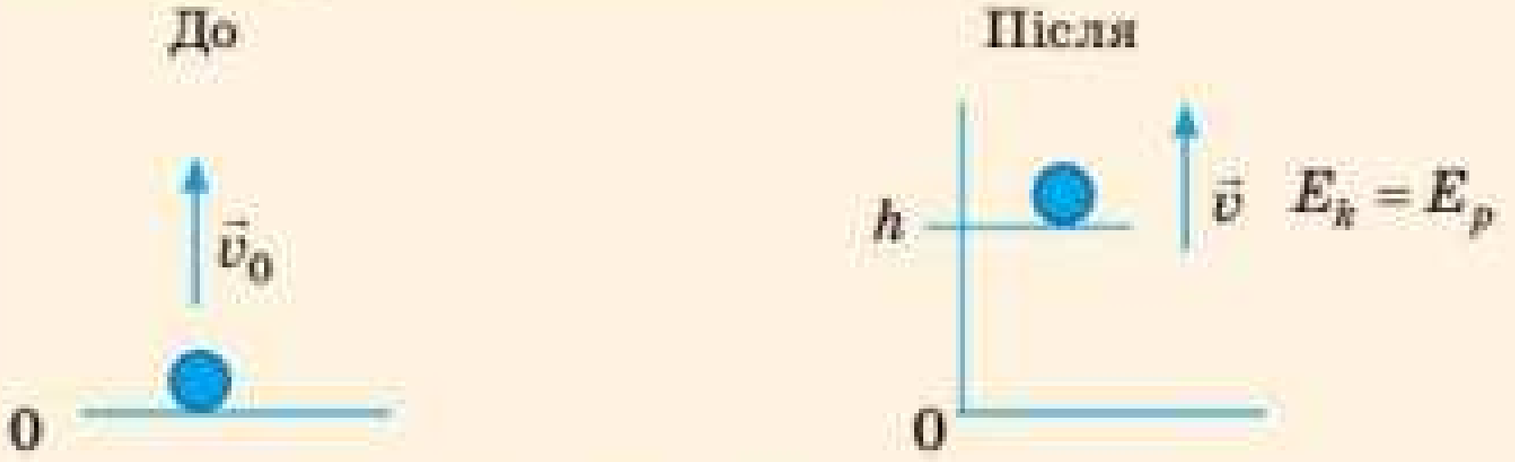
$h_0 = 0$

Знайти:

h — ?

Пошук математичної моделі, розв'язання

Виконаємо рисунок, на якому зазначимо стан тіла на початку та в кінці спостереження. Запишемо закон збереження механічної енергії.



$$E_{k0} + E_{p0} = E_k + E_p .$$

$E_{k0} = \frac{mv_0^2}{2}$;

$E_{p0} = 0$ (адже $h_0 = 0$).

$E_k = E_p$ — за умовою;

$E_p = mgh$.

Отже: $\frac{mv_0^2}{2} = mgh + mgh$.

З одержаного рівняння визначимо шукану висоту:

$\frac{mv_0^2}{2} = 2mgh \Rightarrow mv_0^2 = 4mgh$, звідки $h = \frac{v_0^2}{4g}$.

Знайдемо значення шуканої величини: $h = \frac{20 \cdot 20}{4 \cdot 10} = \frac{400}{40} = 10$ (м).

Відповідь: $h = 10$ м.

Зверніть увагу! Якщо в задачі перевірити одиницю, то, на перший погляд, одержимо дивний результат: $h = \frac{v_0^2}{2g} \Rightarrow [h] = \frac{\text{м}^2/\text{с}^2}{\text{Н}/\text{кг}} = \frac{\text{м}^2 \cdot \text{кг}}{\text{с}^2 \cdot \text{Н}}$.

Насправді нічого дивного! Згадаємо означення ньютона: 1 ньютон — *це сила, яка, діючи на тіло масою* 1 кг *протягом* 1 с, *змінює швидкість руху цього тіла на* 1 м/с. Тобто $\text{Н} = \text{кг} \cdot \frac{\text{м}/\text{с}}{\text{с}} = \text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$.

Тоді $[h] = \frac{\text{м}^2/\text{с}^2}{\text{Н}/\text{кг}} = \frac{\text{м}^2 \cdot \text{кг}}{\text{с}^2 \cdot \text{Н}} = \frac{\text{м}^2 \cdot \text{кг}}{\text{с}^2 \cdot \text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = \text{м}$. Отже, одержано слушний результат.

■ **Задача 3.** Учасник атракціону з банджі-джампінгу здійснює стрибок з моста (див. рисунок). Якою є жорсткість гумового канату, до якого прив'язаний спортсмен, якщо під час падіння канат розтягнувся від 40 до 100 м? Маса спортсмена 72 кг, початкова швидкість його руху дорівнює нулю. Опором повітря знехтуйте. ■

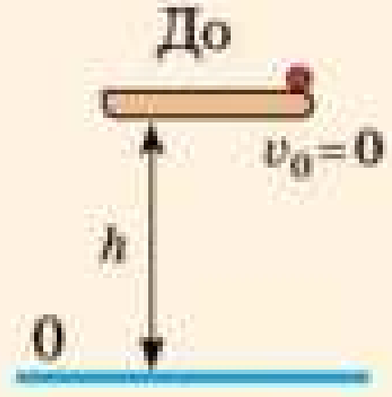
Аналіз фізичної проблеми. Опором повітря нехтуємо, тому для розв'язання задачі скористаємося законом збереження механічної енергії: на початку стрибка спортсмен має потенціальну енергію піднятого тіла, в найнижчій точці ця енергія перетворюється на потенціальну енергію деформованого каната.

Дано:
$l_0 = 40$ м
$l = 100$ м
$m = 72$ кг
$v_0 = 0$
$g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$

Знайти:
k — ?

Пошук математичної моделі, розв'язання

Виконаємо рисунок, на якому зазначимо стан спортсмена на початку та в кінці спостереження. За нульовий рівень оберемо найнижче положення спортсмена (канат розтягнений максимально, швидкість руху спортсмена дорівнює 0). Запишемо закон збереження механічної енергії.



$$E_{k0} + E_{p0} = E_k + E_p.$$

$E_{k0} = 0$ (оскільки $v_0 = 0$);

$E_{p0} = mgh$, де $h = l$ — довжина розтягнутого каната.

$E_k = 0$ (оскільки $v = 0$);

$E_p = \frac{kx^2}{2}$, де $x = l - l_0$ — видовження каната.

Отже, маємо: $0 + mgl = 0 + \frac{k(l - l_0)^2}{2}$. Остаточно отримуємо: $k = \frac{2mgl}{(l - l_0)^2}$.

Перевіримо одиницю та знайдемо значення шуканої величини:

$$[k] = \frac{\text{кг} \cdot \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot \text{м}}{\text{м}^2} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{м}^2} = \frac{\text{Н}}{\text{м}}; \qquad k = \frac{2 \cdot 72 \cdot 10 \cdot 100}{(100 - 40)^2} = \frac{2 \cdot 72 \cdot 1000}{3600} = 40 \text{ (Н/м)}.$$

Відповідь: $k = 40$ Н/м.

ВПРАВА № 9

Виконуючи завдання, опором повітря знехтуйте.

1. Камінь масою 500 г кинули вертикально вгору зі швидкістю 20 м/с. Визначте кінетичну і потенціальну енергії каменя на висоті 10 м.

2. Тіло, що перебувало в стані спокою, падає з висоти 20 м. На якій висоті швидкість руху тіла дорівнюватиме 10 м/с?

3. Пружинний пістолет заряджають кулькою масою 6 г і стріляють угору. На яку висоту підніметься кулька, якщо пружину жорсткістю 180 Н/м було стиснуто на 4 см?

4. М'яч кинули вертикально вгору зі швидкістю 8 м/с. Визначте, на якій висоті швидкість руху м'яча зменшиться удвічі.

5. Кульку кинули горизонтально з висоти 4 м зі швидкістю 8 м/с. Визначте швидкість руху кульки в момент падіння на поверхню землі.

6. Вантаж масою 40 кг скинули з літака. Після того як на висоті 400 м швидкість руху вантажу досягла 20 м/с, він почав рухатися рівномірно. Визначте: 1) повну механічну енергію вантажу: а) на висоті 400 м; б) в момент приземлення; 2) енергію, на яку перетворилася частина механічної енергії вантажу.

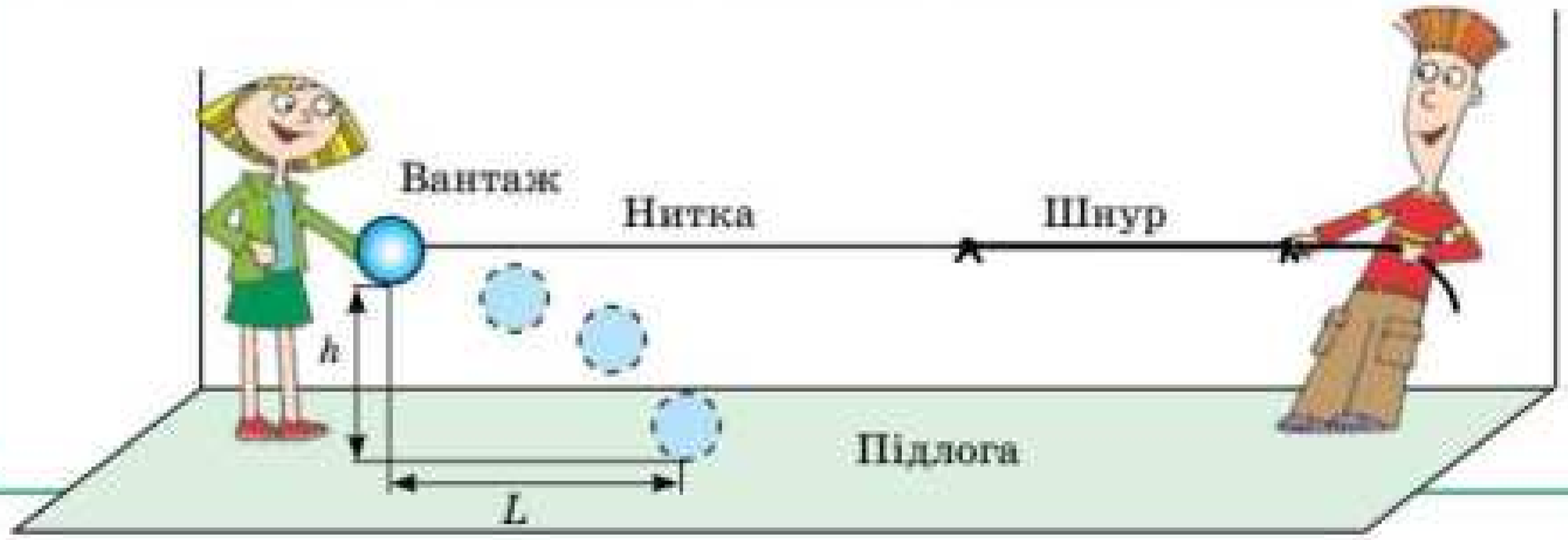
7. Складіть задачу, обернену до задачі, розв'язання якої подано на заставці до § 9, і розв'яжіть її.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

Що знадобиться: гумовий шнур завдовжки 20–30 см; міцна нитка; вантаж відомої маси (100 г цукерок, пакетик солі тощо).

Зав'яжіть на обох кінцях гумового шнура по вузлику, прикріпіть до одного з вузликів міцну нитку, до другого кінця нитки прив'яжіть вантаж. Тримаючи шнур за вузлик, розташуйте вантаж на висоті 50–60 см від підлоги так, як показано на рисунку. Натягніть шнур, потім відпустіть вантаж. Візуально визначте місце, де він упав на підлогу. Змінюючи натяг шнура, прослідкуйте за зміною дальності польоту вантажу. Поясніть отриманий результат.

Чи можете ви дізнатися, чому дорівнює швидкість руху вантажу в момент падіння на підлогу? Які вимірювання потрібно зробити?



Видавництво «Ранок»

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ РОЗДІЛУ 1

mk.com.ua/110482

1. Ви ознайомилися з *простими механізмами*.

ВИДИ ПРОСТИХ МЕХАНІЗМІВ

- **Похила площина**
  - Пандус
  - Клин
  - Гвинт
- **Важіль**
  - Важіль
  - Колесо на осі
  - Блок
  - Коловорот

2. Ви з'ясували, що жоден *простий механізм не дає виграшу в роботі*, та ознайомилися з фізичною величиною — *коефіцієнтом корисної дії механізму*.

$$\eta = \frac{A_{кор}}{A_{повна}} \cdot 100\,\%$$

3. Ви дізналися про *механічну роботу, механічну енергію і потужність*.

Механічна робота	Енергія	Потужність
$A = Fl$ $[A]$ = Дж = Н·м Характеризує результат дії сили	$[E]$ = Дж = Н·м Характеризує здатність тіла (або системи тіл) виконувати роботу	$N = \frac{A}{t}$ $[N]$ = Вт = Дж/с Характеризує швидкість виконання роботи

4. Ви навчилися розрізняти *кінетичну і потенціальну енергії* та дізналися про *закон збереження повної механічної енергії*.

МЕХАНІЧНА ЕНЕРГІЯ

- **Кінетична енергія**
  - $E_k = \frac{mv^2}{2}$
- **Потенціальна енергія**
  - піднятого на висоту h тіла: $E_p = mgh$
  - пружно деформованої пружини (шнура): $E_p = \frac{kx^2}{2}$

У системі тіл, які взаємодіють одне з одним тільки силами пружності та силами тяжіння, повна механічна енергія не змінюється:

$$E_{k0} + E_{p0} = E_k + E_p$$

ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ ДО РОЗДІЛУ 1

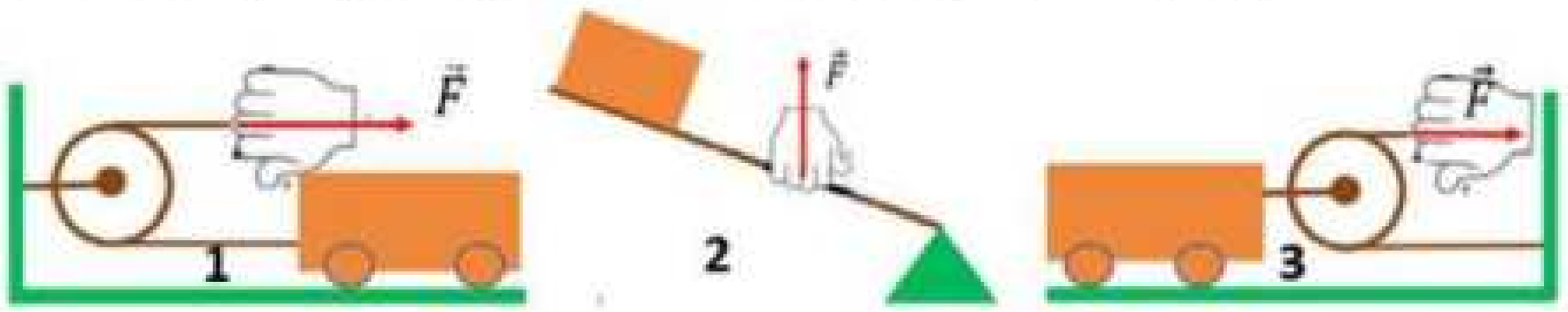
mk.com.ua/110476

Вважайте, що $g = 10$ Н/кг.

Група результатів 1. Проводимо дослідження природи

1. *(2 бали)* Учень намагається визначити середню потужність, із якою він піднімає гантель. Які прилади йому для цього знадобляться?
   а) терези, лінійка, секундомір;
   б) динамометр, мензурка, годинник;
   в) лінійка, динамометр;
   г) рулетка, терези.

2. *(3 бали)* Установіть відповідність між простим механізмом, зображеним на рисунку (1–3), і метою його застосування (А–Г).



А Для виграшу в роботі
Б Для виграшу у відстані
В Для зміни напрямку сили
Г Для виграшу в силі

3. *(2 бали)* Запишіть план проведення експерименту щодо вимірювання середньої кінетичної енергії іграшкового автомобіля на радіокеруванні.

4. *(5 балів)* Під час виконання лабораторної роботи автомобіль спочатку рухався вниз (рис. 1), а після того, як учениця поступово додавала у відерце пісок, почав рухатися вгору.
   а) *(1 бал)* Які прості механізми входять до складу пристрою?
   б) *(2 бали)* Зобразіть сили, що діють на відерце та автомобіль.
   в) *(2 бали)* Запишіть для кожного випадку формулу для визначення ККД пристрою.

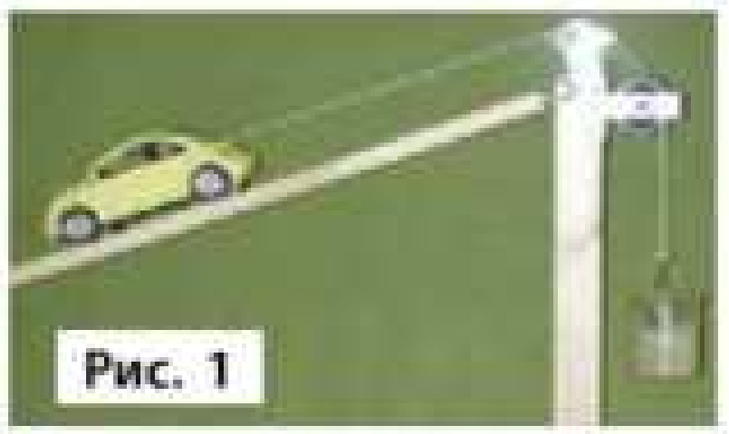


Рис. 1

Група результатів 2. Здійснюємо пошук та опрацьовуємо інформацію

5. *(2 бали)* За допомогою пристрою, зображеного на рис. 2, піднімають вантаж масою 40 кг, прикладаючи до вільного кінця мотузки силу 300 Н. Визначте ККД пристрою. Виберіть усі правильні твердження.
   а) До складу пристрою входять два рухомі блоки.
   б) $F_{тяж} = 300$ Н.
   в) $m_{вант} = 40$ кг.
   г) Якщо точка A мотузки опуститься на 2 м, то вантаж підніметься на 1 м.
   д) За реальних умов жодний пристрій не може мати ККД 100 %.

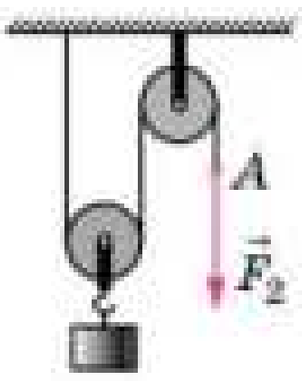


Рис. 2

Видавництво «Ранок»

6. *(2 бали)* Чи правильним є твердження: «Кінетична енергія сучасних електромобілів може сягати 12 МДж»? Так чи ні?

7. *(2 бали)* Якщо використання простого механізму дає виграш у силі в 6 разів, то за ідеальних умов маємо:
а) програш у відстані в 6 разів; в) програш у відстані в 36 разів;
б) виграш у відстані в 6 разів; г) виграш у відстані в 36 разів.

8. *(3 бали)* Установіть відповідність між назвою пристрою (1–3) та простими механізмами (А–Д), що входять до його складу. *Зверніть увагу:* один пристрій може містити кілька простих механізмів.

1 Міксер	2 Ножиці	3 Таця		
А Важіль	Б Клин	В Колесо	Г Блок	Д Коловорот

9. *(3 бали)* За графіком залежності сили, що діє на тіло, від шляху, який долає тіло під дією цієї сили (рис. 3), знайдіть роботу цієї сили: а) на перших 5 см шляху; б) на останніх 5 см шляху.

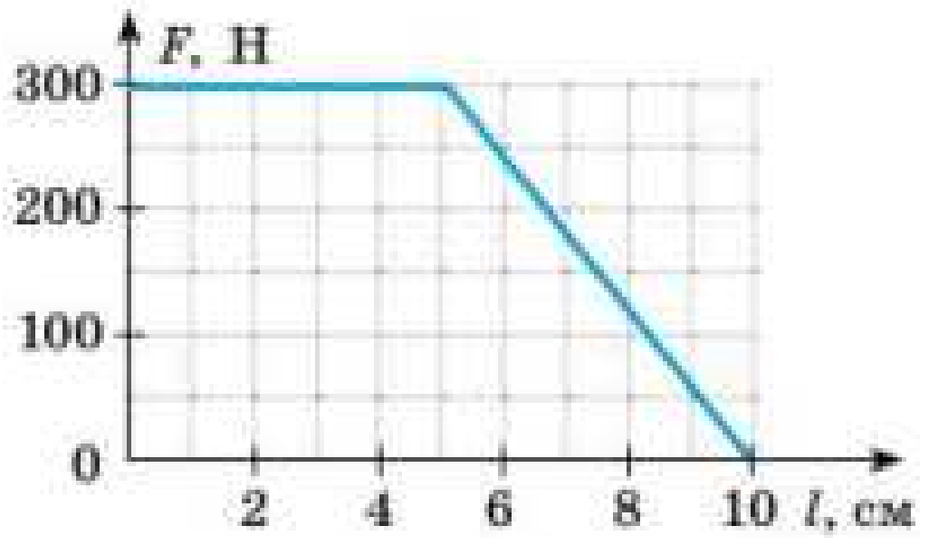


Рис. 3

Група результатів 3. Усвідомлюємо закономірності природи

10. *(1 бал)* Якщо потужність механізму дорівнює 100 Вт, то цей механізм:
а) за 100 с виконує роботу 1 Дж; в) за 1 с виконує роботу 0,01 Дж;
б) за 10 с виконує роботу 10 Дж; г) за 1 с виконує роботу 100 Дж.

11. *(2 бали)* Яку роботу треба виконати, щоб витягти відро з водою з колодязя завглибшки 12 м? Маса відра з водою 8 кг.
а) 1,5 Дж; б) 15 Дж; в) 96 Дж; г) 960 Дж.

12. *(2 бали)* За який час двигун потужністю 100 Вт виконає роботу 2 кДж?
а) 0,05 с; б) 20 с; в) 50 с; г) 200 с.

13. *(2 бали)* Кит, що пливе під водою зі швидкістю 18 км/год, розвиває потужність 150 кВт. Яка сила опору води?

14. *(2 бали)* Загальна маса двох вантажів (рис. 4) становить 25 кг. Якою є маса кожного вантажу, якщо важіль перебуває в рівновазі?

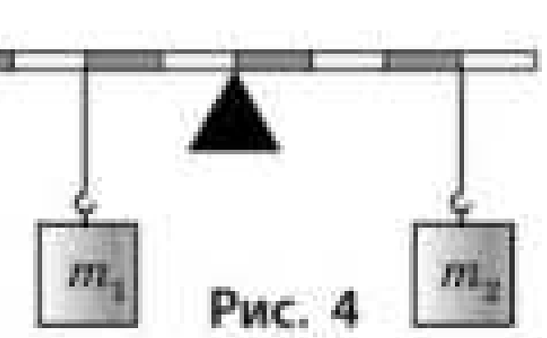


Рис. 4

15. *(3 бали)* М'яч масою 600 г кинули вертикально вгору з початковою швидкістю 20 м/с. Знайдіть потенціальну і кінетичну енергії м'яча в момент, коли швидкість його руху зменшиться у 2 рази. Опір повітря не враховуйте.

Звірте ваші відповіді з наведеними в кінці підручника. Позначте завдання, які ви виконали правильно, і полічіть суму балів окремо за кожною групою результатів. Одержаний результат відповідатиме рівню ваших навчальних досягнень.

ТЕМИ ПОВІДОМЛЕНЬ

1. Важелі в живій природі.
2. Прості механізми навколо нас: історія і сучасність.
3. Прості механізми у винаходах Леонардо да Вінчі.
4. Історія відкриття закону збереження та перетворення енергії.
5. Видатний український учений-механік С. П. Тимошенко.
6. Використання енергії води й вітру.
7. Потужність і габарити найпотужніших двигунів автомобілів, суден, літаків і ракет.
8. Чи зміг би Архімед зрушити Землю?
9. Блоки та поліспасти на яхтах і вітрильниках.
10. Старовинні катапульти.

ТЕМИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Визначення потужності, яку розвивають діти на уроках фізкультури.
2. Визначення ККД велосипеда під час нерівномірного руху.
3. Виготовлення поліспаста з підручних засобів і визначення його ККД.
4. Виготовлення пристрою, який працює на енергії падіння води. Оцінювання його ККД.

ТЕМИ НАВЧАЛЬНИХ ПРОЄКТІВ

1. Важелі в живій природі. Біомеханіка людини.
2. Використання енергії річок: від водяного колеса до гідротурбіни.
3. Вплив експлуатаційних характеристик велосипеда (тиск у шинах, змащування тощо) на його ККД.
4. Прості механізми в побутових пристроях та іграшках.
5. Визначення виграшу в силі, який можна отримати за допомогою найпростіших пристроїв (ножиці, гайковий ключ, блок тощо).

Видавництво «Ранок»

РОЗДІЛ 2

ВНУТРІШНЯ ЕНЕРГІЯ. ТЕПЛОВІ ЯВИЩА

Ви знаєте температуру власного тіла, а дізнаєтеся, яка температура в каналі блискавки

Ви знаєте, що температура кипіння води дорівнює 100 °С, а дізнаєтеся, як змусити воду закипіти за кімнатної температури

Зазвичай, коли холодно, ви одягаєте теплі речі, а тепер зможете дізнатися, чи дійсно вони гріють

mk.com.ua/
110483

§ 10. ТЕПЛОВИЙ СТАН ТІЛ. ТЕМПЕРАТУРА ТА ЇЇ ВИМІРЮВАННЯ

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Візьміть три посудини. Першу посудину заповніть теплою водою, другу — крижаною, а третю — водою кімнатної температури. Помістіть одну руку в посудину з теплою водою, а іншу — з крижаною. За хвилину помістіть обидві руки в третю посудину. Опишіть свої відчуття. Чи однаково сприймають ваші руки ступінь нагріття води в третій посудині?

1. Чи завжди можна оцінити температуру тіла на дотик?

З'ясовуючи, *наскільки нагріті* ті чи інші тіла, ми порівнюємо їхні температури.

Початкових уявлень про температуру людина набула за допомогою дотику. Характеризуючи, наприклад, тепловий стан дуже холодного тіла, можна сказати, що воно «крижане», тобто порівняти свої відчуття від дотику до цього тіла з відчуттями, що виникають унаслідок дотику до криги.

Однак, визначаючи ступінь нагріття тіл на дотик, можна дати лише приблизну оцінку їхньої температури. Навіть більше — відчуття можуть нас обманювати. Справді, за тієї самої кімнатної температури металеві предмети здаються холоднішими, ніж дерев'яні або пластмасові, а шорсткі — теплішими, ніж гладенькі (рис. 10.1). І, як ви вже переконалися, навіть одне тіло в той самий момент може мати на дотик різний ступінь нагріття.

Рис. 10.1. Дослід на підтвердження суб'єктивності наших відчуттів: гладенький папір здається холоднішим, ніж шорсткий килимок

Досліди показують: коли більш нагріте тіло контактує з менш нагрітим, то більш нагріте тіло завжди охолоджується, а менш нагріте — нагрівається. До того ж можуть змінюватися й інші властивості тіл (наприклад, розмір). Натомість *однаково нагріті тіла, контактуючи одне з одним, не змінюють своїх властивостей*, і тоді кажуть, що *ці тіла перебувають* **у стані теплової рівноваги** (рис. 10.2).

Температура — це фізична величина, яка характеризує стан теплової рівноваги системи тіл.

2. Який фізичний зміст температури?

Температура тіла тісно пов'язана зі швидкістю хаотичного руху частинок речовини, з яких складається тіло (атомів, молекул, йонів). Цей рух так і називають — *тепловий*.

Які частинки називають атомами, а які — молекулами?

Частинки речовини завжди рухаються, отже, завжди *мають кінетичну енергію*. Чим швидше рухаються частинки, тим вища температура тіла.

Швидкість руху окремих частинок (а отже, їхня кінетична енергія) безперервно змінюється. Проте в стані теплової рівноваги в усіх тілах системи середня кінетична енергія частинок (тобто кінетична енергія, що припадає в середньому на одну частинку) є однаковою. З погляду молекулярно-кінетичної теорії можна дати таке означення температури:

Температура — міра середньої кінетичної енергії хаотичного руху частинок речовини, з яких складається тіло.

Рис. 10.2. Однаково гарячі або однаково холодні тіла перебувають у стані теплової рівноваги: *а* — книжки перебувають у стані теплової рівноваги зі столом; *б* — дрова перебувають у стані теплової рівноваги з повітрям; *в* — іграшки перебувають у стані теплової рівноваги з водою

Отже, є об'єктивний чинник для визначення температури тіла — це середня кінетична енергія його частинок. Цей чинник не залежить від наших відчуттів, проте він аж ніяк не допоможе виміряти температуру.

Як ви вважаєте, чому неможливо безпосередньо виміряти середню кінетичну енергію руху частинок, з яких складається тіло?

3. Як правильно вимірювати температуру?

Прилади для вимірювання температури називають **термометрами.**

Дія термометрів заснована на тому, що зі зміною температури тіла змінюються певні властивості цього тіла (рис. 10.3).

Розглянемо, наприклад, *рідинний термометр*, дія якого ґрунтується на розширенні рідини під час нагрівання (докладніше про

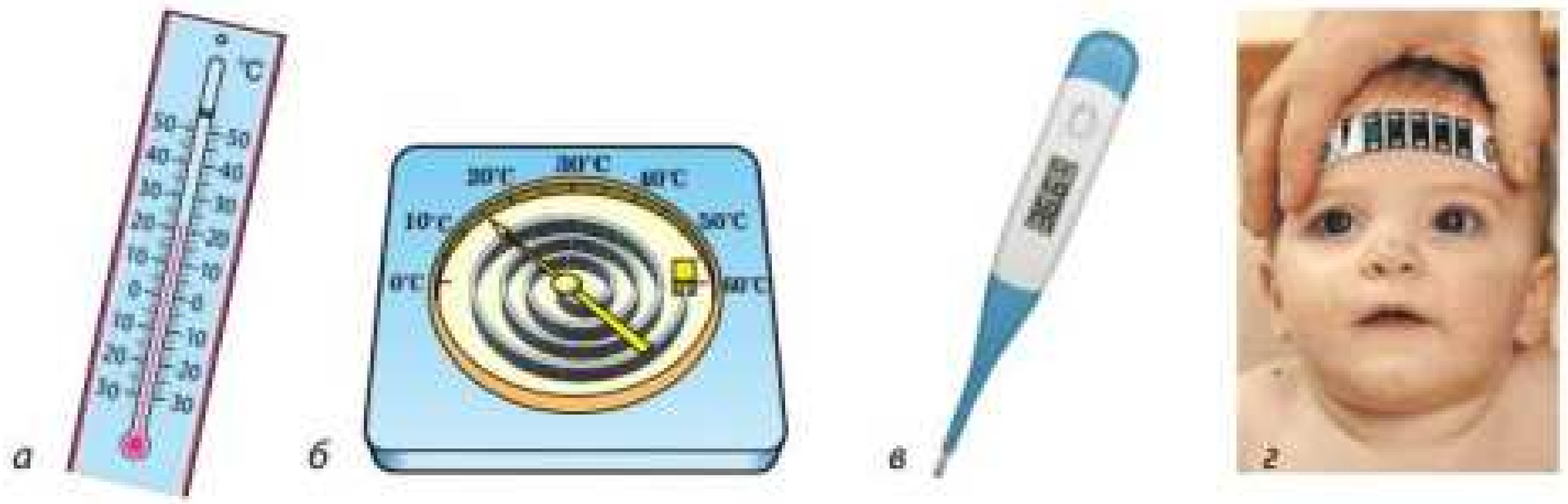


Рис. 10.3. Різні види термометрів: *а — рідинний* (мірою температури є довжина стовпчика рідини); *б — біметалевий* (біметалева пластинка, яка з'єднана зі стрілкою термометра, вигинається в результаті нагрівання); *в — побутовий електронний термометр* (зі зміною температури змінюються покази на цифровому табло); *г — рідинно-кристалічний* (унаслідок зміни температури змінюється колір відповідної ділянки термометра)

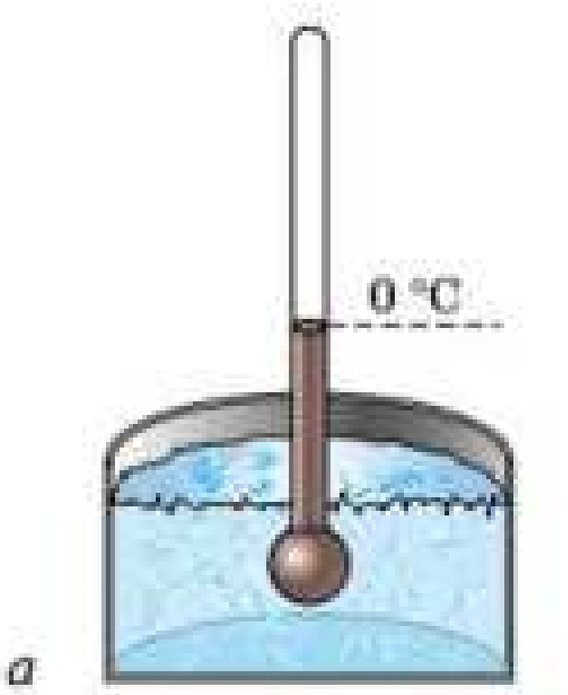
Видавництво «Ранок»

це ви дізнаєтесь із § 11). Найпростіший рідинний термометр складається з резервуара, наповненого рідиною (зазвичай спиртом), довгої тонкої трубки, у яку виступає стовпчик цієї рідини, і шкали (рис. 10.4). Об'єм рідини є мірою температури: чим вища температура тіла, тим більшим є об'єм рідини й тим вищий стовпчик рідини в термометрі.

Рис. 10.4. Будова рідинного термометра

Щоб за довжиною стовпчика рідини можна було визначати температуру, слід нанести шкалу, насамперед позначивши на ній так звані *реперні точки*, тобто точки, на яких ґрунтується температурна шкала. Вони мають бути пов'язані з якимись фізичними процесами, які відбуваються за незмінної температури та які легко відтворити. Наприклад, для побудови найбільш використовуваної *шкали Цельсія* за реперні точки беруть:

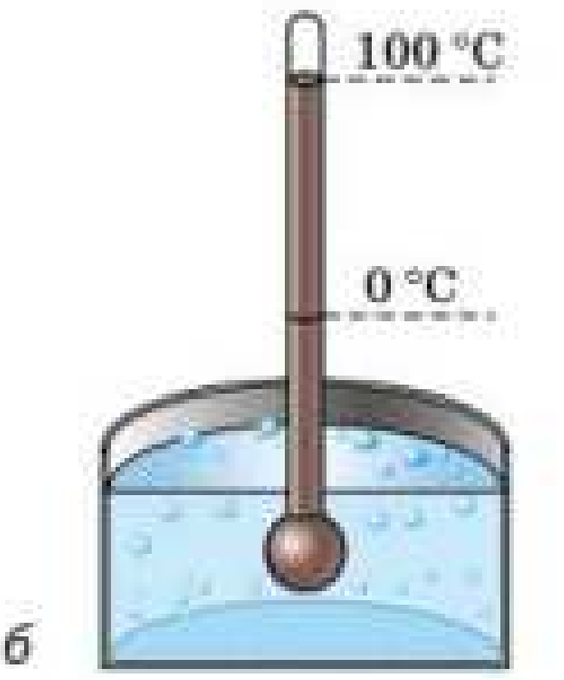
0 °C — *температуру танення чистого льоду за нормального атмосферного тиску.* Для цього резервуар майбутнього термометра опускають у лід, що тане, і, дочекавшись, коли стовпчик рідини припинить рух, навпроти поверхні рідини в стовпчику ставлять позначку 0 °C (рис. 10.5, *а*);



а

Температурі танення льоду приписують значення 0 °C

100 °C — *температуру кипіння води за нормального атмосферного тиску.* Резервуар майбутнього термометра занурюють у воду, що кипить, і положення стовпчика рідини позначають як 100 °C (рис. 10.5, *б*).



б

Температурі кипіння води приписують значення 100 °C

Рис. 10.5. Побудова температурної шкали Цельсія

Видавництво «Ранок»

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...

У побуті фізичне тіло з «високою температурою» — це зазвичай посуд, у якому готується їжа (температура від 100 до 300 °С).

Коли йдеться про зорі, то маємо справу зі значеннями температури, які в сотні разів вищі. Наприклад, температура поверхні Сонця сягає 5500 °С. Зорі, які за масою менші від Сонця, значно «холодніші» — температура їхньої поверхні «всього» 2500 °С. Але ж є ще блакитні гіганти, маса яких у десятки разів більша за масу Сонця, а температура їхньої поверхні — понад 30 000 °С.

Поділивши відстань між позначками 0 і 100 °С на сто рівних частин, отримаємо термометр, який проградуйовано за шкалою Цельсія, та одиницю температури за цією шкалою — **градус Цельсія** (°С).

1 °С *дорівнює одній сотій частині зміни температури води під час її нагрівання від температури плавлення до температури кипіння за нормального атмосферного тиску.*

Температуру, виміряну за шкалою Цельсія, позначають символом t:

$$[t] = {}^\circ\text{C}.$$

У СІ за основну одиницю температури взято **кельвін** (К). Під час виконання розрахунків фізики використовують саме шкалу Кельвіна. Температура, виміряна за шкалою Цельсія (t), пов'язана з температурою, виміряною за шкалою Кельвіна (T), співвідношенням:

$$t = T - 273.$$

Зверніть увагу: ***термометр показує власну температуру,*** **отже, вимірюючи температуру будь-якого тіла, слід дочекатися стану теплової рівноваги між тілом і термометром.**

Яким значенням температури за шкалою Кельвіна відповідає температура кипіння води й температура танення льоду за нормального атмосферного тиску?

А ЯК НАСПРАВДІ?

Причиною жвавої дискусії стало повідомлення Юлії: «Учора дивилася фільм про подорож з Аляски до Каліфорнії. З Аляскою було «усе ок». Там холодно, люди в кадрі одягнені відповідно. І диктор говорила про мінус 20 градусів. А потім стали показувати спекотну Каліфорнію. Але коментар, що температура повітря 102 градуси, мене вразив. Як таке може бути?

— Мабуть, ти недочула? — припустив Ігор.

— Але ж американці будують на вулицях укриття, які оснащені кондиціонерами. Ззовні дійсно спекотно, а в укриттях — комфортно, — зазначила Тетяна.

— Усе значно простіше. У США температура вимірюється в градусах, але не Цельсія. На жаль, забув прізвище вченого, на честь якого названа ця шкала, — висловив свою думку Ярослав.

А як насправді?

Видавництво «Ранок»

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Характеризує стан теплової рівноваги ← **ТЕМПЕРАТУРА** → Міра середньої кінетичної енергії руху частинок речовин, з яких складається тіло

t або T

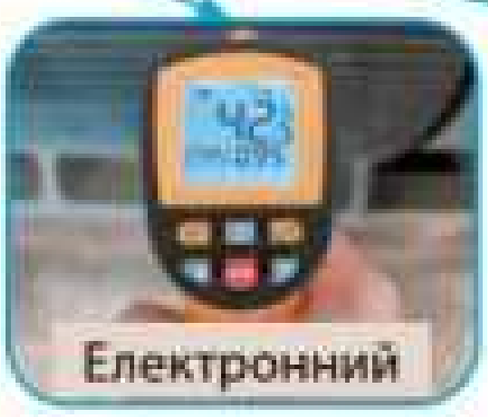
$[t] = °C$ $[T] = K$

$$t = T - 273$$

ВИДИ ТЕРМОМЕТРІВ

Рідинний

Біметалевий


Електронний

Рідинно-кристалічний

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Чому не завжди можна оцінити температуру тіла на дотик? 2. У чому полягає стан теплової рівноваги? 3. Наведіть два означення температури. 4. Чому хаотичний рух частинок речовини називають тепловим рухом? 5. Наведіть приклади різних термометрів. На чому ґрунтується їхня дія? 6. Опишіть принцип дії рідинного термометра. 7. Назвіть реперні точки шкали Цельсія.

ВПРАВА № 10

1. Наведіть приклади тіл у стані теплової рівноваги.

2. Згадайте будову й принцип дії рідинного термометра та поясніть, що більше розширюється під час нагрівання — скло чи рідина.

3. Чому розміри термометра мають бути невеликими порівняно з розмірами тіла, температуру якого вимірюють?

4. Скориставшись додатковими джерелами інформації, установіть відповідність між фізичним тілом (1–4) і його температурою (А–Е).

1 Морозиво	3 Пиріжок у духовці
2 Бенгальський вогонь	4 Поверхня Місяця вдень

А 180 °C Б 9 °C В 1100 °C Г 5500 K Д 273 K Е 393 K

5. Дізнайтеся про історію створення термометрів і температурних шкал (Фаренгейта, Реомюра тощо). Підготуйте коротке повідомлення.

Ключові терміни

Теплова рівновага · Температура · Шкала Цельсія · Градус Цельсія · Кельвін · Термометр · Реперні точки · Абсолютний нуль

Видавництво «Ранок»

mk.com.ua/
110484

§ 11. ЗАЛЕЖНІСТЬ РОЗМІРІВ ФІЗИЧНИХ ТІЛ ВІД ТЕМПЕРАТУРИ

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. На рисунку зображено дослід, який можна провести й з побутовими засобами. Висловіть гіпотезу щодо причин спостережуваного явища. Чи можна пояснити тими самими причинами мимовільну зміну об'єму пластикової пляшки, яку поклали в морозильну камеру або взимку винесли з теплої кімнати на вулицю?

1. Як експериментально довести теплове розширення рідин і твердих тіл?

Нескладні досліди й численні спостереження переконують у тому, що *зазвичай тверді тіла, рідини й гази під час нагрівання розширюються, а під час охолодження — стискаються.*

Для спостереження *теплового розширення рідин* наповнимо колбу підфарбованою водою та закоркуємо так, щоб частина рідини потрапила в скляну трубку, розміщену в корку (рис. 11.1, *а*). Зафіксуємо, на якому рівні розташована рідина в трубці, й опустимо колбу в посудину з гарячою водою.

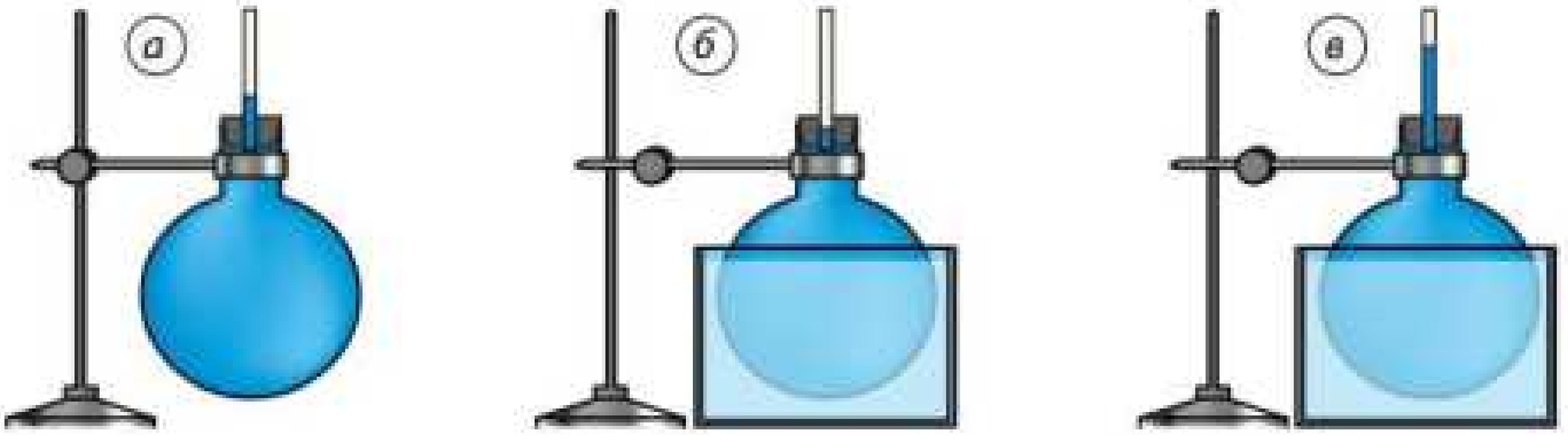


Рис. 11.1. Дослід, який демонструє, що під час нагрівання рідина розширюється. Закоркована колба з рідиною в трубці (*а*) помістили в посудину з гарячою водою. Рівень рідини в трубці спочатку трохи знизився (*б*), а за деякий час — значно підвищився (*в*)

Видавництво «Ранок»

Спочатку рівень води в трубці трохи знизиться (рис. 11.1, *б*), і це пояснюється тим, що спочатку нагрівається й розширюється колба, а вже потім, нагріваючись, розширюється вода. За деякий час переконаємося, що в міру нагрівання колби та води в ній рівень рідини в трубці помітно підвищується (рис. 11.1, *в*). Отже, рідини під час нагрівання розширюються.

Теплове розширення твердих тіл можна продемонструвати за допомогою пристрою, який винайшов нідерландський фізик *Вільгельм Якоб Гравезанд* (1688–1742). Пристрій являє собою металеву кульку, яка легко проходить крізь пригнане до неї кільце. Нагріємо кульку в полум'ї спиртівки — нагріта кулька крізь кільце не проходитиме (рис. 11.2, *а*). Після охолодження кулька знову легко пройде крізь кільце (рис. 11.2, *б*).

Поясніть принципи роботи рідинного термометра.

а

б

Рис. 11.2. Пристрій Гравезанда: *а* — у нагрітому стані металева кулька не проходить крізь кільце; *б* — після охолодження кулька проходить крізь кільце

2. У чому причина збільшення об'єму тіл під час нагрівання?

Теплове розширення тіл пояснюється так. Зі збільшенням температури збільшується кінетична енергія частинок речовини, з яких складається тіло. Середня відстань між частинками також збільшується, і, відповідно, збільшується об'єм тіла. І навпаки, зі зниженням температури тіла кінетична енергія частинок зменшується, проміжки між частинками зменшуються теж і, відповідно, зменшується об'єм тіла.

3. Характеризуємо теплове розширення тіл

Зрозуміло, що не всі тіла під час нагрівання на ту саму температуру розширюються однаково. Дослідним шляхом з'ясовано, що *тверді тіла та рідини розширюються набагато менше, ніж гази.*

На вашу думку, чи пройде кулька крізь кільце, якщо нагріти не кульку, а кільце?

Теплове розширення тіла залежить від речовини, з якої складається тіло. Вимірюємо довжину алюмінієвої трубки за кімнатної температури. Нагріємо трубку, пропускаючи крізь неї гарячу воду. За деякий час довжина трубки трохи збільшиться. Замінивши алюмінієву трубку на скляну тієї самої довжини, побачимо, що за умови однакового збільшення температури скляна трубка видовжується набагато менше.

Видавництво «Ранок»

А ЯК НАСПРАВДІ?

У блозі одного зі ЗМІ з'явилася стаття «Теплове зменшення», де йшлося про речовину, яку активно використовують під час виготовлення сонячних панелей. У коментарях до статті деякі дописувачі вказували автору на помилку й стверджували, що існує тільки теплове розширення. А як вважаєте ви?

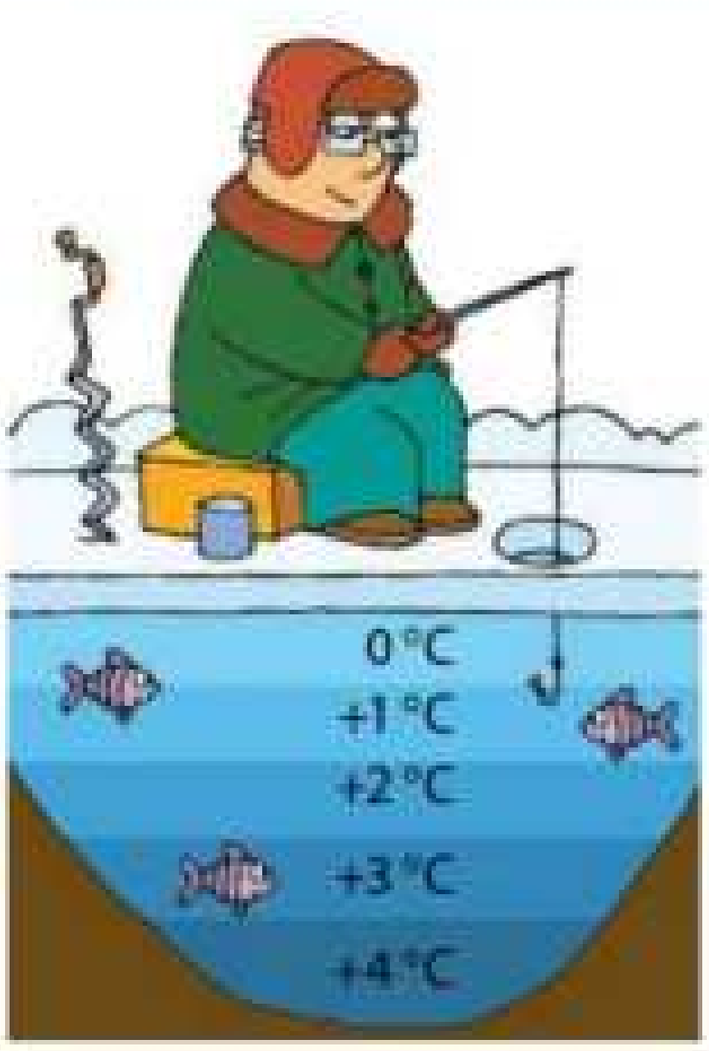


Рис. 11.3. Розподіл температур у глибокій водоймі взимку. Найвища температура води — на дні водойми, найнижча (0 °C) — безпосередньо під шаром льоду

Слід зазначити, що *існують речовини, об'єм яких на певному інтервалі температур під час нагрівання зменшується, а під час охолодження — збільшується.* До таких речовин належать вода й деякі інші. Вода, наприклад, під час охолодження до 4 °C (точніше, до 3,98 °C) стискується, як і більшість речовин. Однак починаючи з температури 4 °C і до замерзання (0 °C) вода розширюється. Саме завдяки цій властивості річки, моря й океани не промерзають до дна навіть у сильні морози. Адже саме за температури 4 °C вода має найбільшу густину й тому опускається на дно водойми. За температури ж 0 °C густина води є меншою, тому така вода залишається на поверхні й замерзає — перетворюється на лід (рис. 11.3). Оскільки густина льоду менша від густини води, лід розташовується на поверхні води та надійно захищає водойму від глибокого промерзання. Зазначені властивості води мають неабияке значення для життя різноманітних водоростей, риб та інших істот у водоймах.

Поміркуйте, який вигляд мали б водойми, якби вода, як і більшість речовин, під час охолодження завжди зменшувалася б в об'ємі, а густина льоду була би більшою за густину води.

4. Теплове розширення в природі й техніці

Здатність тіл змінювати свої розміри під час змінення температури відіграє дуже важливу роль у природі. Про особливості теплового розширення води ви вже дізналися. Розглянемо інші приклади.

Поверхня Землі прогрівається нерівномірно. У результаті цього повітря поблизу її поверхні прогрівається й розширюється теж нерівномірно — утворюються вітри, які, своєю чергою, впливають на зміну погоди та клімат. Нерівномірне прогрівання води в морях і океанах — одна з причин виникнення течій, які теж суттєво впливають на клімат. Різкі коливання

температури в гірських районах викликають нерівномірні розширення та стискання гірських порід — виникають тріщини, що спричиняють руйнування гір, а отже, зміну рельєфу.

Явище теплового розширення широко використовують у техніці та побуті. Так, для автоматичного вимикання та вмикання електричних пристроїв використовують *біметалеві пластинки*. Дія таких пластинок заснована на тому, що різні метали по-різному розширюються під час нагрівання (рис. 11.4).

Теплове розширення слід обов'язково брати до уваги під час будівництва мостів (див. заставку до § 11) і ліній електропередачі, прокладання труб опалення (рис. 11.5), укладання залізничних рейок, виготовлення залізобетонних конструкцій і в багатьох інших випадках.

Теплове розширення повітря допомагає рівномірно прогріти квартиру, остудити продукти в холодильнику, провітрити помешкання (чому і як це відбувається, ви дізнаєтесь із § 14).

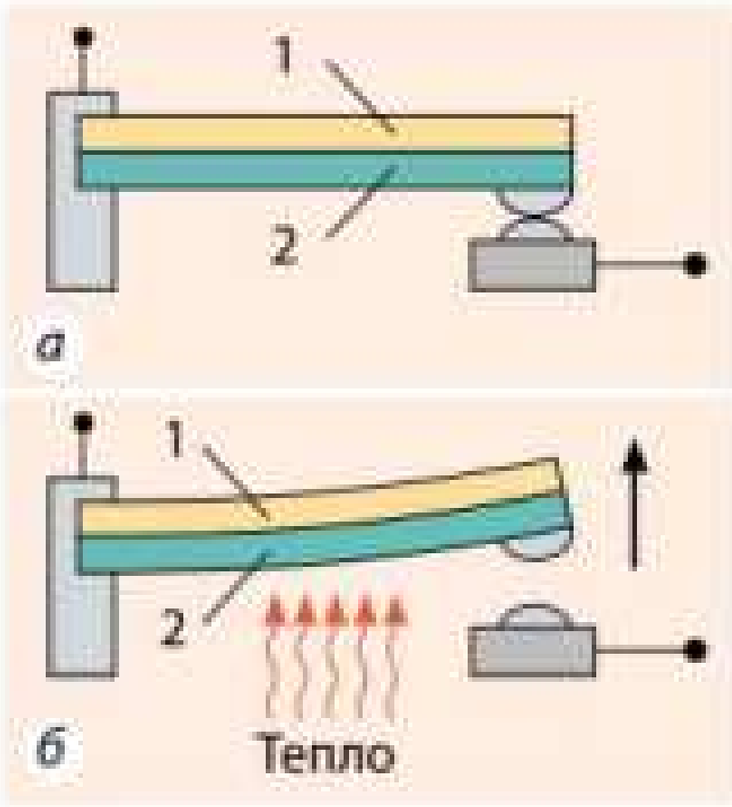


Рис. 11.4. Для автоматичного вимкнення електронагрівальних пристроїв (наприклад, чайника) використовують *біметалеві пластинки* (*а*). У разі збільшення температури металева смуга 2 розширюється більше, ніж смуга 1, виготовлена з іншого металу, тому пластинка вигинається і розмикає електричне коло (*б*)

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Теплове розширення

Гази
Рідини
Тверді тіла

} Якщо t ↑, то V ↑

Виняток — вода
при $0\,°C \le t_{води} < 4\,°C$,
якщо $t_{води}$ ↑, то $V_{води}$ ↓

Причина теплового розширення:
якщо t речовини збільшується,
то збільшується v її частинок, а отже,
збільшується відстань між частинками.

Наслідки: вітер, руйнування гір, течії
Використання: автоматичне вмикання / вимикання, рівномірний прогрів
Урахування: будівництво мостів тощо

Рис. 11.5 Щоб трубопроводи для передачі гарячої води не пошкоджувалися внаслідок зміни температури, конструктори створюють розширювальну петлю

Видавництво «Ранок»

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Наведіть приклади на підтвердження того, що тверді тіла, рідини й гази розширюються під час нагрівання. 2. Опишіть досліди, які демонструють теплове розширення газів, рідин, твердих тіл. 3. У чому причина збільшення об'єму тіл під час нагрівання? 4. Які особливості теплового розширення води? 5. Наведіть приклади застосування теплового розширення в техніці, побуті.

ВПРАВА № 11

1. Виберіть *усі* правильні закінчення речення.

Коли тіло охолоджується, то зменшується:

а) швидкість руху його частинок; в) кількість частинок тіла;

б) відстань між його частинками; г) розміри частинок тіла.

2. Як зміниться об'єм повітряної кульки, якщо її перенести з холодного приміщення в тепле? Поясніть свою відповідь.

3. Згадайте дослід із мідною кулькою, яка в результаті нагрівання застрягає в кільці (див. рис. 11.2). Як змінюються внаслідок нагрівання об'єм, маса, густина кульки; середня швидкість руху частинок кульки?

4. Уявіть, що термометр для вимірювання температури на вулиці замість спирту заповнили водою. Чи буде такий термометр зручним?

5. Чому на точних вимірювальних приладах зазначають температуру?

6. Якщо в холодну скляну банку налити окріп (або навпаки — налити холодну воду в гарячу банку), банка може тріснути. Поясніть це з погляду теплового розширення тіл.

7. Металева кулька падає на підлогу з деякої висоти. Які перетворення механічної енергії відбуваються під час падіння кульки? Куди «зникає» механічна енергія кульки після удару об підлогу?

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

Виготовте «теплові терези», що реагують на різницю температур (див. рисунок). Зрівноважте «терези». Розташуйте під одним із плечей запалену свічку — за деякий час це плече опуститься; приберіть свічку — плече повернеться до початкового положення. Поясніть спостережуване явище.

Ключові терміни

Теплове розширення · Пристрій Гравезанда · Біметалеві пластини

Видавництво «Ранок»

rnk.com.ua/
110485

§ 12. ВНУТРІШНЯ ЕНЕРГІЯ ТА СПОСОБИ ЇЇ ЗМІНИ

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Уявіть, що зимового вечора ви повернулися додому з довгої прогулянки. Як зігріти холодні долоні? Запропонуйте щонайменше два способи. Продемонструйте їх. Які фізичні величини змінюються внаслідок застосування цих способів?

1. Яку енергію називають внутрішньою?

Ми вже звертали увагу на те, що завдяки тепловому руху *кожна частинка речовини завжди має кінетичну енергію* (рис. 12.1).

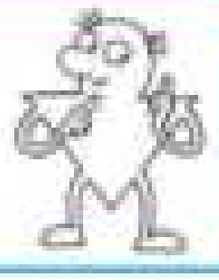
Окрім кінетичної енергії, частинки речовини мають і потенціальну енергію, тому що вони взаємодіють одна з одною — притягуються та відштовхуються.

Суму кінетичних енергій теплового руху частинок, із яких складається тіло, і потенціальних енергій їхньої взаємодії називають **внутрішньою енергією** тіла.

Одиниця внутрішньої енергії в СІ — **джоуль** (Дж).

Рис. 12.1. Сумарна кінетична енергія частинок повітря, наприклад, у великій шафі становить близько 0,4 МДж. Цієї енергії достатньо, щоб усіх учнів та учениць вашого класу підняти приблизно на 25 м

Згадайте інші фізичні величини, одиницею яких у СІ є джоуль.



Видавництво «Ранок»

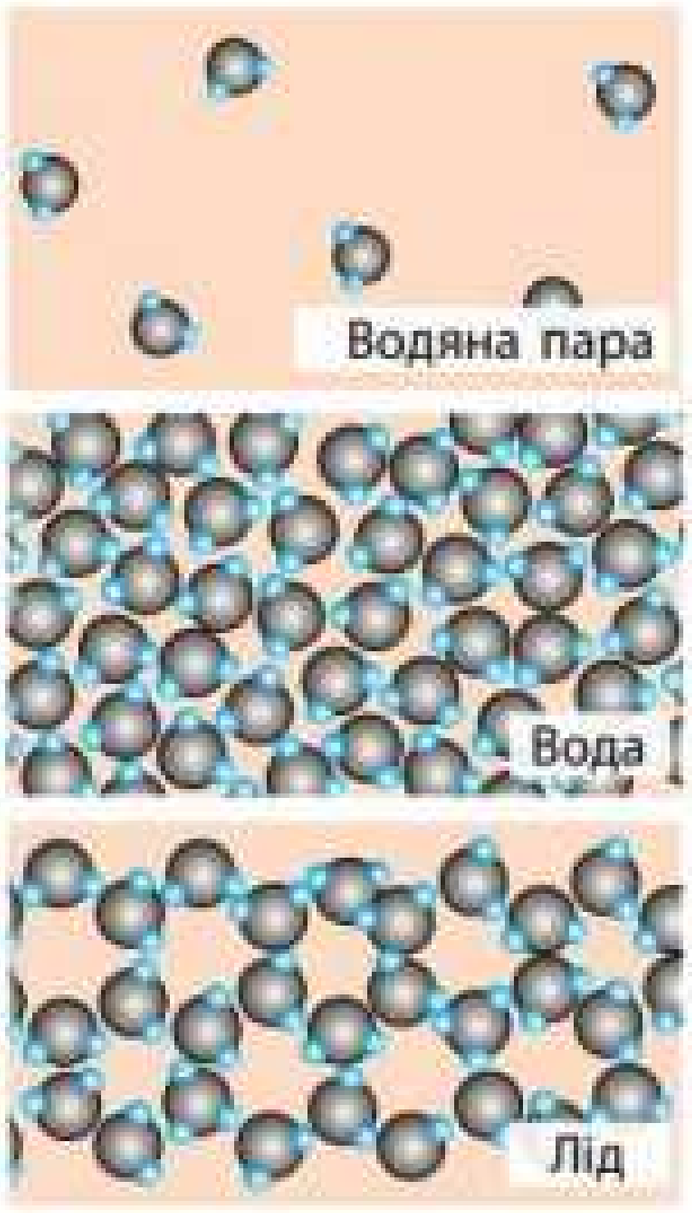


Рис. 12.2. У різних агрегатних станах взаємне розташування молекул речовини є різним, тому відрізняється і потенціальна енергія взаємодії молекул

2. Коли внутрішня енергія тіла змінюється?

Мірою середньої кінетичної енергії руху частинок речовини, з яких складається тіло, є температура. Зі зміною температури змінюється сумарна кінетична енергія всіх частинок, а отже, змінюється внутрішня енергія тіла.

Окрім того, зі зміною температури тіло розширюється або стискається. При цьому змінюється відстань між частинками речовини і, як наслідок, змінюється потенціальна енергія їхньої взаємодії. Це також зумовлює зміну внутрішньої енергії тіла.

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 (рис. 12.2). Наприклад, під час плавлення речовини її внутрішня енергія збільшується, а під час кристалізації — зменшується (рис. 12.3). Докладніше про це ви дізнаєтеся наприкінці розділу 2 «Внутрішня енергія. Теплові явища».

Рис. 12.3. За однакової температури внутрішня енергія льоду є меншою від внутрішньої енергії тієї самої маси води

3. Що називають теплопередачею?

Згадаємо деякі приклади із життя: якщо вимкнути з розетки гарячу праску, за якийсь час вона охолоне (рис. 12.4); занурена в гарячий чай холодна ложка обов'язково нагріється. У кожному із цих прикладів змінюється температура тіл, і це означає, що змінюється їхня внутрішня енергія. Водночас над цими тілами не виконується робота й самі тіла також ніякої роботи не виконують. У таких випадках кажуть про *передавання тепла*.

Процес зміни внутрішньої енергії тіла без виконання роботи називають **теплопередачею** (теплообміном).

Видавництво «Ранок»

Для кількісної характеристики теплопередачі використовують поняття *кількість теплоти*.

Кількість теплоти — це фізична величина, що дорівнює енергії, яку тіло одержує або віддає під час теплопередачі.

Кількість теплоти позначають символом Q. *Одиниця кількості теплоти в СІ* — **джоуль** (Дж)*:

$$[Q] = \text{Дж}.$$

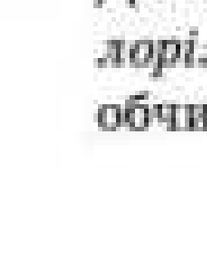
Рис. 12.4. Вимкнена гаряча праска холоне — передає певну кількість теплоти навколишньому середовищу, доки не встановиться теплова рівновага

Кількість теплоти, як і механічна робота, може бути як *додатною*, так і *від'ємною*. У випадках, коли тіло *одержує* енергію, кількість отриманої ним теплоти вважають *додатною*; коли тіло *віддає* енергію, кількість втраченої ним теплоти вважають *від'ємною*.

Досліди свідчать: *теплопередача є можливою лише в разі наявності різниці температур, причому самовільно тепло може передаватися тільки від тіла з більшою температурою до тіла з меншою температурою.*

Що більшою є різниця температур, то швидше за інших однакових умов здійснюється передавання тепла. Теплопередача триватиме, доки температури тіл не зрівняються, тобто доки між тілами не встановиться *теплова рівновага*.

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...



Існують речовини, температура яких завжди є вищою за температуру зовнішнього середовища. Їх називають радіоактивними. У радіоактивних речовинах відбувається перетворення одних атомів на інші з виділенням енергії. Здається, що всередині цих речовин є «пічка, що вічно працює»! На жаль, використати це джерело енергії безпосередньо в побуті неможливо, бо перетворення атомів супроводжується шкідливим випромінюванням.

Але вчені знайшли інший варіант застосування цих речовин. Резервним джерелом живлення майже всіх космічних апаратів, які відправляють досліджувати далекі космічні об'єкти, є *радіоізотопний термоелектричний генератор*. Це пристрій, який виробляє електроенергію завдяки тому, що температури радіоактивної речовини та навколишнього космічного простору є різними.

---

* Для вимірювання кількості теплоти здавна застосовували таку одиницю, як *калорія* (від латин. *calor* — тепло). Зараз цю одиницю часто використовують для обчислення енергії, що виділяється внаслідок засвоєння їжі: 1 кал = 4,2 Дж.

Видавництво «Ранок»

4. Як і чому змінюється внутрішня енергія долонь, коли ми тремо їх одна об одну?

Численні спостереження та експерименти переконують: навіть *у разі відсутності теплообміну внутрішня енергія тіла може збільшуватись, якщо над тілом виконується робота.*

ДОСЛІДЖЕННЯ

Що знадобиться: шматок чистої гумової стрічки або джгута.

Прикладіть стрічку в нерозтягнутому стані до верхньої губи. Запам'ятайте свої відчуття. Тепер, віддаливши стрічку від губи, розтягніть її кілька разів (що більше, то краще). І знову прикладіть до верхньої губи. Порівняйте відчуття з попередніми. Поясніть результат дослідження. Установіть поріг чутливості природного датчика температури: після якої кількості розтягувань ви фіксуєте зміни у відчуттях?

Робота, наприклад, сил тертя шин мотоцикла об дорожнє покриття спричиняє збільшення внутрішніх енергій шин та покриття дороги. Доказ цього — їхнє нагрівання під час руху мотоцикла (рис. 12.5). Так само, якщо інтенсивно терти долоні одну об одну, їхня внутрішня енергія збільшується. З описаним явищем доводиться мати справу на виробництві або в побуті. Наприклад, у процесі оброблення деталей через роботу сил тертя помітно зростає температура як самого інструмента, так і деталі, яку обробляють (рис. 12.6).

А як змінюється внутрішня енергія тіла, якщо воно саме́ виконує роботу?

Досить логічним виглядає висновок: внутрішня енергія тіла має зменшитися, якщо це тіло виконуватиме роботу. Виявилося, що такий висновок є абсолютно правильним. Підтвердженням цього є пристрої, якими користуються майже в кожній родині, — холодильники.

Рис. 12.5. У разі екстреного гальмування температура шин підвищується настільки сильно, що шини залишають чорний слід на дорожньому покритті

Рис. 12.6. Різання металевого листа за допомогою диска, який обертається з великою швидкістю. Гарячі металеві іскри свідчать про високу температуру в зоні різання

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...

Основні елементи холодильника нагадують кровоносну систему ссавців. Як і серце, компресор холодильника перекачує рідину по трубках всередині корпусу, наче кров. Відмінність полягає в тому, що інженери розмістили на шляху потоку рідини перешкоду — тоненьку трубочку. Після проходження перешкоди рідина має місце для розширення, у якому вона перетворюється на пару, виконує роботу та охолоджується. Холодна пара «забирає» тепло зсередини холодильника та «віддає» його, нагріваючи оселю. Продовжуючи рух, пара знову повертається до рідкого стану. Цикл повторюється доти, доки температура в камері холодильника не сягає необхідного рівня.

Інші розповсюджені пристрої, які працюють подібно до холодильника, — це кондиціонери та теплові помпи.

А ЯК НАСПРАВДІ?

У рекламному проспекті певного пристрою зазначено, що він надзвичайно ефективно справляється із завданням передавання тепла від холодного тіла до гарячого. Як, на вашу думку, треба поставитися до такої реклами?

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Кінетичні енергії теплового руху частинок → ВНУТРІШНЯ ЕНЕРГІЯ $E_к + E_п$ ← Потенціальні енергії взаємодії частинок

СПОСОБИ ЗМІНИ ВНУТРІШНЬОЇ ЕНЕРГІЇ

Виконання роботи

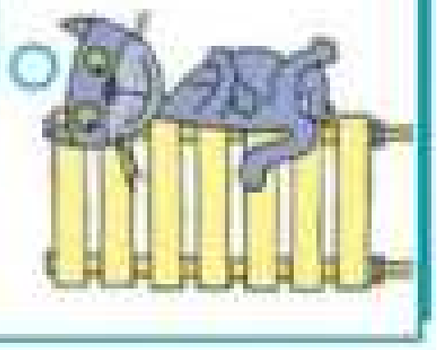
- Якщо над тілом виконують роботу, внутрішня енергія тіла збільшується.
- Якщо тіло виконує роботу, внутрішня енергія тіла зменшується.

Теплопередача

- Енергія самовільно передається від тіла з більшою температурою до тіла з меншою температурою.
- Якщо температури тіл є рівними, то теплообмін не відбувається.

Кількість теплоти — це фізична величина, що дорівнює енергії, яку тіло одержує або віддає під час теплопередачі.

Q — кількість теплоти
$[Q]$ = Дж



КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Чому частинки речовини мають потенціальну енергію? завжди мають кінетичну енергію? 2. Що називають внутрішньою енергією тіла? 3. Від чого залежить внутрішня енергія тіла? 4. Чи може тіло мати внутрішню енергію, але не мати при цьому механічної енергії? 5. У які способи можна змінити внутрішню енергію тіла? 6. Що називають теплопередачею? Наведіть приклади теплопередачі. 7. Що таке кількість теплоти? Назвіть одиницю кількості теплоти. 8. Наведіть приклади зміни внутрішньої енергії тіла внаслідок виконання роботи. 9. Як змінюється внутрішня енергія тіла у випадку, коли воно виконує роботу? у випадку, коли над тілом виконують роботу? Вважайте, що теплообмін із навколишніми тілами відсутній.

ВПРАВА № 12

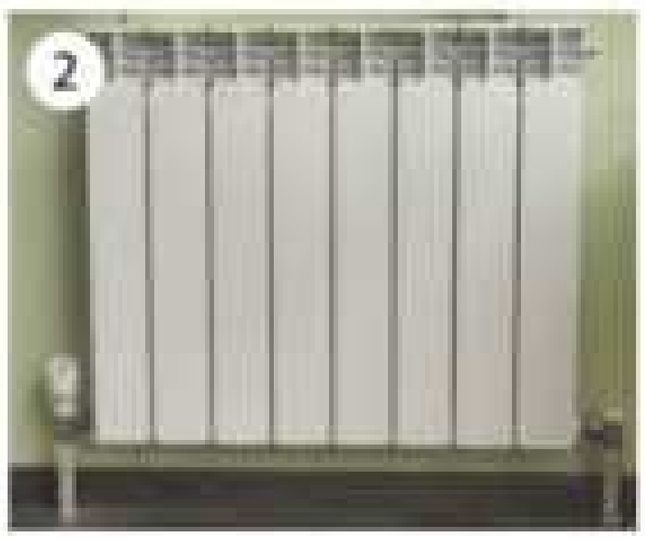
1. У якій склянці (рис. 1) внутрішня енергія чаю є більшою?

Рис. 1

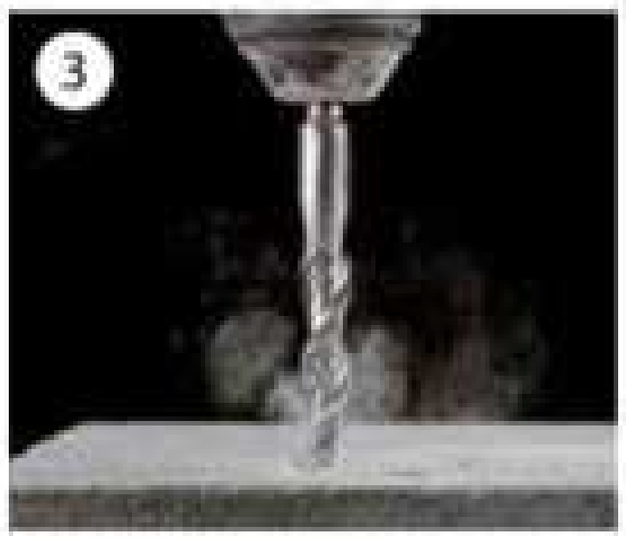
2. Наведіть два способи запалювання сірника, що відповідають двом способам зміни внутрішньої енергії тіла.

3. Установіть відповідність між зображеним об'єктом (1–3) і зміною внутрішньої енергії, яка відбувається із цим об'єктом (А–Г).

Гарячий напій



Радіатор опалення



Свердло

А Внутрішня енергія зменшується внаслідок теплопередачі
Б Внутрішня енергія збільшується внаслідок виконання роботи
В Внутрішня енергія збільшується внаслідок теплопередачі
Г Внутрішня енергія не змінюється

Видавництво «Ранок»

4. М'яч кинули вгору. Як під час руху м'яча змінюється його внутрішня енергія? механічна енергія? Опором повітря знехтуйте.

5. Як змінюються внутрішня й механічна енергії наплічника (рис. 2) за незмінної температури?

Рис. 2 *а* *б* *в*

6. На рис. 3 зображено вуличний термометр. Температура в будівлі 25 °С. Куди буде спрямований потік тепла: а) з будівлі на вулицю; б) з вулиці в будівлю? За яких умов потік тепла дорівнюватиме нулю?

Рис. 3

7. Чому каскадери, які десантуються з гелікоптерів по канатах, надягають рукавички?

8. Наведіть приклади зміни внутрішньої енергії тіла, коли водночас виконується робота та відбувається теплопередача. Чи може в таких випадках внутрішня енергія залишитися незмінною?

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

«Водяний коктейль». Налийте в посудину невелику кількість води кімнатної температури. Виміряйте температуру води. Потім міксером змішуйте воду приблизно 1 хв. Знову виміряйте температуру води. Зробіть висновок.

Ключові терміни

Внутрішня енергія · Теплопередача · Кількість теплоти

Видавництво «Ранок»

mk.com.ua/
110486

§ 13. ТЕПЛОПРОВІДНІСТЬ

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Висловіть гіпотезу щодо причин спостережуваних у досліді явищ (див. рисунок). Зауважимо, що кнопки прикріплено до стрижня за допомогою воску.

1. Чому кнопки відпадають по черзі?

Частинки в металах увесь час рухаються: йони коливаються навколо положень рівноваги; рух вільних електронів нагадує рух молекул газу. Коли кінець мідного стрижня поміщають у полум'я пальника, ця частина стрижня розігрівається. Швидкість руху частинок металу, які перебувають власне в полум'ї, збільшується. Ці частинки взаємодіють із сусідніми частинками та «розгойдують» їх. У результаті підвищується температура наступної частини стрижня й так далі. Образно кажучи, уздовж стрижня йде «потік» тепла, який послідовно розігріває метал.

Зрозуміло, що відбувається далі: енергія від металу передається до воску, він розм'якшується, і через це кнопки одна за одною відпадають від стрижня.

Зверніть увагу: у ході цього процесу сама речовина (мідь) не переміщується від одного кінця стрижня до іншого.

Теплопровідність — це вид теплопередачі, який зумовлений хаотичним рухом і взаємодією частинок речовини й не супроводжується перенесенням цієї речовини.

Видавництво «Ранок»

2. Що краще «гріє» — пуховик чи футболка?

Досліди показали, що найкращими провідниками тепла є метали. Деревина, скло, чимало видів пластмас проводять тепло значно гірше, саме тому ми можемо, наприклад, тримати запалений сірник доти, доки полум'я не торкнеться пальців (рис. 13.1, *а*).

Доторкніться спочатку до будь-якого металевого предмета, а потім до дерев'яного. Який предмет на дотик вам здається холоднішим? Температура якого предмета вища?

ДОСЛІДЖЕННЯ

Що знадобиться: 2 ложки, виготовлені з різних матеріалів (сталі або срібла, кераміки або пластику) приблизно однакового розміру; порцелянова чашка з гарячою водою.

Одночасно помістіть ложки в чашку з гарячою водою так, щоб вони щонайменше на 3–4 см виступали над поверхнею води. Почекайте орієнтовно 30 с і візьміться за кінці ложок. Прокоментуйте свої відчуття.

Також погано проводять тепло рідини (винятком є розплавлені метали). Проведемо дослід. Покладемо на дно пробірки з холодною водою шматочок льоду; щоб лід не спливав, притиснемо його важком (рис. 13.1, *б*). Нагріватимемо на спиртівці верхній шар води. За певний час вода поблизу поверхні закипить, а лід унизу пробірки ще не розтане.

Ще гірше за рідину проводять тепло гази. І це легко пояснити. Відстань між молекулами газів набагато більша за відстань між молекулами рідин і між молекулами твердих тіл. Отже, зіткнення частинок відбуваються рідше й енергія передається повільніше.

Рис. 13.1. Досліди, які ілюструють низьку теплопровідність деревини *(а)* та води *(б)*

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...

Теплові труби — це пристрої, які можуть проводити тепло в сотні разів швидше за будь-яку речовину. Завдання цих пристроїв — не допустити перегрівання/охолодження одних частин обладнання порівняно з іншими.

Яскраві циліндри на рисунку — це і є теплові труби, які відводять зайве тепло від «серця» комп'ютера, так званої «материнської плати».

Видавництво «Ранок»

Скловолокно, вата, хутро дуже погано проводять тепло, оскільки, по-перше, між їхніми волокнами є повітря, по-друге, ці волокна погано проводять тепло самі по собі. Тому зрозуміло, що пуховик буде запобігати втраті тепла тілом людини.

А ЯК НАСПРАВДІ?

У своєму блозі мандрівник попередив щодо подорожі влітку країнами Центральної Азії: треба бути обережними, літо — дуже спекотне, температура може сягати 50 °С. Допис був проілюстрований фото людини в товстому халаті з утепленням і в товстому капелюсі. Деякі читачі й читачки були здивовані: може, автор помилився і розмістив фото з іншої подорожі? А як насправді?

3. Чому комахи взимку закопуються глибоко в землю?

Ви, напевно, знаєте, що деякі тварини навесні та восени линяють. Навесні хутро тварин стає коротшим і менш густим, восени ж, навпаки, — довшає та густішає. Вовна, хутро, пух погано проводять тепло й надійно захищають тіла тварин від охолодження.

Рис. 13.2. Там, де потрібно швидко передати тепло, застосовують речовини з високою теплопровідністю

Рис. 13.3. Щоб зменшити охолодження тіл (або зменшити їх нагрівання), застосовують речовини з низькою теплопровідністю

Яка особливість тварин, що мешкають або полюють у холодних морях, захищає їх від переохолодження?

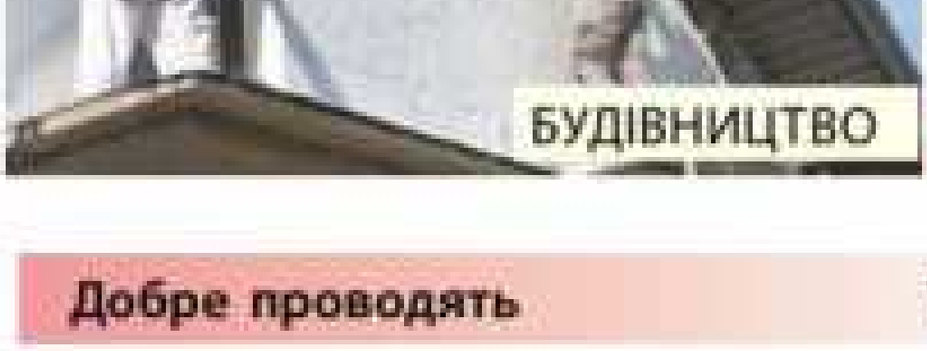
Узимку багато комах закопуються глибоко в землю — її гарні теплоізоляційні властивості дозволяють комахам вижити навіть у сильні морози. Деякі рослини пустелі вкриті дрібними ворсинками: нерухоме повітря між ними перешкоджає теплообміну з довкіллям.

Людина в різних сферах діяльності застосовує ті чи інші речовини, зважаючи на їхню теплопровідність. Речовини з кращою теплопровідністю застосовують там, де потрібно швидко передати тепло від одного тіла до іншого (рис. 13.2). Наприклад, каструлі, сковорідки, батареї опалення тощо виготовляють із металів.

Там, де потрібно запобігти нагріванню або охолодженню тіл, застосовують речовини, що погано проводять тепло (рис. 13.3).

Наприклад, дерев'яна ручка джезви дозволить налити каву, не використовуючи рукавичок, а у водогінних трубах, які прокладено глибоко під землею, вода не замерзне й у сильні холоди тощо.

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ



Теплопровідність — це вид теплопередачі, який зумовлений хаотичним рухом і взаємодією частинок речовини й не супроводжується перенесенням цієї речовини.

Добре проводять	ТЕПЛО	Погано проводять
Метали		Повітря, дерево, вода

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що називають теплопровідністю? 2. Опишіть дослід, який демонструє, що метали добре проводять тепло. 3. Як відбувається передавання енергії в разі теплопровідності? 4. У якому стані речовина гірше проводить тепло — у твердому, рідкому чи газоподібному? 5. Чому тварини не замерзають навіть у досить сильний мороз? 6. Які матеріали добре проводять тепло? Де їх застосовують? 7. Назвіть матеріали, які погано проводять тепло. Де їх застосовують?

ВПРАВА № 13

1. Яка з наведених нижче речовин є «зайвою» в переліку?
Залізо, мідь, кисень, чавун, ртуть.

2. Чому з погляду фізики вираз «шуба гріє» є неправильним?
3. Яку функцію виконує пух у підкладках зимових курток?
4. Чому склопакети у вікнах сприяють кращій теплоізоляції?

Видавництво «Ранок»

5. Два кубики льоду витягнули з морозильної камери. Один кубик поклали на рушник, а інший — на металеву тарілку. За деякий час кубики льоду виглядали так, як показано на рис. 1. Який кубик перебував на рушнику, а який на металевій тарілці?

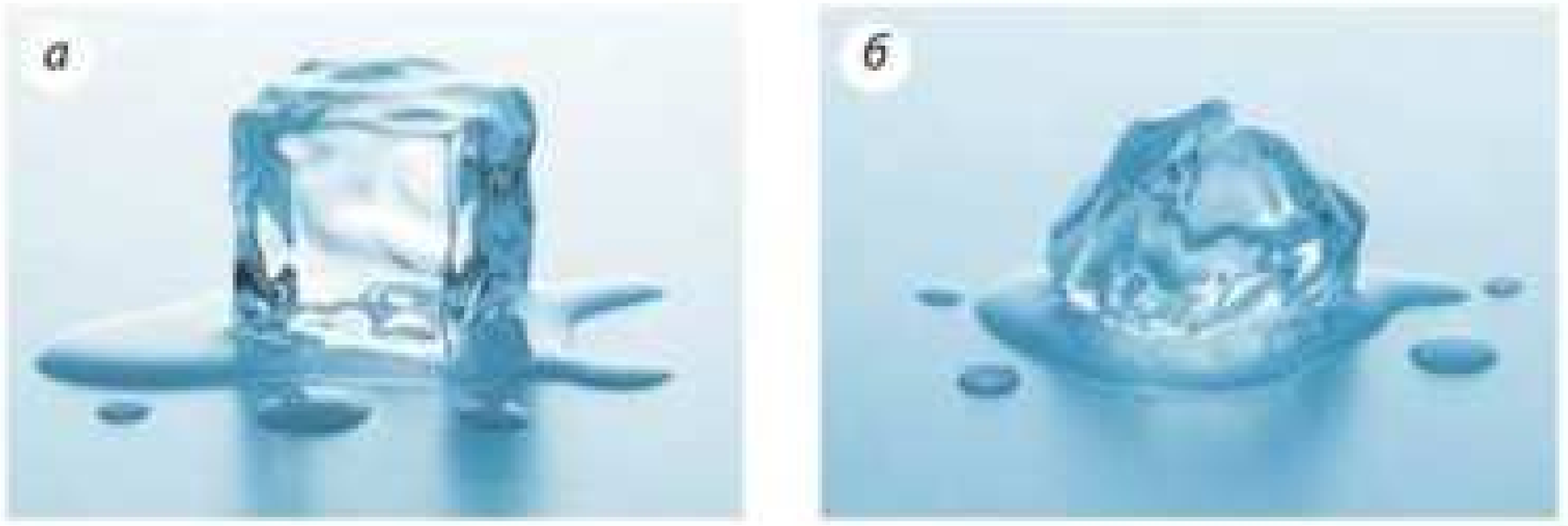


Рис. 1

6. Дерев'яна і металева ложки мають однакову температуру 90 °С. Яка з них спричинить сильніший опік, якщо до неї доторкнутися? Відповідь обґрунтуйте.

7. У парку розташовано дві лави (див. рис. 2). Яку з них ви виберете для відпочинку, коли температура повітря дорівнює: а) 15,8 °С; б) 36,6 °С? Чому саме такий вибір ви зробите?

Рис. 2

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

«Гріємо лід». Візьміть два шматочки льоду, кожний покладіть в окремий поліетиленовий пакет. Один із пакетів ретельно обмотайте ватою або махровим рушником. Покладіть пакети на тарілки та поставте їх у шафу. За годину розгорніть пакети. Поясніть результат.

Ключові терміни

Теплопровідність

Видавництво «Ранок»

mk.com.ua/
110487

§ 14. КОНВЕКЦІЯ

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Чи доводилося вам тримати долоню над увімкненими електроплитою або обігрівачем? над багаттям або свічкою? Що ви відчували? Висуньте гіпотезу щодо причин явища, що відбувається. Чи може таке явище відбуватися в рідинах? у твердих тілах? Де це явище застосовують?

1. Як рідини і гази проводять тепло?

Коли ми тримаємо долоню над будь-яким гарячим об'єктом, то маємо справу ще з одним видом теплопередачі — *конвекцією*.

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

Конвекційні потоки гарячого повітря, що підіймаються від полум'я свічки, навіть можуть обертати легку вертушку (рис. 14.1).

Конвекція може відбуватися не тільки в газах, а й у рідинах.

Щоб переконатися в цьому, наповнимо круглодонну колбу на три чверті водою й закріпимо її в лапці штатива. Паличкою покладемо на дно колби кілька дрібок акварельної фарби. Потім нагріватимемо колбу знизу. За деякий час із дна колби почнуть підніматися забарвлені цівки води. Досягши верхніх шарів води, цівки спускатимуться

Рис. 14.1. Висхідні потоки гарячого повітря, діючи на легку металеву вертушку, надають їй досить швидкого руху

Видавництво «Ранок»

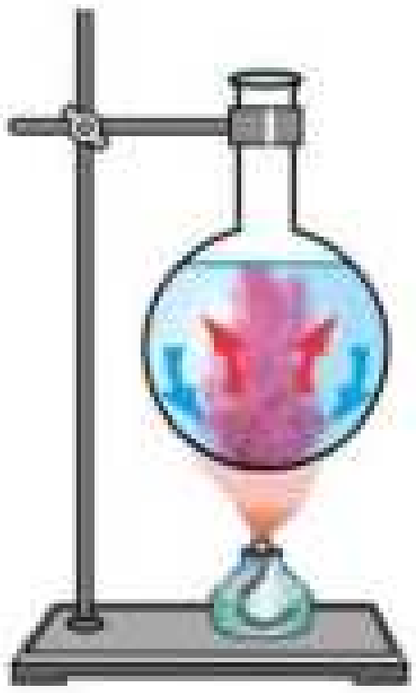


Рис. 14.2. Дослід, який демонструє конвекцію в рідині. Теплі забарвлені цівки води піднімаються, а холодні — опускаються

вздовж холодніших боків колби (рис. 14.2); далі процес повториться. У результаті відбудеться природне перемішування нагрітих і ненагрітих частин рідини.

А от у твердих тілах *конвекція не може відбуватися*, оскільки у твердих тілах не можуть виникнути потоки речовини.

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...

Мрія літати на крилах, немов Дедал та Ікар — герої давньогрецької міфології, приваблювала людство багато століть. Проте рівень розвитку техніки довгий час виключав можливість безпечних польотів. Згадаймо, що крила Ікара розсипалися, бо їх було скріплено воском. Лише в 90-х роках XIX ст. людина отримала змогу планерувати в небі, наче птах. Але й це було можливим тільки на схилах гір, де явище конвекції є значним. Сучасні дельтаплани (див. заставку до § 14) є більш автономними. Вони можуть підніматися на висоту декілька кілометрів і долати значну відстань.

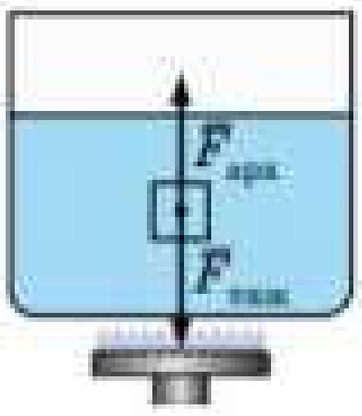


Рис. 14.3. На будь-який невеликий об'єм рідини діють сила тяжіння та виштовхувальна (архімедова) сила

2. Чому виникає конвекція?

Спочатку з'ясуймо причини виникнення *природної конвекції*. Для цього подумки виділимо невеликий об'єм рідини в посудині, яку розміщено над пальником.

Ви знаєте: на будь-яке тіло, що міститься всередині рідини (або газу), діють сила тяжіння та архімедова сила. Ті самі сили діють на будь-який невеликий об'єм власне рідини (рис. 14.3). Як відомо, в разі підвищення температури рідина розширюється, її густина зменшується й архімедова сила, що діє на виділений об'єм рідини, стає більшою, ніж сила тяжіння. Унаслідок цього нагріта рідина (яка має меншу густину) спливає, а холодна рідина (яка має більшу густину) опускається.

Аналогічні міркування справджуються й для газів.

Часто природне перемішування шарів рідини або газу є неможливим або недостатнім. У такому разі вдаються до їх штучного перемішування — *примусової конвекції* (рис. 14.4). Примусове перемішування повітря здійснюють, наприклад, у космічному кораблі, в умовах невагомості, де не діє архімедова сила.

Рис. 14.4. Вода в посудині нагрівається завдяки природній конвекції. Для більш рівномірного прогрівання, наприклад, густої каші господиня вдається до примусової конвекції — перемішує кашу ложкою

ДОСЛІДЖЕННЯ

Що знадобиться: свічка; сірники.

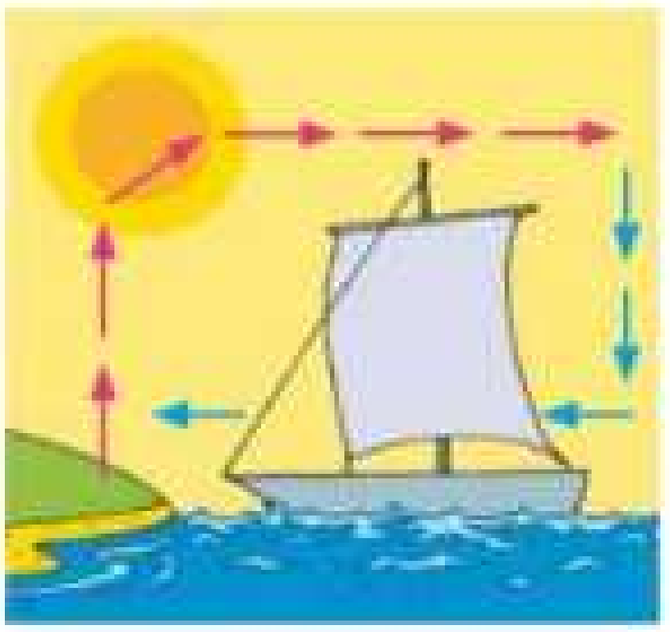
Під наглядом дорослих запаліть свічку та дослідіть напрямок конвекційних потоків уздовж відчинених дверей. Поясніть результати спостереження.

3. Чому пічнику треба знати фізику?

З курсу географії вам відомо, що одним із чинників, які впливають на клімат Землі, є вітри. А чи знаєте ви, що однією з основних причин появи вітрів на планеті є конвекція?

Розглянемо, наприклад, як утворюється *бриз* — вітер, що виникає поблизу берега моря чи великого озера. Удень суходіл прогрівається швидше за воду, тому температура повітря над суходолом вища, ніж над поверхнею води. Повітря над суходолом розширюється, його густина зменшується, і повітря підіймається. У результаті тиск над суходолом падає і холодне повітря з водойми починає низом переміщуватися до суходолу — виникає *денний (морський) бриз* (рис. 14.5, *а*).

Поясніть, як утворюється нічний (береговий) бриз (рис. 14.5, б).



а

б

Рис. 14.5. Утворення бризів — денних і нічних — пояснюється конвекцією: *а* — денний (морський) бриз; *б* — нічний (береговий) бриз

Через нерівномірне нагрівання води виникають постійні течії в морях і океанах. Океанські течії, як і вітри, відіграють значну роль у формуванні клімату на нашій планеті.

З конвекцією ми часто маємо справу й у повсякденному житті. Наприклад, унаслідок конвекції здійснюється обігрівання та охолодження помешкань. Завдяки конвекції нагріваються вода в чайнику та їжа в каструлі. Створення тяги також є проявом конвекції (рис. 14.6). Повітря в печі нагрівається і розширюється, його густина зменшується, і тепле повітря прямує вгору, у трубу. У результаті тиск повітря навколо дров і в трубі зменшується й стає меншим від тиску в кімнаті; завдяки цьому збагачене киснем холодне повітря струмує до дров.

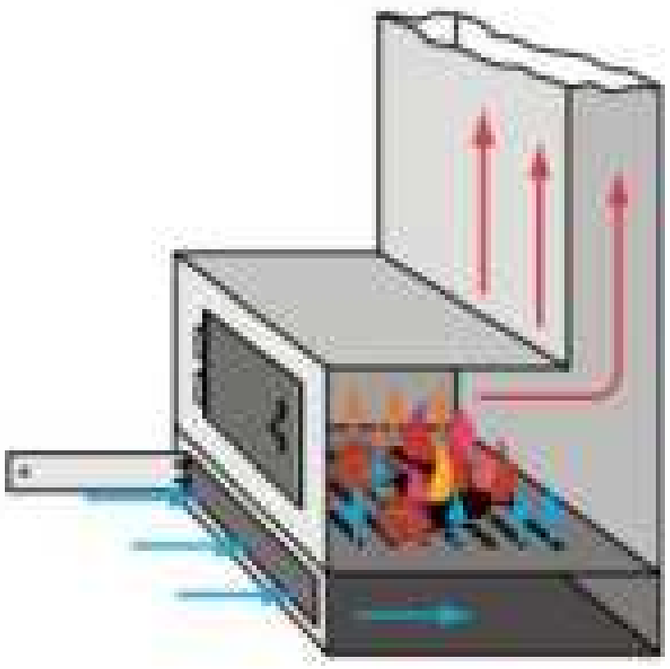


Рис. 14.6. Створення тяги: збагачене киснем холодне повітря потрапляє до печі завдяки конвекції

Видавництво «Ранок»

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

КОНВЕКЦІЯ — це вид теплопередачі, який здійснюється шляхом перенесення енергії потоками рідини або газу.

Природна

Примусова

ТІЛЬКИ

у рідинах

у газах

- ✓ Підігрів води, рідкої їжі
- ✓ Утворення бризів
- ✓ Обігрівання та охолодження помешкань

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Опишіть дослід на доведення того, що в процесі нагрівання теплі потоки рідини піднімаються, а холодні — опускаються. 2. Що таке конвекція? 3. Чим відрізняється конвекція від теплопровідності? 4. Назвіть причини виникнення природної і примусової конвекції. 5. Чи можлива конвекція в речовинах, які перебувають у твердому стані? 6. Наведіть приклади проявів конвекції в природі та в житті людини.

ВПРАВА № 14

1. Чому язики полум'я підіймаються?
2. Чому, коли ви перебуваєте в прохолодному приміщенні, у вас більше за все мерзнуть ноги?
3. Чому влітку вода в річці на глибині холодніша, ніж на поверхні?
4. Де краще розмістити балон із водою, щоб швидше охолодити воду в ньому за допомогою льоду: на льоду, під льодом чи поряд із ним? Відповіді аргументуйте.
5. Перед якими труднощами ви постанете, якщо будете намагатися закип'ятити воду в посудині, висота якої в три рази більша за висоту чашки на рисунку, використовуючи той самий нагрівач?
6. Чому хмари не падають?
7. Дізнайтеся, як застосовують явище конвекції в техніці. Підготуйте коротку презентацію.

Ключові терміни

Конвекція • Природна конвекція • Примусова конвекція • Тяга • Бриз

rnk.com.ua/
110488

§ 15. ВИПРОМІНЮВАННЯ

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Усього за декілька хвилин Земля отримує від Сонця енергію, яка дорівнює тій, що виробляється на нашій планеті за рік. А як енергія від Сонця так швидко потрапляє на Землю, адже між цими космічними об'єктами майже 150 млн км суцільної порожнечі? Чи можуть теплопровідність і конвекція забезпечити цей процес?

1. Що краще захищає від жару багаття?

Якщо розміститися біля багаття, можна відчути, що обличчя та інші ділянки тіла нагріваються. Це означає, що від вогню передається певна кількість теплоти. А як передається ця енергія?

Ми *спостерігаємо*, що язики полум'я підіймаються, отже, туди ж рухається й тепле повітря. Звідси перший висновок: стоячи біля вогню, ми отримуємо енергію *не* завдяки конвекції.

Зробимо *припущення*: можливо, енергія передається завдяки теплопровідності. Щоб перевірити це припущення, помістимо біля вогню лист металу (рис. 15.1, *а*). Він надійно захистить від жару незважаючи на те, що метал добре проводить тепло. А от прозоре скло (рис. 15.1, *б*), хоча воно і є гарним теплоізолятором, захищає від жару менше, ніж непрозорий метал. Робимо другий висновок: тепло від відкритого вогню передається не лише завдяки теплопровідності.

Отже, ми маємо справу ще з одним видом теплопередачі — *випромінюванням*, або *тепловим випромінюванням*.

Випромінювання — це вид теплопередачі, у ході якого енергія передається за допомогою електромагнітних хвиль.

Рис. 15.1. Метал, який добре проводить тепло, краще захищає від гарячого полум'я, ніж скло, що є поганим теплопровідником

ДОСЛІДЖЕННЯ

Що знадобиться: свічка, запальничка, аркуш картону (або шматок іншого непрозорого матеріалу), пластиковий прозорий файл (або шматок іншого прозорого матеріалу).

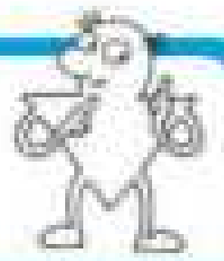
Будьте обережні: тримайте матеріал на відстані не менше ніж 5–7 см від полум'я.

Запаліть свічку та піднесіть долоню до полум'я збоку. Опишіть ваші відчуття. Помістіть між долонею і полум'ям спочатку непрозорий аркуш картону, а потім прозорий файл. Щоразу уважно стежте за тим, що відчуваєте. Зробіть висновок щодо спостережуваних явищ.

2. Які особливості має теплове випромінювання?

Усі тіла (або частини одного тіла) за будь-якої температури обмінюються енергією завдяки випромінюванню. Тобто *будь-яке* тіло водночас і випромінює, і поглинає тепло.* Якщо температура тіла більша за температуру тіл навколо, то воно випромінює більше енергії, ніж поглинає. Якщо ж тіло холодніше від навколишніх тіл, то енергія, яку воно поглинає, буде більшою, ніж енергія, яку воно випромінює.

Поміркуйте і сформулюйте гіпотезу щодо фізичної причини, яка спонукає людей носити в літню спеку одяг світлих кольорів.



Щоб перевірити вашу гіпотезу, скористаємося *теплоприймачем* (рис. 15.2), який сполучимо з рідинним манометром. Якщо підносити теплоприймач до гарячої праски спочатку чорною поверхнею (рис. 15.3, *а*), а потім білою (або світлою відполірованою) поверхнею (рис. 15.3, *б*), то спостерігатимемо різне зниження рідини в коліні манометра, сполученому з теплоприймачем. Це означає, що тиск повітря в коробочці, а отже, і його температура суттєво відрізняються в обох випадках. Причина — колір і якість оброблення поверхні теплоприймача: у випадку чорної поверхні повітря нагрівається більше.

Тіла з темною поверхнею краще поглинають теплове випромінювання, ніж тіла зі світлою або полірованою поверхнею.

---

* Тут і далі маємо на увазі тіла, температура яких більша за 0 К (абсолютний нуль).

Рис. 15.2. Теплоприймач

Рис. 15.3. Дослід, який демонструє, що здатність тіла поглинати енергію випромінювання залежить від кольору поверхні тіла

За допомогою схожих дослідів також з'ясовано, що *тіла з темною поверхнею не тільки краще поглинають тепло, а й активніше його випромінюють.*

Зауважимо, що випромінювання відрізняється від інших видів теплопередачі тим, що може відбуватися навіть у вакуумі. Наприклад, енергія від Сонця до Землі й інших планет передається завдяки випромінюванню.

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...

На Землю потрапляє лише близько половини мільярдної частки енергії, яку випромінює Сонце. Але цього достатньо, щоб нагрівати сушу та водойми, підтримуючи більшу частину води на нашій планеті в рідкому стані, що своєю чергою забезпечує життя на Землі. Джерелом сонячної енергії є так звані реакції термоядерного синтезу, які вчені відтворили в лабораторії приблизно 100 років тому. Одразу виникла ідея «створити маленькі Сонця на Землі» — збудувати електростанції, які зможуть забезпечити людство дешевою електроенергією. За час, що минув, учені подолали майже весь шлях до бажаної мети. З нетерпінням чекаємо на фінальний результат.

3. Чи можна побачити втрати тепла?

Ви вже знаєте, що тіла, температура яких більша за температуру навколишнього середовища, випромінюють більше енергії, ніж поглинають. Саме такими тілами є будинки взимку. Сьогодні будівельники створюють споруди, у яких випромінювання, а відповідно, й теплові втрати є мінімальними. Такі будинки називають енергоефективними. А чи можна перевірити їхню якість, адже неозброєним оком побачити нічого неможливо? На допомогу прийшли тепловізори — прилади, подібні до звичайних фотокамер, на екранах яких різними кольорами

Видавництво «Ранок»

Рис. 15.4. Аналіз енергоефективності будинку за допомогою тепловізора

Рис. 15.5. Зображення птаха, отриману за допомогою тепловізора

відображається інтенсивність теплового випромінювання (рис. 15.4). Ці прилади мають доволі широке застосування. Наприклад, за допомогою тепловізора можна в повній темряві побачити живих істот або віддалено виміряти температуру різних частин тіла навіть маленької тварини (рис. 15.5).

А ЯК НАСПРАВДІ?

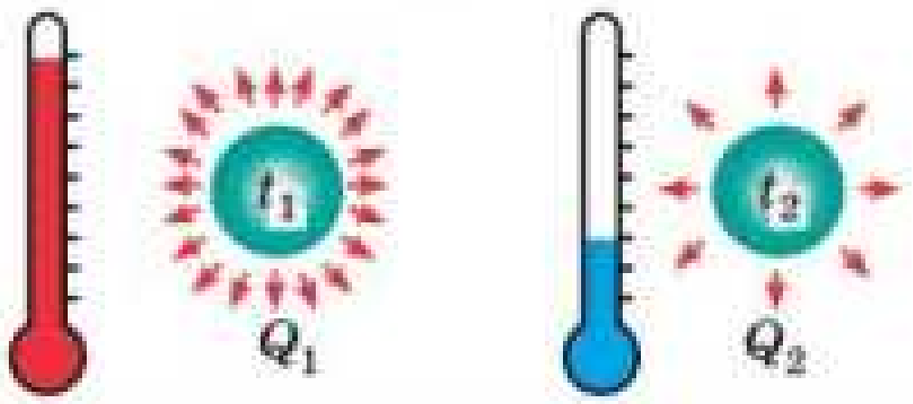
Уявіть, що ви стали свідком дискусії двох дизайнерів. Один стверджує, що в кімнаті необхідно встановити темні жалюзі, оскільки кімната вікнами виходить на південь і тому й так є досить світлою. Інший наполягає на світлих жалюзі, мотивуючи тим, що влітку в цій кімнаті з темними жалюзі буде нестерпна спека. Як ви вважаєте, хто із них має рацію?

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Випромінювання — це вид теплопередачі, у ході якого енергія передається за допомогою електромагнітних хвиль.

- Може відбуватись у вакуумі.
- Будь-яке тіло водночас випромінює і поглинає тепло.
- Що вищою є температура тіла, то більше тепла воно випромінює: якщо $t_1 > t_2$, то $Q_1 > Q_2$.

Сильніше випромінюють і краще поглинають енергію тіла з темною поверхнею.



КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Чому енергія від Сонця до Землі не може передаватися завдяки конвекції та теплопровідності? 2. Що таке випромінювання? 3. Тіла якого кольору краще поглинають тепло? Опишіть дослід на підтвердження вашої відповіді. 4. Чи існують умови, за яких тіло не випромінює і не поглинає енергію? 5. Що відбувається з температурою тіла, коли це тіло випромінює енергії більше, ніж поглинає?

ВПРАВА № 15

1. Чому опалювальні батареї краще фарбувати в темний колір?
2. У який колір краще фарбувати фургони рефрижераторів?
3. Чому навесні забруднений сніг тане швидше, ніж чистий?
4. Узимку в неопалюваному приміщенні, вікна якого «дивляться» на південь, досить тепло. Коли таке може бути? Чому?
5. Ви вирішили випити чаю і ввімкнули електричний чайник. Зазначте, який із видів теплопередачі є визначальним для нагрівання: а) чайника; б) води в чайнику; в) повітря над чайником; г) повітря поряд із чайником.

6. Заповніть таблицю* шляхом позначення відповідної комірки, якщо в зазначеному середовищі може відбуватися певний вид теплопередачі: Т — теплопровідність, К — конвекція, В — випромінювання.

	Т	К	В
Вакуум			
Вода			
Ґрунт сухий			
Залізо			
Кисень			
Повітря			

7. Для чого між стінками колби в термосах відкачують повітря, а поверхню колби роблять дзеркальною?
8. Атмосфера Землі прозора, тому сонячні промені проходять крізь атмосферу, майже не нагріваючи її. А завдяки чому нагрівається атмосферне повітря і від чого залежить ступінь його нагрівання?

Ключові терміни

Випромінювання • Теплоприймач

* Сподіваємося, ви пам'ятаєте, що в таких завданнях *подані таблиці потрібно переносити до зошита.*

Видавництво «Ранок»

§ 16. ПИТОМА ТЕПЛОЄМНІСТЬ РЕЧОВИНИ. КІЛЬКІСТЬ ТЕПЛОТИ, ЩО ПОГЛИНАЄТЬСЯ РЕЧОВИНОЮ ПІД ЧАС НАГРІВАННЯ АБО ВИДІЛЯЄТЬСЯ ПІД ЧАС ОХОЛОДЖЕННЯ

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Уявіть, що вам потрібно нагріти дві рідини масами 300 і 200 г до 100 °С . Ви налили ці рідини в однакові посудини та поставили на однакові нагрівники. Поміркуйте, яка рідина нагріється швидше. Не кваптеся з висновком.

1. Від чого залежить кількість теплоти, що необхідна для нагрівання?

Обмірковуючи питання для обговорення, дехто з вас не мав сумнівів, що рідина масою 200 г нагріється швидше. І ця відповідь, можливо, є правильною, а можливо — ні. З'ясуймо.

Є очевидним: якщо рідина та сама (наприклад, вода) і її початкова температура в обох посудинах є однаковою, то для нагрівання рідини більшої маси потрібно більше часу. Це означає, що *кількість теплоти, необхідна для нагрівання, збільшується зі збільшенням маси речовини.*

Проте ми не знаємо, про які рідини йдеться, і тому не можемо точно відповісти, яка з них нагріється швидше. Адже *кількість теплоти, яку необхідно передати речовині для певної зміни її температури, залежить від того, яка це речовина.* У цьому легко переконатися за допомогою досліду (див., наприклад, рис. 16.1).

Змінюючи масу речовини, способи її нагрівання та охолодження, намагаючись звести до мінімуму теплові втрати, вчені довели, що *кількість теплоти, яку поглинає речовина під час нагрівання або виділяє під час охолодження:*

- *залежить від того, яка це речовина;*
- *прямо пропорційна масі речовини;*
- *прямо пропорційна зміні температури речовини.*

Поміркуйте, чи однакову кількість теплоти поглине речовина певної маси під час нагрівання від 20 до 100 °С та під час нагрівання від 50 до 100 °С. Якщо не однакову, то в якому випадку більшу? У скільки разів більшу?

Це твердження записують формулою:

$$Q = cm\Delta t,$$

де Q — кількість теплоти; m — маса речовини; Δt — зміна температури; c — коефіцієнт пропорційності, який має назву *питома теплоємність речовини*.

2. Що характеризує питома теплоємність речовини?

Питома теплоємність речовини — це фізична величина, що характеризує речовину і чисельно дорівнює кількості теплоти, яку необхідно передати речовині масою 1 кг, щоб нагріти її на 1 °С.

Питому теплоємність позначають символом c і визначають за формулою:

$$c = \frac{Q}{m\Delta t}$$

З поданої формули дістанемо одиницю питомої теплоємності — **джоуль на кілограм-градус Цельсія***:

$$[c] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot {}^\circ\text{С}}.$$

Питома теплоємність показує, на скільки джоулів змінюється внутрішня енергія речовини масою 1 кг *у разі зміни температури на* 1 °С, *якщо агрегатний стан речовини не змінюється.*

Питомі теплоємності різних речовин можуть суттєво різнитися. Наприклад, питома теплоємність золота 130 $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot {}^\circ\text{С}}$. Це означає, що в ході нагрівання 1 кг золота на 1 °С воно поглинає 130 Дж теплоти, а якщо 1 кг золота охолоне на 1 °С, то при цьому виділиться 130 Дж теплоти. Питома ж теплоємність соняшникової олії 1700 $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot {}^\circ\text{С}}$, а заліза у твердому стані — 460 $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot {}^\circ\text{С}}$.

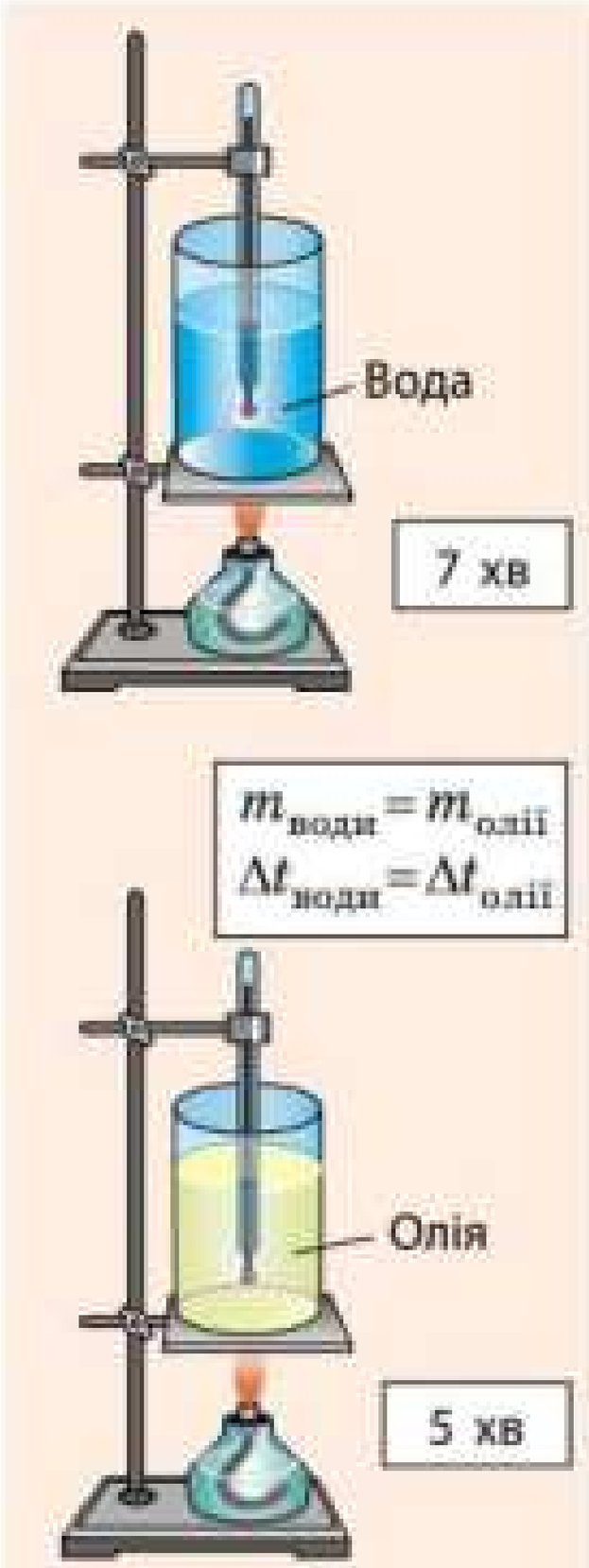


Рис. 16.1. Якщо нагрівати воду й олію однакової маси, то за однакової зміни температури олія нагріється швидше, а отже, одержить меншу кількість теплоти

Скільки теплоти необхідно для нагрівання 1 кг заліза на 1 °С? на 2 °С? А скільки теплоти виділиться під час охолодження 2 кг заліза на 2 °С?

* У СІ питому теплоємність вимірюють *у джоулях на кілограм-кельвін*; числові значення питомої теплоємності, поданої в Дж/(кг·°С) і Дж/(кг·К), є однаковими.

Видавництво «Ранок»

Питома теплоємність речовини в різних агрегатних станах є різною. Наприклад, питома теплоємність води становить 4200 $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot{}^\circ\text{C}}$, а льоду — 2100 $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot{}^\circ\text{C}}$.

Значення питомих теплоємностей речовин визначають дослідним шляхом і заносять у таблиці (див. табл. 1 Додатка 1).

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...

Вода має дуже велику питому теплоємність — одну з найбільших серед речовин на Землі. Це означає, що вода може поглинати доволі багато тепла без значної зміни температури. Така висока теплоємність робить воду критично важливою для регулювання температури на нашій планеті, яка на 70,8 % вкрита водою. Повільно нагріваючись, ця вода поглинає значну кількість теплоти, а остигаючи, віддає її. Саме тому в місцях, розташованих біля великих водойм, літо не буває дуже спекотним, а зима — морозною. А тепер уявіть, яким був би клімат на Землі, якби питома теплоємність води була значно меншою.

3. Учимося розв'язувати задачі

■ Задача. Під час згоряння дров цегляна піч масою 2 т отримала 88 МДж теплоти й нагрілася від 10 до 60 °С. Визначте питому теплоємність цегли. ■

Аналіз фізичної проблеми. Для розв'язання задачі скористаємося формулою, що визначає питому теплоємність речовини.

Дано:
$m = 2000$ кг
$t_1 = 10\,^\circ\text{C}$
$t_2 = 60\,^\circ\text{C}$
$Q = 88$ МДж $= 88\,000\,000$ Дж

Знайти:
c — ?

Пошук математичної моделі, розв'язання

Оскільки $c = \frac{Q}{m\Delta t}$, а $\Delta t = t_2 - t_1$, дістанемо:

$$c = \frac{Q}{m(t_2 - t_1)}.$$

Перевіримо одиницю, знайдемо значення шуканої величини:

$$[c] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot(^\circ\text{C} - {}^\circ\text{C})} = \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot{}^\circ\text{C}};$$

$$c = \frac{88\,000\,000}{2000(60-10)} = \frac{88\,000}{2\cdot 50} = 880\left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot{}^\circ\text{C}}\right).$$

Аналіз результату. Одержане значення питомої теплоємності збігається з табличним, отже, задачу розв'язано правильно.

Відповідь: $c = 880$ $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot{}^\circ\text{C}}$.

А ЯК НАСПРАВДІ?

Рано восени або пізно навесні, коли опалення вимкнене, а на вулиці холодно, рятує обігрівач. На сайті продажів оливних обігрівачів подано такі рекомендації: «Краще купувати оливний радіатор, адже він швидше, ніж конвектор, нагріває приміщення й довше зберігає тепло. Для досягнення максимально ефективного обігріву купуйте оливні радіатори, що мають чорний колір». А як насправді?

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Кількість теплоти Q, яку поглинає тіло під час нагрівання або виділяє під час охолодження, прямо пропорційна:

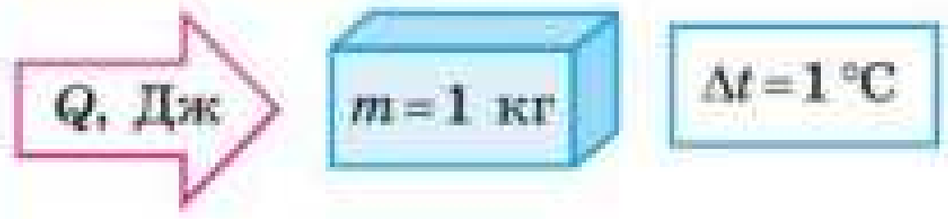
- масі m цього тіла;
- зміні його температури Δt;
- питомій теплоємності c речовини.

$$Q = cm\Delta t$$

Питома теплоємність речовини — це фізична величина, що характеризує певну речовину й чисельно дорівнює кількості теплоти, яку необхідно передати цій речовині масою 1 кг, щоб нагріти її на 1 °С.

$$c = \frac{Q}{m\Delta t}$$

$$[c] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot {}^\circ\text{С}}$$



Питома теплоємність залежить від агрегатного стану речовини.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Від чого залежить кількість теплоти, що необхідна для нагрівання тіла? 2. За якою формулою обчислюють кількість теплоти, передану тілу під час нагрівання або виділену ним під час охолодження? 3. Яким є фізичний зміст питомої теплоємності речовини? 4. Назвіть одиницю питомої теплоємності речовини.

Видавництво «Ранок»

ВПРАВА № 16

1. Питома теплоємність срібла дорівнює 250 $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$. Що це означає?

2. Чому в системах охолодження найчастіше використовують воду?

3. Сталеву ложку масою 40 г нагріли в окропі (у воді за температури 100 °С). Яка кількість теплоти пішла на нагрівання ложки, якщо її температура збільшилася від 20 до 80 °С?

4. За поданими рис. 1–3 складіть задачі та розв'яжіть їх.

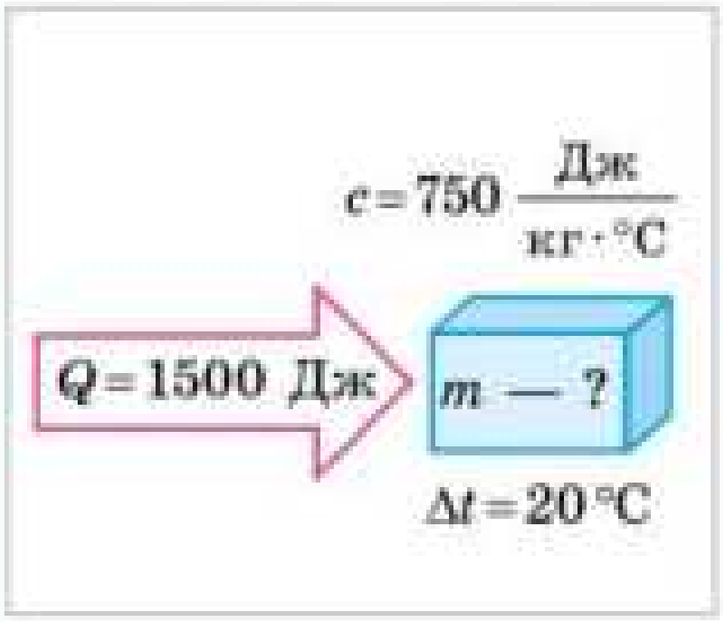


Рис. 1

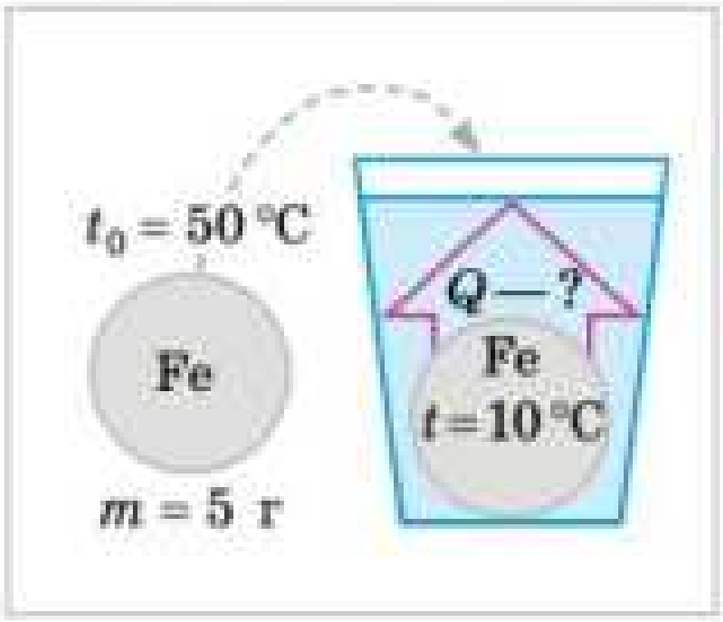


Рис. 2

Рис. 3

5. Щоб нагріти деталь масою 250 г на 160 °С, їй було передано 20 кДж теплоти. З якого матеріалу виготовлено деталь?

6. Як відомо, $c = \frac{Q}{m\Delta t}$. Чи можемо ми сказати, що питома теплоємність залежить від маси речовини? від зміни температури речовини? від кількості переданої теплоти?

7. В алюмінієвій каструлі масою 500 г нагріли 1,5 кг води від 20 °С до кипіння. Яку кількість теплоти передано каструлі з водою?

8. На яку висоту можна було б підняти вантаж масою 2 т, якби вдалося використати всю енергію, що звільняється під час остигання 0,5 л води від 100 до 0 °С?

9. Оберіть на карті дві місцевості, розташовані на одній широті: одна має бути біля моря, а інша — у глибині континенту. Скориставшись додатковими джерелами інформації, зіставте перепади температур (день — ніч, зима — літо) у цих місцевостях. Поясніть отримані результати.

Ключові терміни

Питома теплоємність · Кількість теплоти

Видавництво «Ранок»

§ 17. ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Мабуть, ніхто не відмовиться від ковтка чаю, повернувшись додому в холодний день. І напевно всі знають: щойно заварений чай зазвичай є дуже гарячим. Опишіть щонайменше три способи швидкого охолодження занадто гарячого напою.

1. На якому законі ґрунтується рівняння теплового балансу?

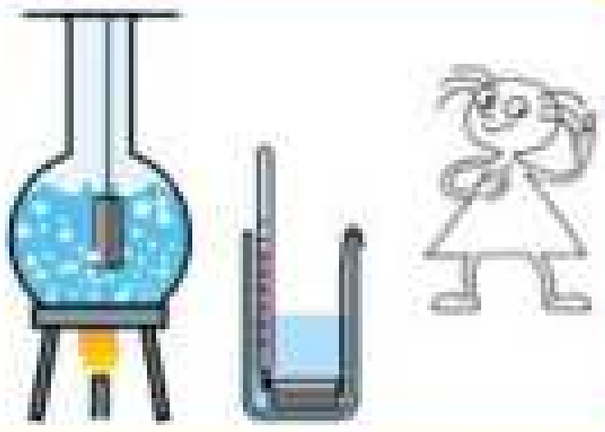
Закон збереження і перетворення енергії — це фундаментальний закон, який справджується для всіх процесів у природі, в тому числі для теплопередачі. Уявіть систему тіл, яка не одержує і не віддає енергію, а зміна внутрішньої енергії тіл відбувається лише внаслідок теплообміну між тілами системи. У такому випадку на підставі закону збереження енергії можна стверджувати: *скільки теплоти віддають одні тіла системи, стільки ж теплоти одержують інші.*

Позначимо Q^+ модуль кількості теплоти, одержаної якимось тілом системи, а Q^- — модуль кількості теплоти, відданої якимось тілом цієї системи. Тоді закон збереження енергії для процесу теплопередачі можна записати у вигляді рівняння, яке називають **рівнянням теплового балансу:**

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

де n — кількість тіл, що віддають енергію; k — кількість тіл, що одержують енергію.

Металевий циліндр нагріли у воді, що кипить, після чого занурили в холодну воду (див. рисунок). Яке з тіл (вода чи циліндр) віддаватиме енергію? одержуватиме енергію? Що можна сказати про ці енергії, якщо теплообмін із навколишнім середовищем відсутній? Зіставте температури зазначених тіл через певний інтервал часу.



Видавництво «Ранок»

Рис. 17.1. Приклад застосування рівняння теплового балансу

Рівняння теплового балансу застосовують для розв'язування низки задач, з якими ми часто маємо справу на практиці. Це й обчислення кількості гарячої води, яку треба додати в посудину з холодною водою, щоб отримати теплу воду заданої температури (рис. 17.1), й визначення потужності обігрівача для підтримання в приміщенні комфортної температури, й вимірювання теплових характеристик речовин (див., наприклад, лабораторну роботу № 4) та ін.

А ЯК НАСПРАВДІ?

— Мамо, а є щось швиденько поїсти? А то ми йдемо в кіно, — сказала Даринка, ледь переступивши поріг домівки.

— Так, я щойно зварила суп! Але ж він дуже гарячий.

— Я знаю, що робити! Сьогодні на фізиці обговорювали. Потрібно вилити суп у холодну посудину, яка має бути досить важкою. А в нас є важкий казан. Супу десь 4 л, тобто десь 4 кг, він щойно кипів, отже, його температура близько 100 °С. Маса казана теж 4 кг, а температура десь 20 °С. Отже, якщо ти виллєш суп у казан, то температура супу швидко знизиться до 60 °С.

— Здається, ти помиляєшся, температура знизиться набагато менше, — посміхнулася матуся.

Хто, на Вашу думку, має рацію?

2. Учимося розв'язувати задачі

Розв'язуючи задачі на складання рівняння теплового балансу, слід пам'ятати:

1) процес теплообміну зрештою приводить *до стану теплової рівноваги*, тобто *температури всіх тіл системи стають однаковими*;

2) рівняння теплового балансу ми будемо використовувати у вигляді, де значення кількостей теплоти взяті за модулем, тому, розраховуючи кількість теплоти, завжди від більшої температури відніматимемо меншу.

■ Задача. У холодну воду, узяту за температури 10 °С, додали 100 г гарячої води, що має температуру 70 °С. Чому дорівнювала маса холодної води, якщо після змішування встановилася температура 30 °С? Вважайте, що теплообмін із довкіллям не відбувається. ■

Аналіз фізичної проблеми. У теплообміні беруть участь гаряча та холодна вода. За умовою, теплообмін із довкіллям не відбувається, тому для розв'язування задачі можна скористатися рівнянням теплового балансу.

Видавництво «Ранок»

Дано:
$t_1 = 10\,^\circ\text{C}$
$m_2 = 100\ \text{г} = 0{,}1\ \text{кг}$
$t_2 = 70\,^\circ\text{C}$
$t = 30\,^\circ\text{C}$

Знайти:
m_1 — ?

Пошук математичної моделі, розв'язання

Одержує енергію	*Віддає енергію*
холодна вода нагрівається від 10 °C до 30 °C:	гаряча вода охолоджується від 70 °C до 30 °C:
$Q_1 = cm_1(t - t_1)$	$Q_2 = cm_2(t_2 - t)$

$$Q_1 = Q_2 \Rightarrow cm_1(t - t_1) = cm_2(t_2 - t) \Rightarrow$$
$$\Rightarrow m_1(t - t_1) = m_2(t_2 - t).$$ Звідси:
$$m_1 = \frac{m_2(t_2 - t)}{t - t_1}.$$

Перевіримо одиницю, визначимо значення шуканої величини:

$$[m_1] = \frac{\text{кг}(^\circ\text{C} - {}^\circ\text{C})}{{}^\circ\text{C} - {}^\circ\text{C}} = \frac{\text{кг} \cdot {}^\circ\text{C}}{{}^\circ\text{C}} = \text{кг}; \quad m_1 = \frac{0{,}1(70 - 30)}{30 - 10} = 0{,}2\ \text{(кг)}.$$

Відповідь: $m_1 = 0{,}2$ кг.

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Спочатку:
$t_{\text{води}} \neq t_{\text{ложки}}$

Із часом:
$t_{\text{води}} = t_{\text{ложки}}$

У системі тіл, яка не одержує та не віддає енергію, а внутрішня енергія тіл системи змінюється тільки внаслідок теплопередачі, загальна кількість теплоти (Q^-), віддана одними тілами системи, дорівнює загальній кількості теплоти (Q^+), одержаної іншими тілами цієї системи:

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

Процес теплообміну зрештою приводить до стану теплової рівноваги, тобто температури всіх тіл системи стають однаковими.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Сформулюйте закон збереження енергії, на підставі якого складають рівняння теплового балансу. 2. Назвіть умови, які мають виконуватися для використання рівняння теплового балансу.

ВПРАВА № 17

Виконуючи завдання, теплообміном із довкіллям знехтуйте.

1. У ванну налили 80 кг води за температури 10 °C. Скільки води за температури 100 °C потрібно додати у ванну, щоб температура води в ній стала 25 °C? Теплообміном між ванною та водою знехтуйте.

Видавництво «Ранок»

2. У каструлю налили 2 кг води за температури 40 °С, а потім додали 4 кг води за температури 85 °С. Визначте температуру суміші. Теплообміном між каструлею та водою знехтуйте.

3. У воду масою 250 г за температури 15 °С занурили нагрітий у печі сталевий брусок масою 200 г. Температура води збільшилася до 25 °С. Обчисліть температуру в печі.

4. Латунна посудина масою 200 г містить 400 г води за температури 20 °С. У воду опустили 800 г срібла за температури 69 °С. У результаті вода нагрілася до температури 25 °С. Визначте питому теплоємність срібла.

5. Придумайте 1–2 задачі на складання рівняння теплового балансу та розв'яжіть їх. Умови задач, розв'язок і відповідні ілюстрації оформте на окремому аркуші.

Ключові терміни

Теплова рівновага • Рівняння теплового балансу

rmk.com.ua/110489

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

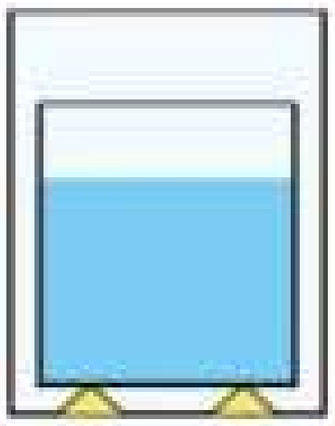
Тема. Вивчення теплового балансу за умови змішування води різної температури.

Мета: визначити кількість теплоти, віддану гарячою водою, і кількість теплоти, одержану холодною водою, у результаті змішування води різної температури; порівняти результати.

Обладнання: мірний циліндр; термометр; калориметр; склянка з холодною водою; склянка з гарячою водою; паперові серветки; мішалка.

Теоретичні відомості

Для багатьох дослідів із вивчення теплових явищ застосовують *калориметр* — пристрій, що складається з двох посудин, які розміщені одна в одній і розділені повітряним прошарком (див. рисунок). Завдяки невеликій відстані між внутрішньою і зовнішньою посудинами, що зумовлює відсутність конвекційних потоків, а також унаслідок слабкої теплопровідності повітря теплообмін із довкіллям у калориметрі є незначним.



Вказівки до роботи

Підготовка до експерименту

1. Ознайомтесь із будовою калориметра.
2. Згадайте, у чому полягає стан теплової рівноваги.
3. Визначте ціну поділки шкал вимірювальних приладів.

Експеримент

Дотримуйтесь інструкції з безпеки.

Результати вимірювань і обчислень відразу заносьте до таблиці.

1. Налийте в мірний циліндр 60–80 мл холодної води. Визначте її об'єм (V_1) і виміряйте її температуру (t_1).
2. Налийте в калориметр гарячої води (1/3 внутрішньої посудини калориметра) і виміряйте її температуру (t_2).
3. Не виймаючи з калориметра термометр, із мірного циліндра вилийте в калориметр холодну воду. Обережно перемішуючи суміш мішалкою, стежте за показами термометра. Щойно змінення температури стане непомітним, запишіть температуру суміші (t).
4. Обережно вийміть термометр із води, осушіть паперовою серветкою та покладіть у футляр.
5. Перелийте всю воду з калориметра в мірний циліндр, виміряйте загальний об'єм V води.

Опрацювання результатів експерименту

1. Визначте масу холодної води за формулою: $m_1 = \rho_{води} V_1$. За формулою $Q_1 = c_{води} m_1 (t - t_1)$ обчисліть кількість теплоти Q_1, одержану холодною водою.
2. Визначте об'єм V_2 і масу m_2 гарячої води: $V_2 = V - V_1$; $m_2 = \rho_{води} V_2$. За формулою $Q_2 = c_{води} m_2 (t_2 - t)$ обчисліть кількість теплоти Q_2, віддану гарячою водою.
3. Закінчіть заповнення таблиці.

Температура води, °С			Об'єм води, мл			Маса води, кг		Кількість теплоти, Дж	
t_1	t_2	t	V_1	V	V_2	m_1	m_2	Q_1	Q_2

Аналіз результатів експерименту

Проаналізуйте експеримент і його результати. Сформулюйте висновок, у якому: а) порівняйте кількість теплоти, віддану гарячою водою, і кількість теплоти, одержану холодною водою; б) зазначте причину можливої розбіжності результатів.

Видавництво «Ранок»

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

rnk.com.ua/110490

Тема. Визначення питомої теплоємності речовини.

Мета: визначити питому теплоємність речовини у твердому стані.

Обладнання: мірний циліндр; терези з важками; термометр; калориметр; металеве тіло з ниткою; склянка з водою кімнатної температури; паперові серветки; мішалка; електричний чайник з водою, що кипить (один на клас).

Теоретичні відомості

Для визначення питомої теплоємності речовини у твердому стані можна скористатися таким методом. Тіло нагрівають в окропі, а потім опускають у калориметр із холодною водою. Відбувається теплообмін, у якому беруть участь чотири тіла: тверде тіло (воно віддає енергію), вода, калориметр і термометр (вони одержують енергію). Оскільки термометр і калориметр порівняно з водою одержують незначну кількість теплоти, можемо вважати, що кількість теплоти, віддана твердим тілом, дорівнює кількості теплоти, одержаної холодною водою: $Q_{\text{тіла}} = Q_{\text{води}}$.

Отже, $c_{\text{тіла}} m_{\text{тіла}} (t_{0\,\text{тіла}} - t) = c_{\text{води}} m_{\text{води}} (t - t_{0\,\text{води}})$; звідси:

$$c_{\text{тіла}} = \frac{c_{\text{води}} m_{\text{води}} \left(t - t_{0\,\text{води}}\right)}{m_{\text{тіла}} (t_{0\,\text{тіла}} - t)},$$

t — температура тіла й води після встановлення теплової рівноваги.

Вказівки до роботи

Підготовка до експерименту

1. Уважно прочитайте теоретичні відомості.
2. Згадайте, що характеризує питома теплоємність речовини.
3. Визначте ціну поділки шкал вимірювальних приладів.

Експеримент

Дотримуйтесь інструкції з безпеки.

Результати вимірювань і обчислень відразу заносьте до таблиці.

1. Налийте в мірний циліндр 100–150 мл води. Виміряйте об'єм ($V_{\text{води}}$).
2. Перелийте воду з мірного циліндра в калориметр. Виміряйте початкову температуру води в калориметрі ($t_{0\,\text{води}}$).

3. Вийміть термометр із води, покладіть його на серветку. Підійдіть із калориметром до вчителя / вчительки, який / яка із чайника з киплячою водою дістане за нитку металеве тіло й покладе його у ваш калориметр.
4. Знову помістіть термометр у калориметр і, обережно перемішуючи воду мішалкою, стежте за підвищенням температури. Щойно змінення температури стане непомітним (тобто встановиться теплова рівновага), запишіть показ термометра — кінцеву температуру води та тіла (t).
5. Вийміть термометр із води, осушіть його паперовою серветкою та покладіть у футляр.
6. Вийміть металеве тіло з води, осушіть його паперовою серветкою та зважте ($m_{\text{тіла}}$).

Опрацювання результатів експерименту

1. Визначте масу води в калориметрі $\left(m_{\text{води}} = \rho_{\text{води}} V_{\text{води}}\right)$. Результат обчислень занесіть до таблиці.
2. Поміркуйте та заповніть стовпчики 5–7 таблиці.
3. Скориставшись формулою $c_{\text{тіла}} = \dfrac{c_{\text{води}} m_{\text{води}} \left(t - t_{0\text{води}}\right)}{m_{\text{тіла}} \left(t_{0\text{тіла}} - t\right)}$, визначте питому теплоємність металу, з якого виготовлено тіло ($c_{\text{тіла}}$).
4. Скориставшись таблицею питомих теплоємностей деяких речовин у твердому стані, дізнайтеся, з якого металу виготовлено тіло.

Вода					Тверде тіло			
$t_{0\text{води}}$, °C	t, °C	$V_{\text{води}}$, м^3	$m_{\text{води}}$, кг	$c_{\text{води}}$, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot °\text{C}}$	$t_{0\text{тіла}}$, °C	t, °C	$m_{\text{тіла}}$, кг	$c_{\text{тіла}}$, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot °\text{C}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9

Аналіз результатів експерименту

Проаналізуйте експеримент і його результати. Сформулюйте висновок, у якому зазначте: а) яку величину ви визначали; б) який результат отримали; в) які чинники вплинули на точність одержаного результату.

Творче завдання

Запропонуйте спосіб визначення питомої теплоємності рідини. Запишіть план відповідного експерименту.

mk.com.ua/
110492

§ 18. АГРЕГАТНИЙ СТАН РЕЧОВИНИ

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Покладіть на долоню малесенький шматочок льоду або купку снігу. Почекайте хвилину. Що відбувається із льодом? Якщо долоню не витирати, то із часом вода з долоні зникне. Куди вона подінеться? Чи відбуваються якісь зміни у складі молекул під час процесів, які ви спостерігаєте?

1. Які існують агрегатні стани речовини?

Чи траплялося вам бачити морозним зимовим днем швидку річку? Навколо лежить сніг, завмерли дерева, вкриті інеєм, а вода в річці не замерзає. Лід (сніг, іній) і вода — це різні *агрегатні стани* води: *твердий* і *рідкий*. А іній на деревах з'явився тому, що в повітрі багато водяної пари, яка, кристалізуючись, осідає у вигляді інею. Водяна пара — це третій агрегатний стан води — *газоподібний*.

Наведемо ще приклад. Ви, напевно, знаєте, що небезпечно розбити термометр із ртуттю. Ртуть, випаровуючись, утворює дуже отруйну пару. А от за температури, нижчої від −39 °С, ртуть є твердим металом. Отже, ртуть, як і вода, може перебувати в трьох агрегатних станах: **твердому, рідкому, газоподібному.**

Та сама речовина і у твердому, і в рідкому, і в газоподібному станах складається з однакових молекул. Чому ж різняться фізичні властивості речовин у різних агрегатних станах? Причина відмінностей полягає в тому, що *молекули по-різному рухаються та взаємодіють*.

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...

У Всесвіті найпоширенішим агрегатним станом речовини є плазма. **Плазма** — це частково або повністю йонізований газ, тобто газ, який складається із заряджених частинок (йонів і електронів) та нейтральних атомів і молекул. Саме в стані плазми перебуває речовина в надрах зір. На Землі ми також «зустрічаємося» з плазмою. Наприклад, у стані плазми перебуває повітря в каналі блискавки.

2. Чому тверді тіла не розсипаються на окремі молекули?

Розгляньте тверді тіла, зображені на рис. 18.1. Чим вони відрізняються? Які спільні риси притаманні всім цим тілам?

Чому ж *тверді тіла зберігають об'єм і форму*?

По-перше, *частинки (молекули, атоми, йони) твердих тіл розташовані в положеннях рівноваги*. У цих положеннях сила притягання та сила відштовхування між частинками дорівнюють одна одній. У разі спроби збільшити або зменшити відстань між частинками (збільшити або зменшити розмір тіла) виникає міжмолекулярне притягання або відштовхування відповідно.

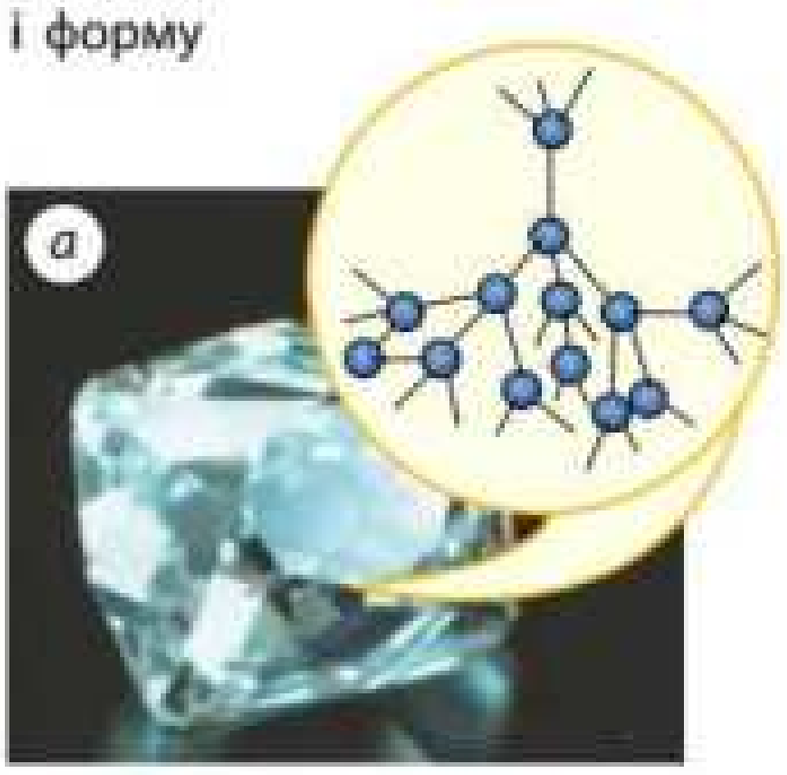
По-друге, *частинки твердих тіл* практично не пересуваються — вони *лише безперервно коливаються навколо положення рівноваги*.

У ході вивчення будови твердих тіл з'ясовано, що частинки більшості речовин у твердому стані розташовані в чітко визначеному порядку, тобто, як кажуть фізики, утворюють кристалічні ґратки. Такі речовини називають **кристалічними**. Прикладами кристалічних речовин можуть бути алмаз, графіт, лід, сіль, метали тощо.

Порядок розташування частинок у кристалічній ґратці речовини визначає фізичні властивості речовини. Так, алмаз і графіт складаються з тих самих атомів вуглецю, однак ці речовини дуже різняться, оскільки атоми в них розташовані по-різному (рис. 18.2).

Існує *група твердих речовин* (скло, віск, смола, бурштин тощо), *частинки яких не утворюють кристалічні ґратки* і загалом розташовані безладно. Такі речовини називають **аморфними**.

Рис. 18.1. Незважаючи на численні відмінності, всі тверді тіла зберігають об'єм і форму



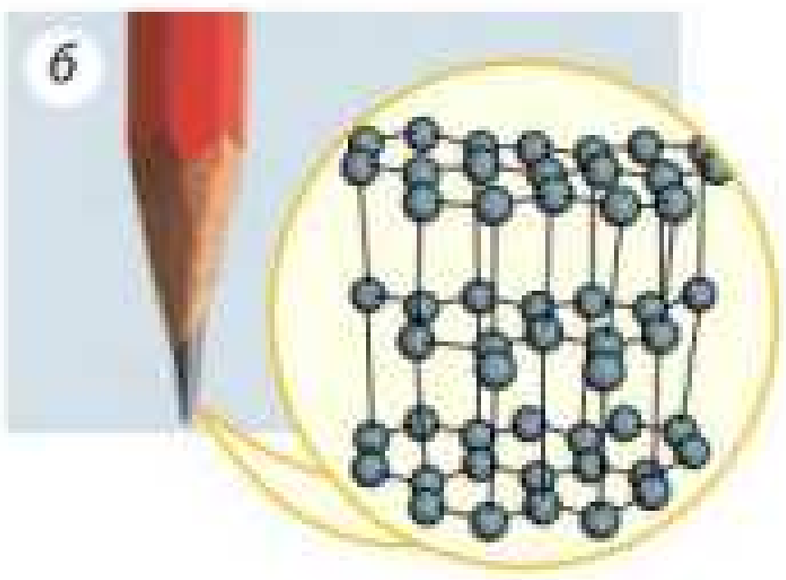


Рис. 18.2. Моделі кристалічних ґраток: *а* — алмазу, *б* — графіту. Кульками зображено атоми вуглецю. Насправді атоми розташовані впритул один до одного; ліній, що з'єднують атоми, не існує, їх проведено лише для того, щоб продемонструвати характер просторового розташування атомів

Видавництво «Ранок»

За певних умов тверді тіла плавляться, тобто переходять у рідкий стан. *Кожна кристалічна речовина плавиться за певної температури.* На відміну від кристалічних, *аморфні речовини не мають певної температури плавлення* — вони переходять у рідкий стан, поступово розм'якшуючись.

Рис. 18.3. У рідкому стані речовина зберігає свій об'єм, але набуває форми посудини, в якій міститься

3. Чому рідини плинні?

Рідина змінює форму, набуваючи форми тієї посудини, в якій міститься, зберігає об'єм (рис. 18.3) *і є практично нестисливою.* Ці властивості рідин пояснюються так.

Як і у твердих тілах, частинки в рідинах розташовані впритул одна до одної (рис. 18.4). Таке щільне упакування частинок спричиняє не тільки збереження об'єму рідини, але й те, що рідину майже неможливо стиснути.

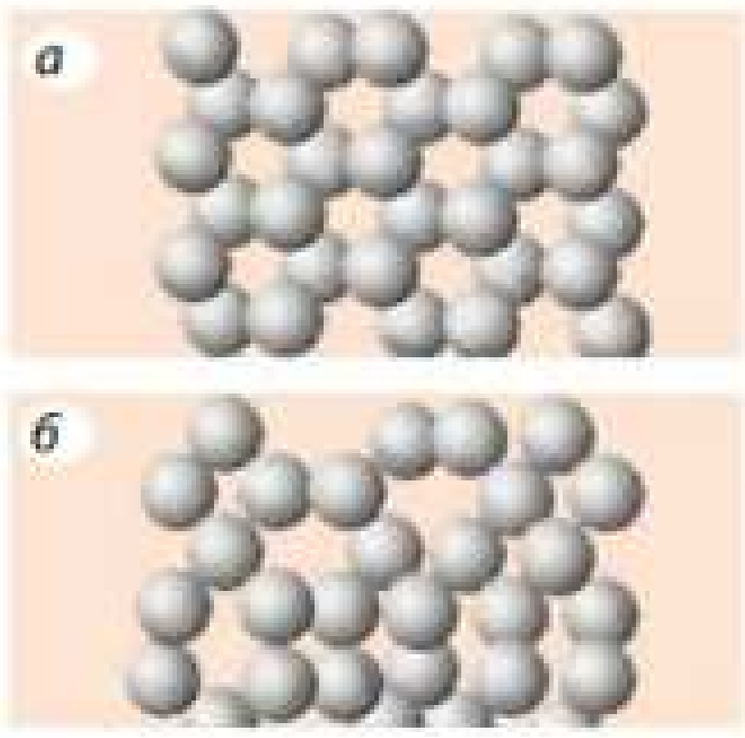


Рис. 18.4. Характер розташування частинок: *а* — у твердих кристалічних речовинах; *б* — у рідинах і аморфних речовинах (частинки загалом розташовані хаотично, однак у невеликому об'ємі речовини зберігається деяка взаємна орієнтація сусідніх частинок — існує ближній порядок)

Згадайте про сили міжмолекулярного притягання й відштовхування та поясніть останнє твердження самостійно.

Кожна частинка рідини протягом певного часу (порядку 10^{-11} с) здійснює рух, подібний до коливального, не віддаляючись при цьому від своїх «сусідів»; потім вона вривається зі свого оточення та, перескочивши в інше місце, знову деякий час коливається біля свого нового положення рівноваги. Перескакування (переходи) молекул з одного рівноважного стану в інший відбуваються здебільшого в напрямку зовнішньої сили, тому *рідина є плинною* — під дією зовнішніх сил вона набуває форми тієї посудини, в якій міститься.

4. Як зробити неньютонівську рідину?

Разом із плинністю рідина має ще одну важливу властивість, а саме *в'язкість. В'язкість — це властивість рідин і газів протидіяти переміщенню одних шарів речовини відносно інших.* Це призводить до того, що, рухаючись, одні шари речовини захоплюють ті, що поряд. Саме завдяки в'язкості можуть рухатися підземні води, вітер із часом стихає тощо.

Видавництво «Ранок»

ДОСЛІДЖЕННЯ

Що знадобиться: чашка (або інша невелика посудина); вода; крохмаль; міцна мішалка; серветки.

Наповніть чашку на чверть водою. Поступово додаючи крохмаль і повільно перемішуючи суміш мішалкою, досягніть того, щоб утворилася густа однорідна рідина. Ударте по поверхні рідини пальцем, а потім повільно опустіть палець у рідину. Поясніть результат. Налийте невелику кількість рідини на долоню. Швидкими рухами зліпіть кульку. Припиніть рухи. Що ви спостерігаєте?

Для багатьох рідин — їх називають *ньютонівськими* — в'язкість не залежить від сили, що діє на рідину. Що сильніше ми діятимемо на таку рідину, то швидше вона буде текти й змінювати свою форму. Наприклад, вода — це ньютонівська рідина.

Але існує низка рідин, в'язкість яких суттєво залежить від сили, що діє на рідину. Такі рідини називають *неньютонівськими*. Існують неньютонівські рідини, *в'язкість яких збільшується зі збільшенням сили*. Що сильніше діяти на таку рідину, то важче зсунути шари рідини один відносно одного. Під час досить сильної дії ця рідина ніби перетворюється на тверде тіло. Якщо неньютонівською рідиною наповнити невеликий басейн, то можна швидко пробігти по поверхні рідини, а от якщо рухатися повільно — обов'язково зануритеся. До неньютонівських рідин відносять і хиткі піски, і матеріали, з яких роблять слайми (рис. 18.5).

Рис. 18.5. Слайми, хиткі піски — це приклади неньютонівських рідин

5. Чому газ займає весь наданий об'єм?

Слово «газ» походить від грецького «хаос», «безлад». І справді, для газоподібного стану речовини характерний повний безлад у взаємному розташуванні та русі частинок.

Наприклад, частинки повітря розташовані на відстанях, які в 6–10 разів перевищують розміри самих частинок. На таких відстанях частинки майже не взаємодіють одна з одною, тому вони розлітаються й *газ займає весь наданий об'єм*. Великими відстанями пояснюється й той факт, що *гази легко стискаються*.

Видавництво «Ранок»

А ЯК НАСПРАВДІ?

Олеся вирішила вести блог «Фізика навколо» й записала для нього своє перше відео. Ось її коментар:

— Я набрала повний чайник снігу. Сніг — це твердий аморфний стан води! Тепер я ставлю чайник на плиту й чекаю. За певний час сніг перетворився на воду. Вода — це рідкий стан! Чекаємо далі. Бачите, навколо носика чайника з'явилися білі клуби — це пара. Пара — це газоподібний стан води!

Що в поясненні є правдою, а де дівчина помилилася?

Щоб зрозуміти, як рухаються молекули та атоми газу, уявімо рух однієї частинки. Ось вона рухається, зіштовхується з іншою частинкою, змінює напрямок і швидкість свого руху й летить далі, до наступного удару (рис. 18.6). Кожна частинка, що входить до складу повітря, наприклад, у класній кімнаті, зіштовхується з іншими та змінює швидкість свого руху кілька мільярдів разів за секунду.

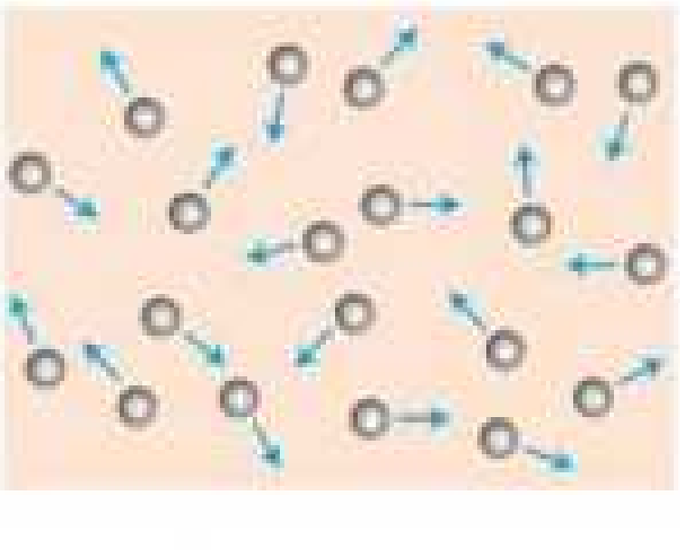
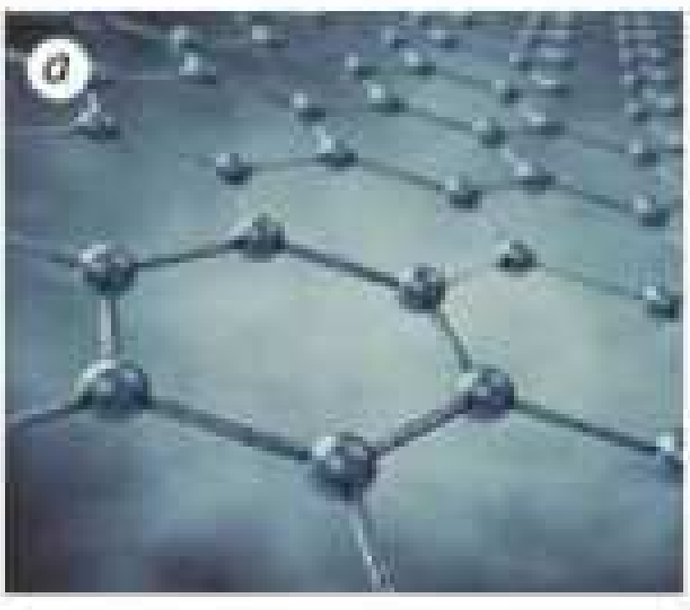


Рис. 18.6. Рух і розташування частинок газу (збільшено в мільйон разів)

6. Що таке наноматеріали?

Згідно з тлумачним словником, матеріали — це предмети, речовини, що йдуть на виготовлення різноманітних виробів; сировина. Префікс *нано-* (з грецької «гном, карлик») використовується для запису частинних одиниць СІ й означає «одна мільярдна». Відповідно об'єкти, хоча б один із лінійних розмірів яких не перебільшує 100 нанометрів, називають *нанооб'єктами* (рис. 18.7). Отже, **наноматеріали** — *це матеріали, які штучно створені з використанням нанооб'єктів і призначені для виготовлення різноманітних виробів.*



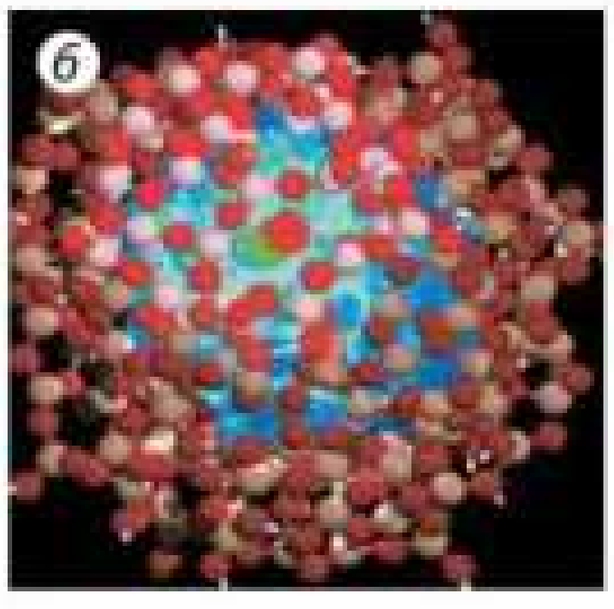


Рис. 18.7. Деякі нанооб'єкти: *а — графен* — шар атомів вуглецю завтовшки лише 0,18 нм і з горизонтальними розмірами близько 10 мкм; *б — наночастинка* — частинка, розмір якої в кожному напрямку не перевищує 100 нм

Видавництво «Ранок»

7. Які особливості нанооб'єктів забезпечують їхнє використання?

На відміну від звичайних об'єктів, які складаються з величезної кількості частинок (атомів, молекул, йонів), нанооб'єкти можуть складатися лише з кількох десятків частинок. Саме тому вони мають *малі розміри*. Це дозволяє розмістити на невеликій площі велику кількість нанооб'єктів, що є дуже важливим, наприклад, для наноелектроніки та запису інформації. Нанооб'єкти можуть проникати в будь-які ділянки тіла людини або частини машини, тому їх, зокрема, можна використовувати в медицині для доправлення ліків у певні частини організму (рис. 18.8, 18.9).

Окрім того, *нанооб'єкти мають величезну частку атомів, розміщених на поверхні*. Завдяки цьому в декілька разів прискорюється взаємодія нанооб'єкта та середовища, в яке він поміщений. Приміром, наночастинки діоксиду титану можуть розкладати воду на водень і кисень під дією звичайного сонячного світла, нанопористі речовини ефективно поглинають домішки й токсини, а взуття, вкрите гідрофобним нанопорошком, не «боїться» забруднення та намокання, бо відштовхує всі рідини.

Важливою особливістю нанооб'єктів є *відсутність дефектів*, тому, наприклад, нанотрубки (рис. 18.10) у десятки разів міцніші за сталь і приблизно в чотири рази легші за неї. Якби вдалося зробити такі трубки досить довгими й виготовити з них кабель, то отриманий кабель проводив би електричний струм у сотні разів краще за мідний.

Зрозуміло, що ми окреслили лише невелику частину перспектив застосування наноматеріалів. Зараз нанонаука дуже швидко розвивається. На думку багатьох експертів, XXI ст. — це століття нанотехнологій.

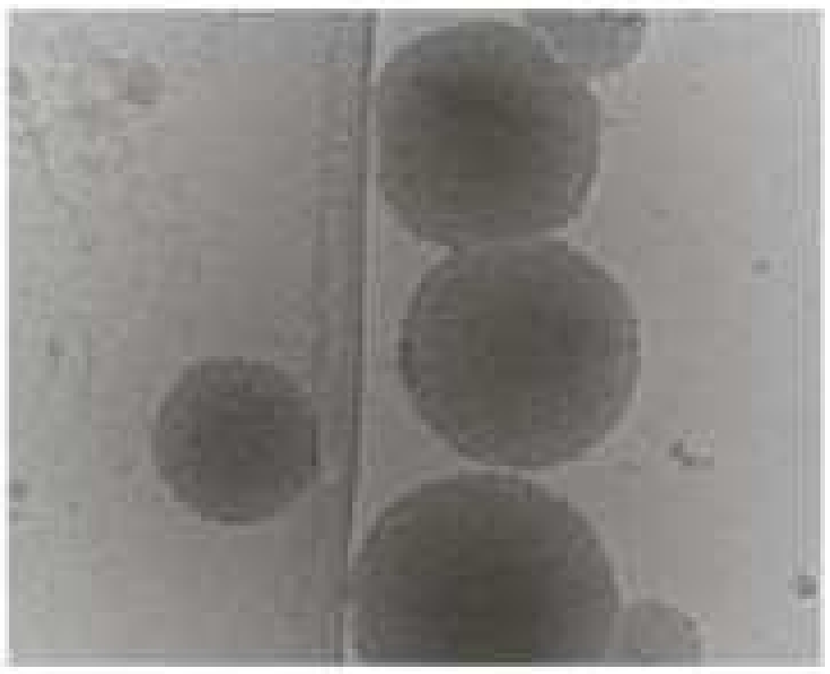


Рис. 18.8. Наночастинки мезопористого кремнезему, які містять протипухлинний препарат (зображення отримано за допомогою електронного мікроскопа)

Рис. 18.9. Тримірне зображення того, як наночастинки, які містять протипухлинний препарат, оточують ракову клітину та вбивають пухлину

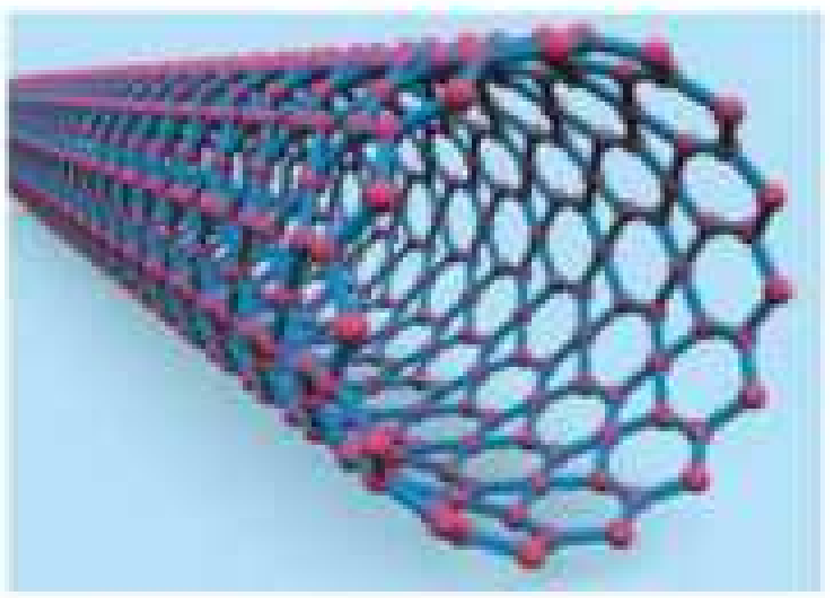


Рис. 18.10. Нанотрубка — протяжна циліндрична структура діаметром від одного до кількох десятків нанометрів і завдовжки до кількох мікрометрів

Видавництво «Ранок»

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Практично будь-яка речовина може існувати в трьох агрегатних станах

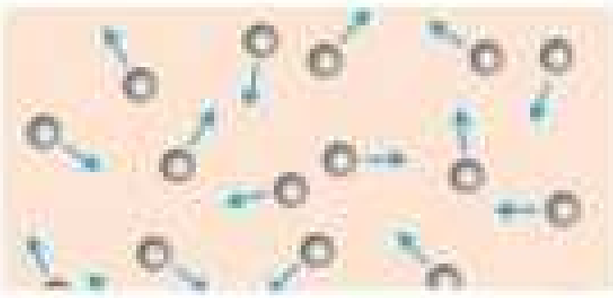
ТВЕРДИЙ

Частинки коливаються навколо положень рівноваги.

РІДКИЙ

Частинки коливаються навколо положень рівноваги, час від часу перестрибуючи.

ГАЗОПОДІБНИЙ

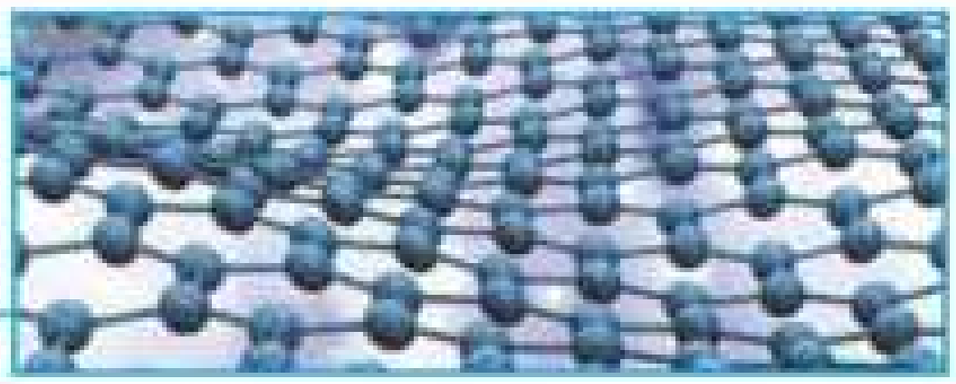


Частинки рухаються в довільних напрямках від зіткнення до зіткнення з іншими частинками.

Змінюються взаємне розташування частинок речовини, характер їхнього руху та взаємодії

Четвертий агрегатний стан — ПЛАЗМА — *часткова або повністю йонізований газ*

Наноматеріали — матеріали, які штучно створені з використанням нанооб'єктів (менших від 100 нм)



КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Чи можна стверджувати, що ртуть — завжди рідина, а повітря — завжди газ? 2. Чи відрізняються одна від одної молекули водяної пари та льоду? 3. У якому стані перебуває речовина в надрах зір? 4. Чому тверді тіла зберігають об'єм і форму? 5. У чому подібність і в чому відмінність кристалічних та аморфних речовин? 6. Як рухаються і як розташовані молекули в рідинах? 7. Яку рідину називають неньютонівською? Які властивості вона має? 8. Чому гази займають весь наданий об'єм? 9. Наведіть приклади нанооб'єктів. 10. Які властивості наноматеріалів забезпечують їхнє широке використання?

ВПРАВА № 18

1. Виберіть правильне закінчення речення.
Якщо перелити рідину з однієї посудини в іншу, рідина...
а) змінить і форму, і об'єм;
б) збереже і форму, і об'єм;
в) збереже об'єм, але змінить форму;
г) збереже форму, але змінить об'єм.

2. Вода випарувалась і перетворилася на пару. Чи змінилися при цьому молекули води? Як змінилися розташування молекул і характер їхнього руху?

3. Чи може газ заповнити банку наполовину?

4. Чи можна стверджувати, що в закритій посудині, яка частково заповнена водою, над поверхнею рідини води немає?

5. Скориставшись додатковими джерелами інформації, дізнайтеся про нанороботів та галузі їх майбутнього застосування. Підготуйте презентацію або коротке повідомлення.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

«Тверда рідина». Аморфні тіла називають дуже в'язкими рідинами. Використовуючи воскову свічку та маркер, доведіть, що віск, нехай дуже повільно, але тече. Для цього покладіть маркер на підвіконня, зверху на маркер (перпендикулярно до нього) покладіть свічку й залиште так на кілька днів. Поясніть результати.

Ключові терміни

Агрегатний стан • Кристалічні речовини • Аморфні речовини • Кристалічна ґратка • Плазма • Неньютонівська рідина • Наноматеріали

ФІЗИКА І ТЕХНІКА В УКРАЇНІ

Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України (Київ), історія якого розпочинається з лабораторії металофізики АН УРСР, заснованої в 1945 р. академіком Георгієм В'ячеславовичем Курдюмовим, сьогодні є визнаним у світі науковим центром фундаментальних досліджень у галузі фізики металів. Основними завданнями інституту є розроблення фізичних основ і пошук принципово нових способів створення металічних матеріалів з високим рівнем фізичних та механічних властивостей. Створені в інституті матеріали з унікальними властивостями використовують у різних галузях як в Україні, так і за кордоном.

Видавництво «Ранок»

§ 19. ПЛАВЛЕННЯ ТА КРИСТАЛІЗАЦІЯ

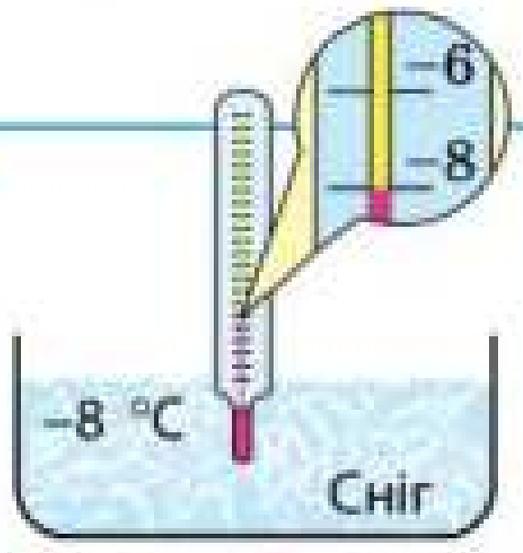
ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Напевно всі ви бачили бурульки. Вони можуть бути де завгодно: звисати з дахів будинків, гілок дерев, утворюватися на скелях тощо. Поміркуйте, звідки вони беруться. Чому на дахах будинків ми частіше бачимо їх навесні, а на гілках дерев — у крижаний дощ? Коли утворюються бурульки — у відлигу чи, навпаки, в мороз?

1. Чи змінюється температура речовини під час плавлення?

Якщо трохи снігу занести до теплої кімнати, то за деякий час сніг розтане, або, як кажуть фізики, *розплавиться*.

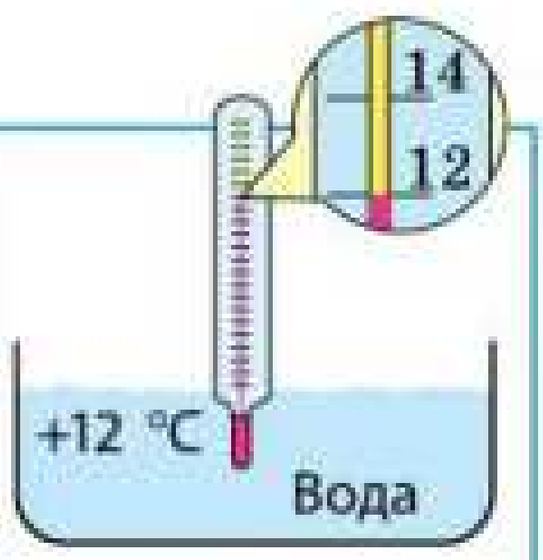
Плавлення — це процес переходу речовини з твердого стану в рідкий.

Простежимо зміну температури снігу в процесі його танення.



Температура снігу швидко збільшується, але поки вона нижча від 0 °C, сніг не тане — речовина перебуває у твердому стані

Коли стовпчик термометра досягає 0 °C, температура снігу перестає збільшуватися, а в посудині з'являється вода — сніг починає плавитися. Під час плавлення температура суміші є незмінною — 0 °C



І тільки після того як сніг повністю розплавиться, температура рідини знову починає зростати

Досліди показують: *практично всі кристалічні речовини починають плавитися після досягнення ними певної (власної для кожної речовини) температури; у процесі плавлення температура речовини не змінюється.*

Температура плавлення — це температура, за якої тверда кристалічна речовина плавиться, тобто переходить у рідкий стан.

Отже, тверда речовина в разі досягнення певної температури перетворюється на рідину. Так само за певних умов тверднуть (кристалізуються) рідини (рис. 19.1).

Рис. 19.1. У морозильній камері вода кристалізується, перетворюючись на лід

Кристалізація — це процес переходу речовини з рідкого стану у твердий кристалічний.

Вимірюючи температуру речовин під час їх охолодження та подальшої кристалізації, доходимо таких висновків:

1) *кристалізація починається тільки після охолодження рідини до певної для цієї рідини температури;*

2) *під час кристалізації температура речовини не змінюється;*

3) *температура кристалізації речовини дорівнює температурі її плавлення.*

Температура плавлення (кристалізації) — це характеристика речовини, тому її визначають експериментально й заносять у таблиці (див. табл. 2 Додатка 1).

Розгляньте табл. 2 Додатка 1 і дайте відповіді на запитання.

1. Чому шматок свинцю можна розплавити в сталевій ложці, а шматок сталі у свинцевій ложці — не можна?

2. Чому в цій таблиці немає аморфних речовин?

ДОСЛІДЖЕННЯ

Що знадобиться: посудина з тонким плоским дном, заповнена снігом; кухонна сіль; ложка; дерев'яна лінійка; вода.

Змочіть лінійку. Поставте на лінійку посудину зі снігом. Додайте до снігу 2–3 ложки солі й добре перемішайте. Сніг почне швидко танути, а стінки посудини вкриватимуться інеєм. Тепер спробуйте плавно підняти посудину — лінійка підійметься разом із нею, оскільки вода під посудиною замерзне. Поясніть спостережувані явища. (*Підказка:* температура кристалізації (плавлення) водного розчину солі нижча від 0 °С.)

Видавництво «Ранок»

2. Будуємо графік плавлення та кристалізації

Для детальнішого вивчення процесів плавлення та кристалізації речовин розглянемо графік залежності температури кристалічної речовини (льоду) від часу її нагрівання та охолодження (рис. 19.2).

Ділянка *AB*. На момент початку спостереження (точка *A*) температура льоду становила −40 °С. Унаслідок роботи нагрівника температура льоду збільшується, тобто збільшується кінетична енергія коливального руху молекул у вузлах кристалічної ґратки льоду.

Ділянка *BC*. Після досягнення температури 0 °С лід починає плавитися, а його температура не змінюється незважаючи на те, що нагрівник продовжує працювати. Уся енергія, що надходить від нагрівника, йде на руйнування кристалічної ґратки льоду. У цей інтервал часу внутрішня енергія льоду продовжує збільшуватися.

Ділянка *CD*. Після того як весь лід перетворився на воду (точка *C*), температура води зростає, тобто зростає кінетична енергія молекул.

Ділянка *DE*. Воду помістили в холодильник (точка *D*), і її температура почала знижуватися. Зниження температури свідчить про те, що кінетична енергія, а отже, швидкість руху молекул зменшуються.

Ділянка *EF*. Коли досягнуто температури кристалізації 0 °С (точка *E*), швидкість руху молекул зменшується настільки, що молекули вже не перестрибують з місця на місце і поступово займають фіксовані положення. Вода переходить у стан із меншою внутрішньою енергією — повністю перетворюється на лід (точка *F*).

Ділянка *FK*. Під час подальшої роботи холодильника лід холоне, а кінетична енергія коливального руху молекул зменшується.

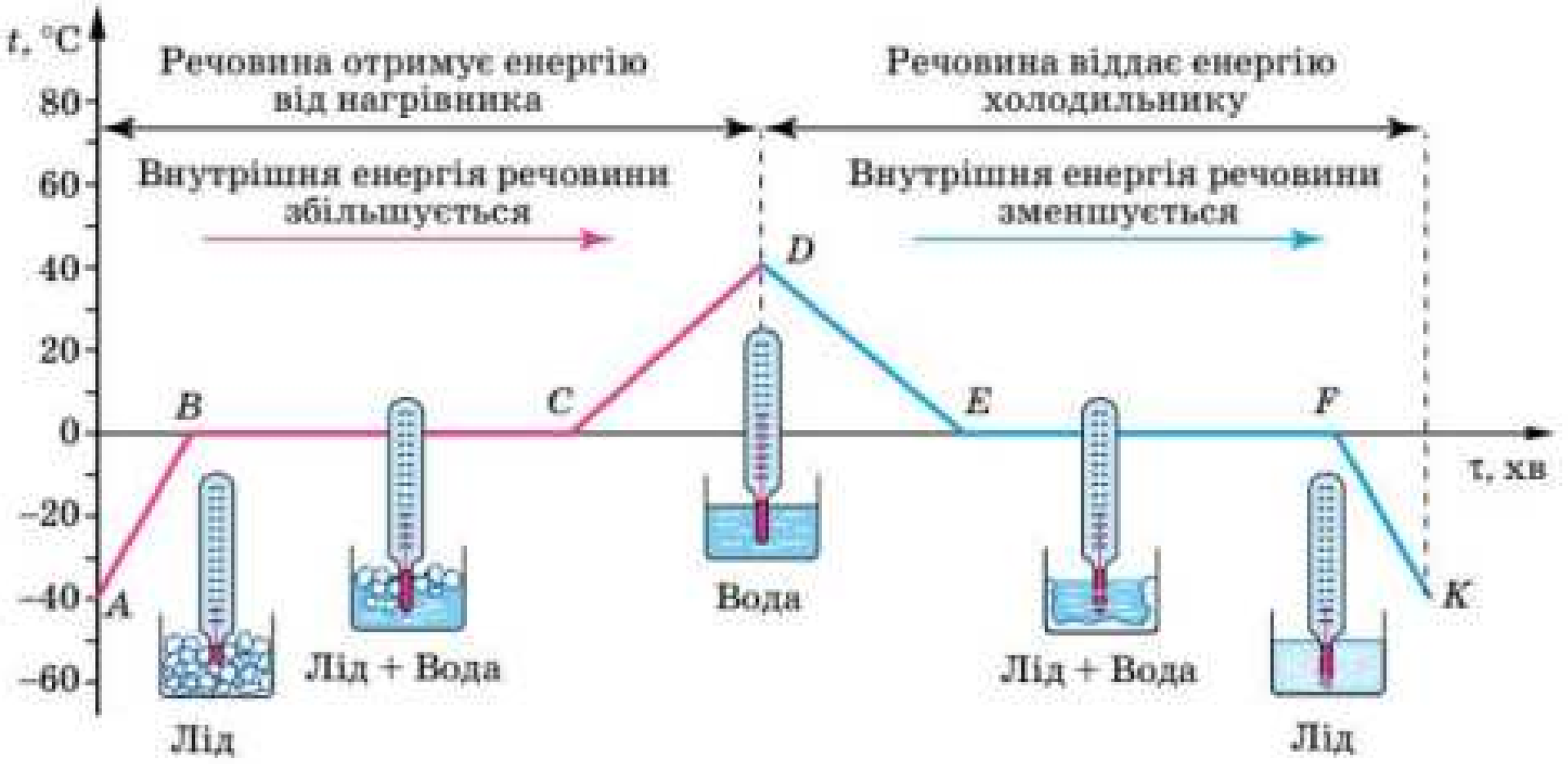


Рис. 19.2. Графік плавлення льоду та кристалізації води. Графік матиме таку симетричність, якщо кількість теплоти, яку щохвилини отримує лід, а потім вода під час роботи нагрівника, дорівнюватиме кількості теплоти, яку щохвилини віддає та сама речовина під час роботи холодильника

Видавництво «Ранок»

А ЯК НАСПРАВДІ?

— Якщо я правильно зрозумів, то вода за температури 0 °С має перетворюватися на лід? — звернувся Тарас до своєї подруги Оленки. — Сьогодні вночі було саме нуль, я дивився зранку на термометр, проте на воді у відерці, що було на вулиці, не утворилося навіть тонесенького шару льоду. Що не так?

— Не розумію, вода мала б замерзнути, — здивувалась Оленка, — може, твій термометр неправильний?

— А я розумію! — приєднався до розмови Данило. — Вода не замерзла, оскільки вона не могла віддавати енергію після того, як охолонула до температури повітря навколо.

Хто, на вашу думку, має рацію?

3. Чому не тане сніг, коли на вулиці 0 °С?

Якщо помістити сніг, взятий за від'ємної температури, у холодильну камеру, температура в якій дорівнює 0 °С, з'ясується ось що.

Як і в досліді з таненням снігу в теплій кімнаті (див. п. 1), температура снігу буде спочатку збільшуватися. Адже температура в камері вища за температуру снігу, тому тепліше повітря в ній віддає певну кількість теплоти холоднішому снігу. Збільшення температури снігу триватиме доти, доки його температура не стане 0 °С. І саме тут починається найцікавіше. Температура снігу сягнула температури плавлення, а сніг не тане. Чому?

Згадайте: дослід у кімнаті проводився за температури вищої, ніж 0 °С. Отже, протягом усього часу спостереження відбувався теплообмін між повітрям у кімнаті та снігом. При цьому весь час сніг *отримував* енергію, зокрема й тоді, коли його температура залишалася 0 °С. І сніг при цьому танув. А от у досліді з холодильною камерою температура снігу й температура повітря в камері є однаковими, тому теплообмін не відбувається. Сніг *не отримує енергію, отже, й не тане.*

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...

Ключовий елемент сонячних панелей — надтонкі кремнієві пластини — нарізаються, наче скибки ковбаси, із циліндра монокристала кремнію. Довжина такого монокристала сягає 2 м, діаметр — 300 мм або більше, маса — декілька сотень кілограмів. А як отримати такого велетня?

Кристали вирощують із розплавленого кремнію, який «кипить» у тиглі — посудині з вогнетривкого матеріалу, а все разом розміщено в спеціальній камері. Це виглядає так, ніби з каструлі з киплячим молоком виймають неушкоджене морозиво-ескімо. Тільки температура процесу перевищує 1000 °С.

Видавництво «Ранок»

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

ПЛАВЛЕННЯ

процес переходу речовини з твердого стану в рідкий

Внутрішня енергія збільшується

Внутрішня енергія зменшується

процес переходу речовини з рідкого стану в твердий кристалічний

КРИСТАЛІЗАЦІЯ

- ✓ Під час плавлення та кристалізації температура речовини не змінюється.
- ✓ Температура плавлення речовини дорівнює температурі її кристалізації.
- ✓ Під час плавлення речовина має отримувати енергію, під час кристалізації — віддавати.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Який процес називають плавленням? кристалізацією? 2. Як змінюються температура і внутрішня енергія речовини в процесі плавлення? кристалізації? 3. Опишіть процеси, які відбуваються під час плавлення льоду та кристалізації води.

ВПРАВА № 19

1. Чому нитку розжарення електричної лампи виготовляють із вольфраму?

2. На рис. 1 наведено графік плавлення та кристалізації деякої речовини. Якому стану речовини відповідають точки *A*, *B*, *C* і *D* графіка?

3. На рис. 2 подано графіки плавлення деяких речовин. Яка речовина має вищу температуру плавлення? Яка речовина на початку досліду мала вищу температуру? Про які речовини йдеться?

4. У відрі з водою плавають шматки льоду. Чи танутиме лід, чи вода замерзатиме?

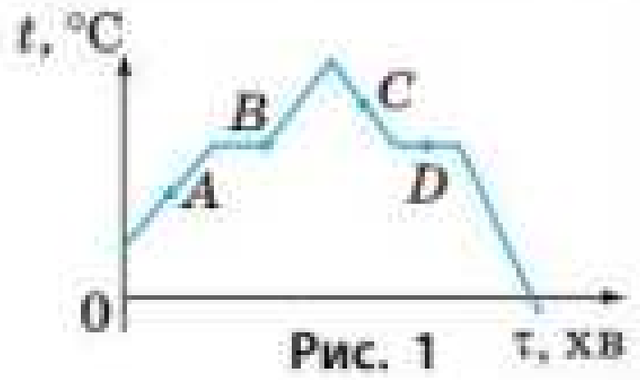


Рис. 1

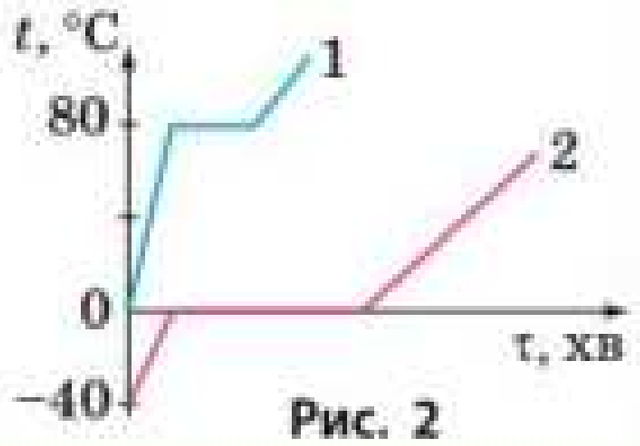
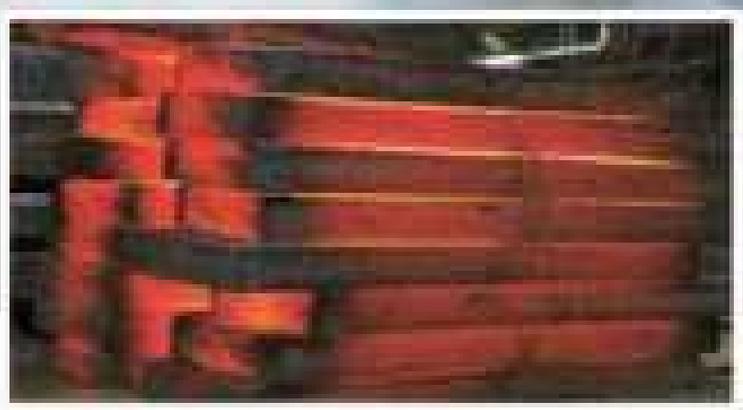


Рис. 2

Ключові терміни

Плавлення · Кристалізація · Температура плавлення та кристалізації

§ 20. ПИТОМА ТЕПЛОТА ПЛАВЛЕННЯ



ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. На фото праворуч зображено сталь і лід, які перебувають за температури, близької до температури плавлення. Щоб розплавити ці речовини, їм необхідно передати певну кількість теплоти. Поміркуйте, від чого залежатиме ця кількість теплоти?

1. Що характеризує питома теплота плавлення?

Вивчення процесів плавлення та кристалізації показало, що *кількість теплоти, яку необхідно витратити на плавлення певної маси речовини, дорівнює кількості теплоти, що виділяється під час кристалізації цієї речовини* (рис. 20.1).

Наслідком якого фундаментального закону природи є це твердження?

А чи однакову кількість теплоти необхідно витратити на плавлення різних речовин однакової маси? Логічно припустити, що різну: сили взаємодії між частинками різних речовин є різними, а отже, на *руйнування різних кристалічних ґраток* напевне *потрібна різна кількість енергії*. І це справді так.

Фізичну величину, яка показує, скільки теплоти поглинає 1 кг твердої кристалічної речовини під час перетворення на рідину, називають *питомою теплотою плавлення*.

Рис. 20.1. Під час плавлення речовина поглинає таку саму кількість теплоти, яку виділяє під час кристалізації

Питома теплота плавлення — фізична величина, що характеризує кристалічну речовину й дорівнює кількості теплоти, яку необхідно передати 1 кг цієї речовини, взятій у твердому стані, щоб за температури плавлення повністю перетворити її на рідину

Питому теплоту плавлення позначають символом λ («лямбда»), визначають дослідним шляхом і фіксують у таблицях (див. табл. 3 Додатка 1).

Із формули для визначення питомої теплоти плавлення дістанемо її *одиницю в СІ* — **джоуль на кілограм**:

$$\lambda = \frac{Q}{m} \Rightarrow [\lambda] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$

Питома теплота плавлення показує, на скільки за температури плавлення внутрішня енергія 1 кг *речовини в рідкому стані більша, ніж внутрішня енергія* 1 кг *цієї речовини у твердому стані.* У цьому полягає фізичний зміст питомої теплоти плавлення.

Питома теплота плавлення

$$\lambda = \frac{Q}{m}$$

λ — питома теплота плавлення, Дж/кг
Q — кількість теплоти, яка необхідна для плавлення або виділяється під час кристалізації, Дж
m — маса речовини, кг

Що означає твердження: «Питома теплота плавлення сталі становить 84 $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$»?

Наприклад, питома теплота плавлення льоду дорівнює 332 кілоджоулям на кілограм. Це означає: щоб розплавити 1 кг льоду, що перебуває за температури плавлення (0 °С), необхідно передати йому 332 кілоджоулі теплоти. Та сама кількість теплоти (332 кДж) виділиться й під час кристалізації 1 кг води. Тобто за температури 0 °С внутрішня енергія 1 кг води більша за внутрішню енергію 1 кг льоду на 332 кДж.

Щоб обчислити кількість теплоти, необхідну для плавлення кристалічної речовини, узятої за температури плавлення, потрібно питому теплоту плавлення цієї речовини помножити на її масу:

$$Q = \lambda m,$$

де Q — кількість теплоти, яку поглинає тверда кристалічна речовина; λ — питома теплота плавлення; m — маса речовини. (Дійсно, за означенням питомої теплоти плавлення: $\lambda = \frac{Q}{m}$, звідси $Q = \lambda m$.)

Зрозуміло, що *кількість теплоти, яка виділяється під час кристалізації, розраховують за тією самою формулою.*

А ЯК НАСПРАВДІ?

— А чи знаєте ви, чому, коли починає сніжити, стає тепліше? — звернувся Тарас до своїх однокласниць.

— Зрозуміло! — відповіла Тетяна. — Коли падає сніг, це означає, що прийшов циклон, який затягує в себе тепле повітря.

— Причина не лише в теплому повітрі, — приєдналася Софія, — а ще в тому, що циклон приносить хмари, які, наче хутро, укутують землю.

— А я вважаю, що Тарас пожартував! — посміхнулася Вероніка. — Коли йде сніг, стає, навпаки, холодніше, адже відбувається кристалізація водяної пари. А під час кристалізації поглинається величезна кількість теплоти.

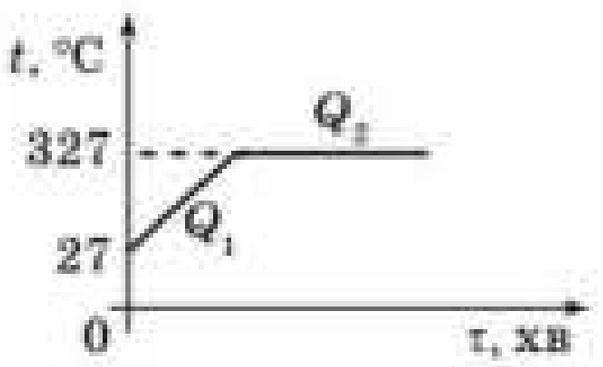
Хто з дівчат, на вашу думку, помиляється?

2. Учимося розв'язувати задачі

■ Задача. Яку кількість теплоти потрібно передати свинцю масою 5 кг, взятому за температури 27 °С, щоб його розплавити? ■

Аналіз фізичної проблеми. Щоб розплавити свинець, його спочатку треба нагріти до температури плавлення. Побудуємо схематичний графік процесів.

Загальна кількість теплоти Q дорівнюватиме сумі кількості теплоти Q_1, необхідної для нагрівання свинцю до температури плавлення, та кількості теплоти Q_2, необхідної для плавлення. Температуру t_2 плавлення, питому теплоємність c і питому теплоту плавлення λ свинцю знайдемо в табл. 1–3 Додатка 1.



Дано:

$m = 5$ кг

$t_1 = 27$ °С

$t_2 = 327$ °С

$c = 140 \dfrac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°С}}$

$\lambda = 25 \dfrac{\text{кДж}}{\text{кг}} = 25\,000 \dfrac{\text{Дж}}{\text{кг}}$

Знайти:

Q — ?

Пошук математичної моделі, розв'язання

$Q = Q_1 + Q_2$; (1)

$Q_1 = cm(t_2 - t_1)$ — нагрівання; (2)

$Q_2 = \lambda m$ — плавлення. (3)

Підставивши формули (2) і (3) у формулу (1), остаточно отримаємо:

$$Q = cm(t_2 - t_1) + \lambda m.$$

Перевіримо одиницю, знайдемо значення шуканої величини:

$$[Q] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°С}} \cdot \text{кг} \cdot \text{°С} + \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot \text{кг} = \text{Дж} + \text{Дж} = \text{Дж};$$

$$Q = 140 \cdot 5 \cdot (327 - 27) + 25\,000 \cdot 5 = 335\,000 \text{ (Дж)}.$$

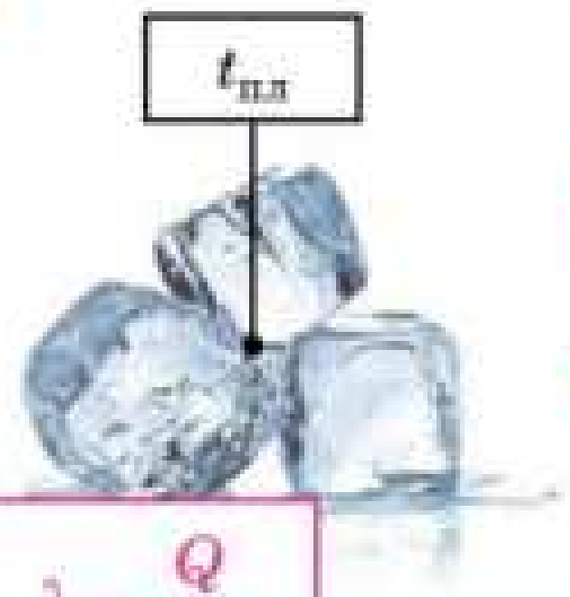
Відповідь: $Q = 335$ кДж.

Видавництво «Ранок»

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...

Одночасно на Землі вивергаються від 20 до 40 вулканів. З огляду на те що вулкан щосекунди викидає понад тисячу тонн лави за температури від 1100 до 1200 °С, а питома теплота плавлення лави 350 кДж/кг, уявіть, яка кількість енергії виділяється! На жаль, використовувати енергію вулкана під час його виверження ще не навчилися. Проте навчилися використовувати енергію лави, яка перебуває досить близько до поверхні. Уже понад 100 років у світі працюють *геотермальні електростанції*. Зараз використовують лише 1 % геотермальної енергії. Але все попереду, адже запаси цієї енергії в десятки мільярдів разів перевищують енергію, яку щорічно споживають на планеті.

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ



$Q=\lambda m$

ПЛАВЛЕННЯ

КРИСТАЛІЗАЦІЯ

$Q=\lambda m$

$$\lambda = \frac{Q}{m}$$

Питома теплота плавлення — фізична величина, що характеризує кристалічну речовину й дорівнює кількості теплоти, яку необхідно передати 1 кг цієї речовини, взятої у твердому стані, щоб за температури плавлення повністю перетворити її на рідину.

$$[\lambda] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

Питома теплота плавлення:

- показує, на скільки за температури плавлення внутрішня енергія 1 кг речовини в рідкому стані більша за внутрішню енергію 1 кг цієї речовини у твердому стані;
- є різною у різних речовин.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Від чого залежить кількість теплоти, яка виділяється під час кристалізації речовини? 2. Що називають питомою теплотою плавлення речовини? 3. Яким є фізичний зміст питомої теплоти плавлення? 4. Як обчислити кількість теплоти, яка необхідна для плавлення речовини або виділяється під час її кристалізації?

ВПРАВА № 20

1. Яка кількість теплоти необхідна, щоб розплавити 500 г міді, узятої за температури плавлення?

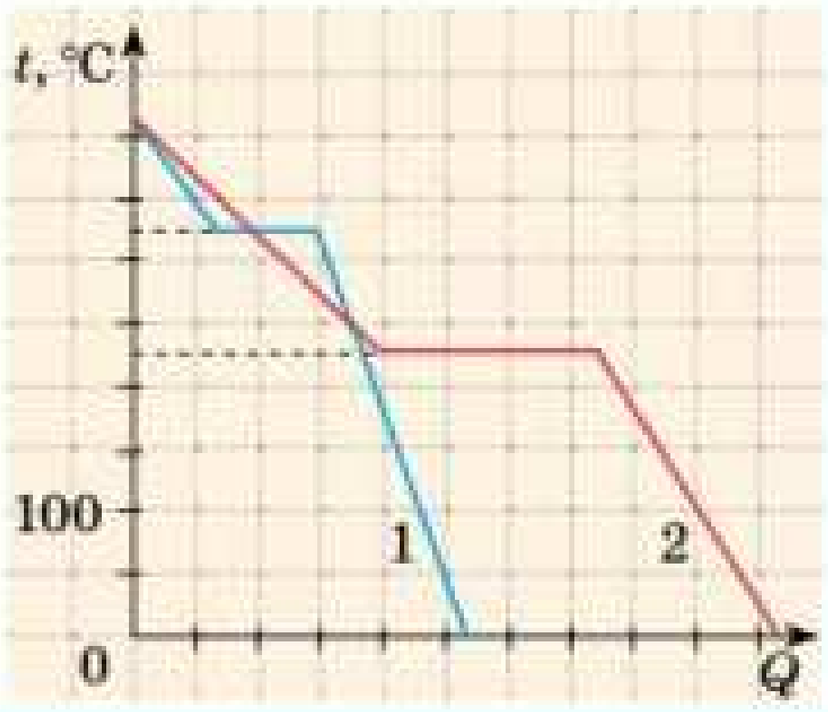
2. Яке тіло має більшу внутрішню енергію: алюмінієвий брусок масою 1 кг, узятий за температури плавлення, чи 1 кг розплавленого алюмінію за тієї самої температури? На скільки більшу?

3. Яка кількість теплоти виділиться під час кристалізації 100 кг сталі та подальшого її охолодження до 0 °С? Початкова температура сталі дорівнює 1400 °С.

4. Яка кількість теплоти потрібна для перетворення 25 г льоду, узятого за температури −15 °С, на воду за температури 10 °С?

5. У воду поклали лід, маса якого дорівнює масі води. Після того як лід розтанув, температура води зменшилася до 0 °С. Якою була початкова температура води, якщо початкова температура льоду 0 °С?

6. На рисунку зображено графіки залежності температури від кількості відданої теплоти в процесі кристалізації двох речовин однакової маси. Яка речовина має вищу температуру плавлення? більшу питому теплоту плавлення? більшу питому теплоємність у рідкому стані?



Ключові терміни

Питома теплота плавлення · Кількість теплоти, що необхідна для плавлення речовини або виділяється під час її кристалізації

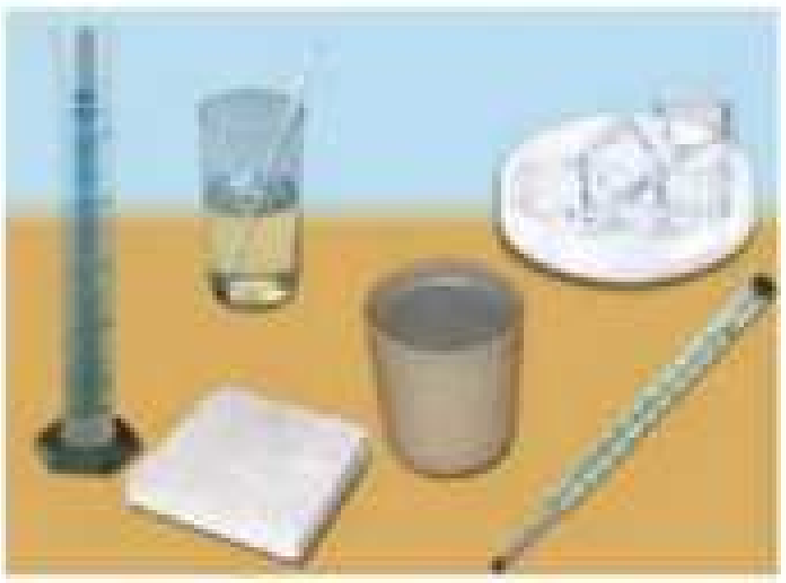
ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

mk.com.ua/110493

Тема. Визначення питомої теплоти плавлення льоду.

Мета: дізнатися про метод вимірювання питомої теплоти плавлення льоду; визначити питому теплоту плавлення льоду, знаючи питому теплоємність води.

Обладнання: мірний циліндр; термометр; калориметр; посудина зі шматочками льоду, який почав танути; склянка з теплою водою; паперові серветки; мішалка.



Видавництво «Ранок»

Теоретичні відомості

Для визначення питомої теплоти плавлення льоду (а також інших речовин, що мають низьку температуру плавлення) зручно застосовувати такий метод.

У калориметр, який містить відому масу теплої води $m_{\text{води}}$ за температури $t_{0\ \text{води}}$, занурюють лід за температури плавлення $\left(t_{\text{пл}} = 0\ ^\circ\text{C}\right)$.

Відбувається теплообмін, у якому беруть участь: тепла вода, лід, калориметр, термометр.

Тепла вода віддає тепло та охолоджується до температури t: $Q_{\text{води}} = c_{\text{води}} m_{\text{води}} \left(t_{0\ \text{води}} - t\right)$. *Лід одержує тепло* — він тане, а отримана внаслідок танення вода нагрівається також до температури t: $Q_{\text{льоду}} = \lambda_{\text{льоду}} m_{\text{льоду}} + c_{\text{води}} m_{\text{льоду}} \left(t - t_{\text{пл}}\right)$.

Калориметр і термометр порівняно з водою віддають незначну кількість теплоти, тому можемо вважати, що *кількість теплоти, віддана теплою водою, дорівнює кількості теплоти, одержаної льодом*:

$$Q_{\text{води}} = Q_{\text{льоду}},$$

$$c_{\text{води}} m_{\text{води}} \left(t_{0\ \text{води}} - t\right) = \lambda_{\text{льоду}} m_{\text{льоду}} + c_{\text{води}} m_{\text{льоду}} \left(t - t_{\text{пл}}\right).$$

Вимірявши температуру t і масу m води після плавлення льоду й обчисливши масу льоду, визначають питому теплоту плавлення льоду:

$$\lambda_{\text{льоду}} = \frac{c_{\text{води}} m_{\text{води}} \left(t_{0\ \text{води}} - t\right) - c_{\text{води}} m_{\text{льоду}} \left(t - t_{\text{пл}}\right)}{m_{\text{льоду}}}. \qquad (*)$$

Вказівки до роботи

Підготовка до експерименту

1. Уважно прочитайте теоретичні відомості.
2. Згадайте, що характеризує питома теплота плавлення, який її фізичний зміст.
3. Визначте ціну поділки шкал вимірювальних приладів.

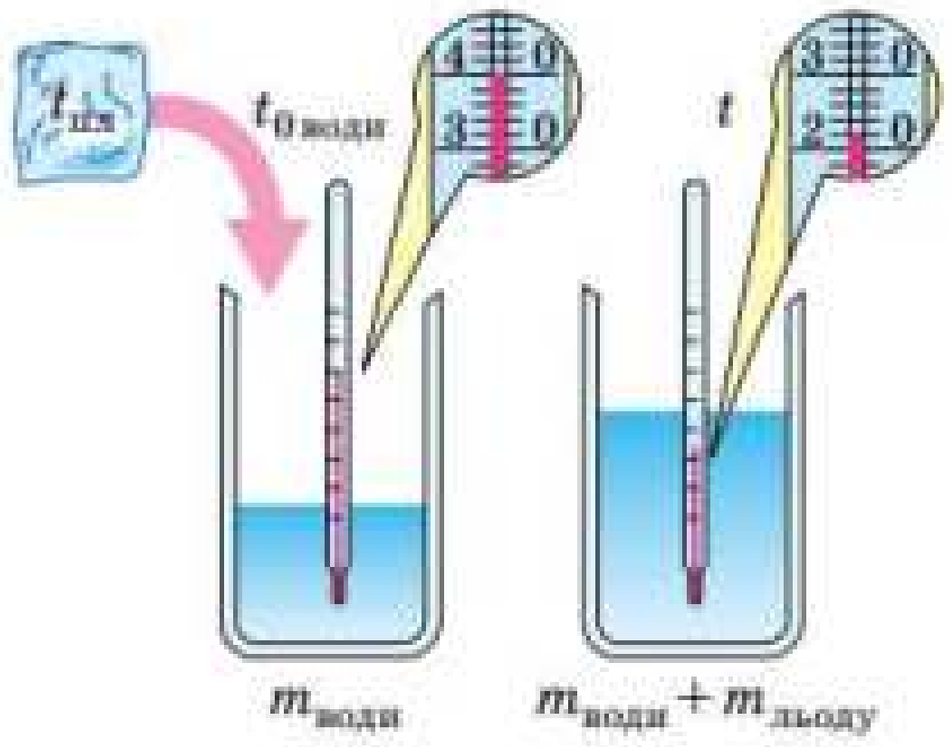
Експеримент

Дотримуйтесь інструкції з безпеки.

Результати вимірювань відразу заносьте до таблиці.

1. Налийте в мірний циліндр 100–150 мл теплої води. Виміряйте об'єм води ($V_{\text{води}}$).
2. Перелийте воду з мірного циліндра в калориметр. Виміряйте початкову температуру води в калориметрі ($t_{0\ \text{води}}$).
3. Візьміть невелику кількість льоду, осушіть його серветкою та покладіть у калориметр (див. рисунок).

4. Обережно перемішуючи воду мішалкою, стежте за зниженням температури. Щойно весь лід розтане, запишіть показ термометра — кінцеву температуру води (t).
5. Вийміть термометр із води, осушіть його паперовою серветкою та покладіть у футляр.
6. Перелийте воду з калориметра в мірний циліндр і вимірюйте загальний об'єм (V) води.



Опрацювання результатів експерименту

Результати обчислень відразу заносьте до таблиці.

1. Визначте початкову масу води в калориметрі ($m_{води}$), подайте її в кілограмах.
2. Визначте кінцеву масу m води в калориметрі, подайте її кілограмах.
3. Визначте масу талої води в калориметрі, а отже, й масу льоду: $m_{льоду} = m - m_{води}$.
4. Скориставшись формулою (*), визначте питому теплоту плавлення льоду.

Густина води 1 г/см³, тобто *маса води об'ємом 1 см³ дорівнює 1 г.*

Об'єм, см³		Температура, °С			Маса, кг			Питома теплоємність води $c_{води}$, $\frac{Дж}{кг \cdot °С}$	Питома теплота плавлення льоду $\lambda_{льоду}$, $\frac{Дж}{кг}$
$V_{води}$	V	$t_{0\ води}$	$t_{пл}$	t	$m_{води}$	m	$m_{льоду}$		

Аналіз результатів експерименту

Проаналізуйте експеримент і його результати. Сформулюйте висновок, у якому: а) зазначте, яку фізичну величину ви визначали; б) який результат отримали; в) порівняйте одержане значення питомої теплоти плавлення льоду з табличним, поясніть причини розбіжності.

Творче завдання

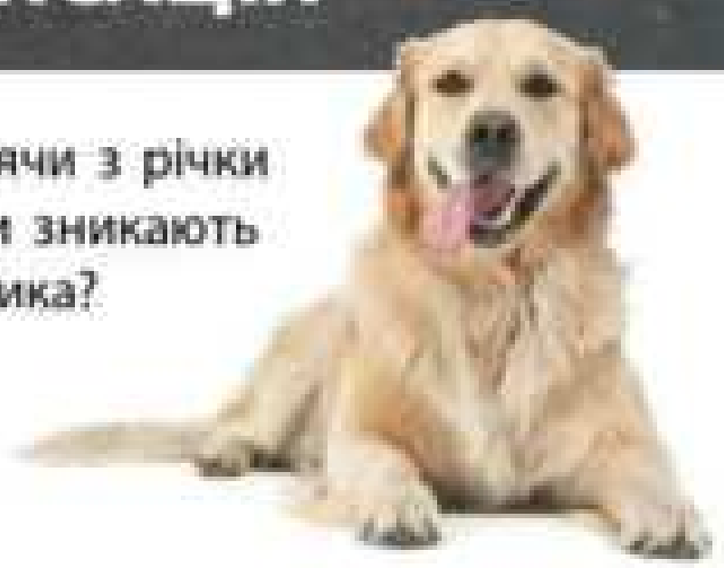
Дайте відповіді на запитання.

1. У якому випадку точність експерименту буде більшою — за швидкого чи повільного виконання всіх дій? Обґрунтуйте свою відповідь.
2. Доведіть, що якщо масу води та льоду подавати в грамах, то результат вимірювання питомої теплоти плавлення льоду не зміниться.

rnk.com.ua/
110494

§ 21. ВИПАРОВУВАННЯ ТА КОНДЕНСАЦІЯ

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Поміркуйте, чому, виходячи з річки спекотного літнього дня, ми відчуваємо прохолоду. Куди зникають калюжі після дощу? Для чого в спеку собака висовує язика? Чому, якщо хочемо остудити руки, ми на них дмемо, а якщо хочемо зігріти, то дихаємо?



1. Куди зникають калюжі?

Будь-яка речовина може переходити з одного агрегатного стану в інший. Тверде тіло може перетворитися на рідину, рідина може затвердnути чи перетворитися на газ.

Процес переходу речовини з рідкого стану в газоподібний називають **пароутворенням**.

Існує два способи пароутворення: *випаровування* та *кипіння*. Почнемо з процесу випаровування.

Якщо розлити воду, то за якийсь час калюжа зникне; вологі речі із часом стануть сухими; навіть масний слід, який залишився на асфальті від несправної машини, згодом стає майже непомітним. Усі ці явища можна пояснити випаровуванням рідини.

Що таке сублімація?

Ви, напевно, помічали, що під час сильних морозів кудись зникають замерзлі калюжі, іній з віток дерев тощо. Річ у тім, що процес пароутворення здійснюється і з поверхні твердих тіл. Цей процес називають *сублімацією*. Протилежний процес — перехід речовини з газоподібного стану в кристалічний — називають *десублімацією (кристалізацією)*.

Випаровування — це процес пароутворення з вільної поверхні рідини.

Видавництво «Ранок»

2. Чому і як випаровується рідина?

Розглянемо процес випаровування з погляду молекулярно-кінетичної теорії. Молекули рідини безперервно рухаються, і серед молекул поверхневого шару рідини завжди є такі, що «намагаються» вилетіти з рідини. Ті з них, що в певну мить рухаються повільно, не зможуть подолати притягання сусідніх молекул і залишаться в рідині. Якщо ж поблизу поверхні опиниться «швидка» молекула, то її кінетичної енергії буде достатньо, щоб виконати роботу проти сил міжмолекулярного притягання, і вона вилетить за межі рідини (рис. 21.1).

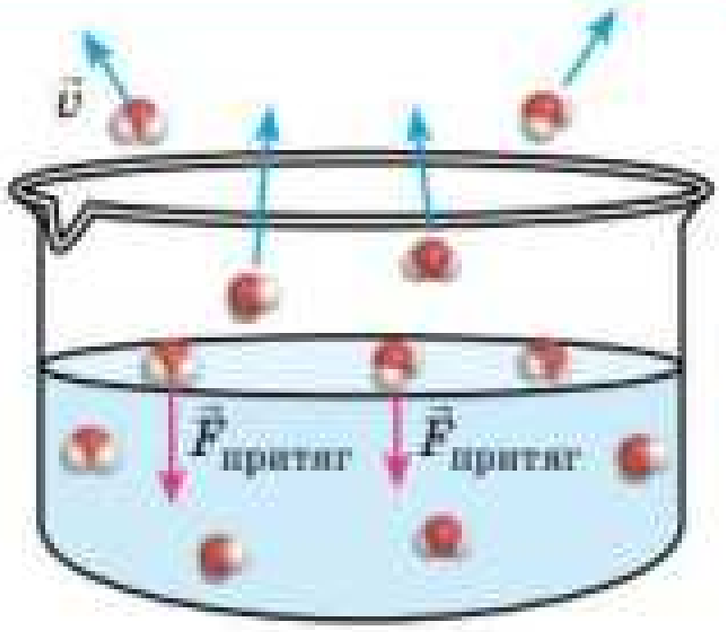


Рис. 21.1. Поверхню рідини залишають найшвидші молекули, які здатні подолати сили міжмолекулярного притягання

Знаючи механізм випаровування, зробимо кілька висновків.

1. *Випаровування рідин може відбуватися за будь-якої температури*, адже в рідині завжди є молекули, які рухаються досить швидко.
2. *Якщо рідина не отримує енергії ззовні, то внаслідок випаровування вона охолоджується*, адже рідину залишають найшвидші молекули, тому середня кінетична енергія решти молекул зменшується.
3. *Випаровування супроводжується поглинанням енергії*, адже під час випаровування виконується робота проти сил міжмолекулярного притягання та проти сил зовнішнього тиску (рис. 21.2).

Рис. 21.2. Після купання на тілі людини є крапельки рідини. Випаровуючись, рідина поглинає енергію, і людина відчуває прохолоду навіть спекотного дня

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...

Поглинання енергії під час випаровування людство застосовувало здавна. Понад 4500 років тому єгиптяни використовували глечики, в яких вода залишалася прохолодною навіть спекотного дня. Глечики виготовляли зі слабко обпаленої, а отже, пористої глини. Вода, просочуючись скрізь пори, швидко випаровувалась, тому температура всередині глечика знижувалась.

У Середньовіччі охолоджувальні глечики (алькараца) були поширені в народів Півдня.

Наприкінці XX ст. схожий винахід наново зробив мешканець Нігерії *Мохаммед Бах Абба*. Його «холодильник» сьогодні називають «pot in pot» («глечик у глечику»), він працює без електрики й дозволяє тривалий час зберігати продукти.

Видавництво «Ранок»

3. Від чого залежить швидкість випаровування?

Чим вища температура рідини, тим швидше рідина випаровується. Адже зі збільшенням температури рідини збільшується кількість «швидких» молекул, тому дедалі більша їх кількість має змогу подолати сили міжмолекулярного притягання й вилетіти за межі рідини.

Щоб висушити речі, ми інколи кладемо їх на гарячу батарею або прасуємо. Чому в таких випадках речі висихають порівняно швидко?

Звернемо увагу ще на один момент. Намагаючись швидко висушити одяг, ми не покладемо його на батарею жмутом, а розправимо, бо зім'ятий одяг висихає набагато повільніше. Чому? Тому що *швидкість випаровування збільшується зі збільшенням площі вільної поверхні рідини*: чим більша площа поверхні рідини, тим більше «швидких» молекул можуть опинитися на її поверхні.

Рис. 21.3. Демонстрація залежності швидкості випаровування від роду рідини

Намалюємо на склі або класній дошці три фігурки. Одну зобразимо серветкою, змоченою в спирті, другу — серветкою, змоченою у воді, третю — серветкою, змоченою в олії (рис. 21.3). «Спиртова» фігурка миттю випарується, «водяна» протримається трохи довше, натомість «олійна» радуватиме нас кілька днів. Річ у тім, що сили притягання між молекулами різних рідин є різними, тому *швидкість випаровування залежить від роду рідини*. Очевидно, що *повільніше випаровуються ті рідини, молекули яких сильніше взаємодіють одна з одною.*

Рис. 21.4. Швидкість випаровування залежить від руху повітря

Життєвий досвід показує, що *швидкість випаровування залежить також від руху повітря*. Насправді, щоб швидко висушити волосся, ми вмикаємо фен на потужніший режим (рис. 21.4); щоб остудити обпечену руку, дмемо на неї; білизна, вивішена на вітрі, сохне швидше, ніж у затишку. Таку залежність теж легко пояснити з погляду молекулярного руху. Біля поверхні рідини завжди існує «хмара» молекул,

Видавництво «Ранок»

які повилітали з неї (рис. 21.5). Ці молекули хаотично рухаються, зіштовхуються одна з одною та з молекулами інших газів, які складають повітря. У результаті такого руху молекула рідини може так близько підлетіти до її поверхні, що молекулу «захоплять» сили міжмолекулярної взаємодії та знову повернуть у рідину. А якщо є вітер, то він відносить молекули, що вилетіли з рідини, і не дає їм змоги повернутися.

Якби молекули, залишаючи рідину, зовсім не поверталися до неї, то швидкість випаровування була б величезною. Наприклад, за кімнатної температури повна склянка води випарувалася б за 4 хвилини, адже за цих умов з 1 см^2 води щосекунди вилітає 10^{21} молекул.

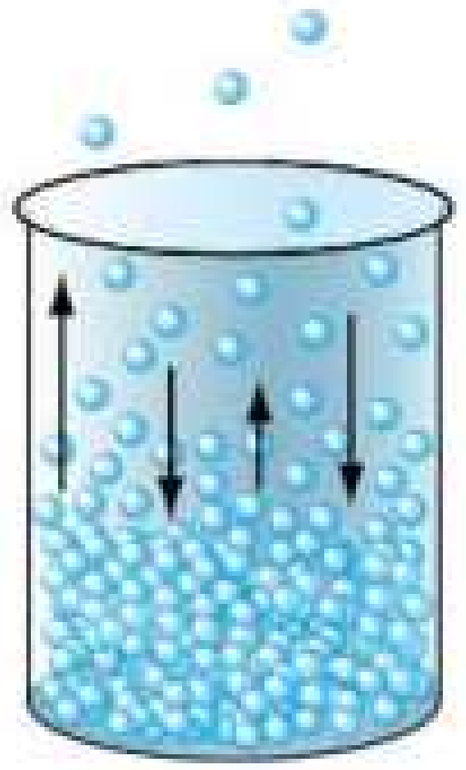


Рис. 21.5. Багато молекул, які залишили рідину, повертаються в неї внаслідок теплового руху

ДОСЛІДЖЕННЯ

Що знадобиться: склянка з водою; склянка з невеликою кількістю спирту; кілька ватяних дисків.

За допомогою ватяних дисків на одну руку нанесіть невелику кількість води, на іншу руку — спирт. Зіставте ваші відчуття. Яка рідина випариться швидше? Що слід зробити, щоб рука швидше висохла?

Торкніться губами спочатку до ділянки руки, яку було змочено, а потім до тієї, що залишалася сухою. Зіставте температури ділянок. Поясніть результати дослідження.

4. Знайомимося з процесом конденсації

Ви вже знаєте, що молекули весь час вилітають із рідини і що певна їх кількість повертається в цю рідину. Отже, поряд із процесом випаровування, в ході якого рідина перетворюється на пару, існує зворотний процес, коли речовина з газоподібного стану переходить у рідкий.

Процес переходу речовини з газоподібного стану в рідкий називають **конденсацією**.

Процеси конденсації (від латин. *condensatio* — згущення, ущільнення) води в природі ми спостерігаємо щодня. Так, літнього ранку на листі рослин ми бачимо прозорі краплинки *роси* (рис. 21.6, *а*). Річ у тім, що

Видавництво «Ранок»

водяна пара, яка вдень накопичується в повітрі внаслідок випаровування, уночі, охолоджуючись, конденсується.

Якщо вологе повітря піднімається у вищі шари атмосфери, то після його охолодження утворюються *хмари* (рис. 21.6, *б*). Якщо вологе повітря охолоджується поблизу поверхні Землі, то утворюється *туман* (рис. 21.6, *в*). І хмари, і туман складаються з дрібних краплинок води, що утворюються внаслідок конденсації водяної пари*. Оскільки *процес конденсації супроводжується виділенням енергії*, утворення туману затримує зниження температури повітря.

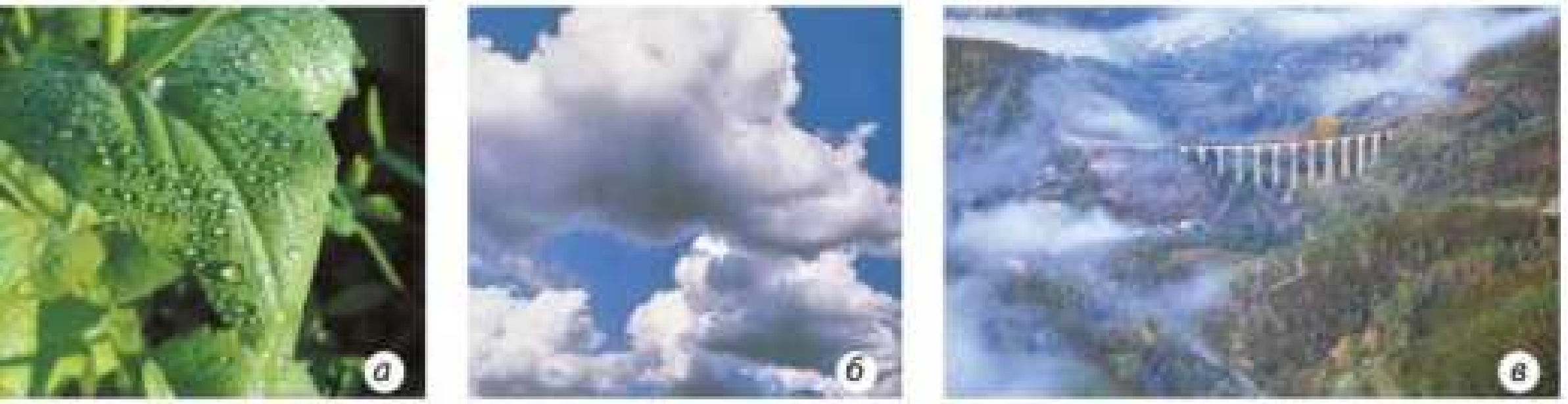


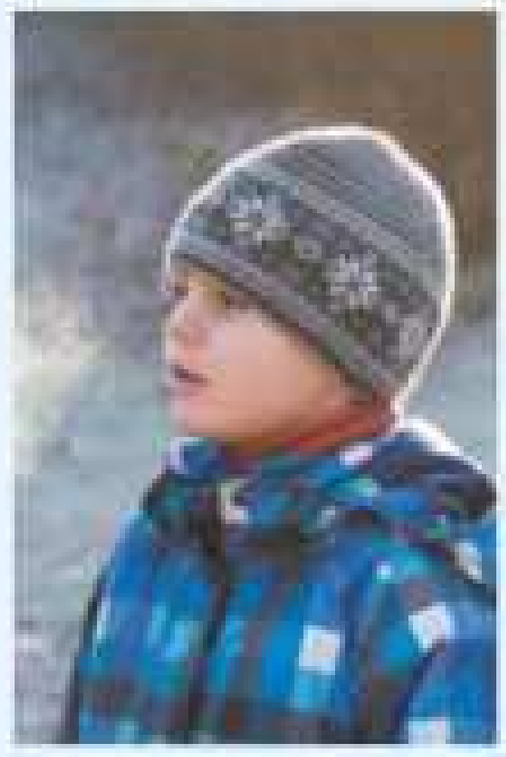
Рис. 21.6. Прояви конденсації в природі: випадання роси *(а)*; утворення хмар *(б)*; поява туману *(в)*

А ЯК НАСПРАВДІ?

Один із блогерів написав таке.

Чому в холодну погоду з рота йде пара? Ми ж не чайники! Річ у тім, що в нас завжди тепле дихання, але восени повітря холодне. Коли з ним зустрічається наше тепле дихання, то перетворюється на пару. Узимку на вулиці холодніше, тож і пару видно краще. Навесні повітря зігрівається, пара стає менш помітною. Потім приходить літо. Повітря стає теплим, як наше дихання, і пара зникає.

Як на вашу думку, що в поясненні блогера є правильним, а що — ні?



ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

Добре зволожену та віджату бавовняну серветку покладіть на блюдце, а блюдце поставте в холодильну камеру. Переконайтеся, що за деякий час серветка затвердне, а за кілька днів висохне. Поясніть результати експерименту. Дізнайтеся про випаровування твердих тіл докладніше.

---

* Хмари також можуть складатися (частково чи повністю) з кристаликів льоду.

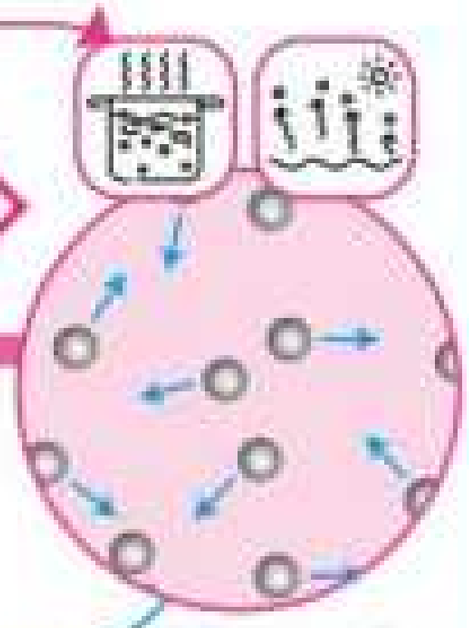
Видавництво «Ранок»

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

ПАРОУТВОРЕННЯ

процес переходу речовини з рідкого стану в газоподібний

Енергія поглинається



Енергія виділяється

процес переходу речовини з газоподібного стану в рідкий

КОНДЕНСАЦІЯ

Випаровування — це процес пароутворення з вільної поверхні рідини

- ✓ Випаровування може відбуватися за будь-якої температури; чим вища температура рідини, тим інтенсивнішим є випаровування.
- ✓ Швидкість випаровування залежить від роду рідини; чим менше сили міжмолекулярної взаємодії, тим швидше випаровування.
- ✓ Швидкість випаровування збільшується зі збільшенням площі вільної поверхні рідини та внаслідок руху повітря поблизу цієї поверхні.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що таке пароутворення? 2. Які способи пароутворення ви знаєте? 3. Що таке випаровування? 4. Від яких чинників і чому залежить швидкість випаровування? Наведіть приклади. 5. Що таке конденсація? Наведіть приклади конденсації в природі.

ВПРАВА № 21

1. Коли калюжі після дощу висихають швидше — в теплу чи прохолодну погоду? Чому?

2. Чому після змочування руки спиртом відчуття холоду є сильнішим, ніж після змочування водою?

3. Залишаючись тривалий час у мокрому одязі чи взутті, можна застудитися. Чому?

4. Навесні, коли інтенсивно тане сніг, над полями іноді утворюється туман. У міру його розсіювання стає помітним, що кількість снігу значно зменшилася. У народі кажуть: «Весняний туман сніг з'їдає». Поясніть це твердження з погляду фізики.

Видавництво «Ранок»

mk.com.ua/
110495

§ 22. КИПІННЯ. ПИТОМА ТЕПЛОТА ПАРОУТВОРЕННЯ

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Уявіть, що вам потрібно швидко відварити картоплю. Ви поклали її в каструлю, налили воду й поставили каструлю на плиту. Щоб вода закипіла швидше, ви робите потужність нагрівника максимальною. Вода закипіла. А що далі? Чи можна тепер зменшити потужність нагрівника? Чи потрібно закрити каструлю кришкою? Обґрунтуйте свою відповідь.

1. Чому і як кипить рідина?

Проведемо експеримент. Колбу з водою закріпимо в лапці штатива й щільно закоркуємо корком із двома отворами. В один отвір вставимо трубку для виходу пари, у другий помістимо термометр (рис. 22.1). Почнемо нагрівати воду.

За якийсь час дно та стінки колби вкриються *бульбашками* (рис. 22.2, *а*), які утворені розчиненими у воді газами та водяною парою*. Зі зростанням температури тиск газу всередині бульбашок теж зростає, і щойно він перевищить зовнішній тиск, бульбашки почнуть збільшуватися.

Після досягнення бульбашкою певного об'єму *архімедова сила* «відриває» її від дна посудини й бульбашка піднімається (рис. 22.2, *б*). На місцях бульбашок, що відірвалися, залишається невелика кількість газу — *зародки нових бульбашок*.

Верхні шари рідини певний час холодніші за нижні, тому у верхніх шарах водяна пара в бульбашках конденсується і бульбашки різко схлопуються. Цей процес

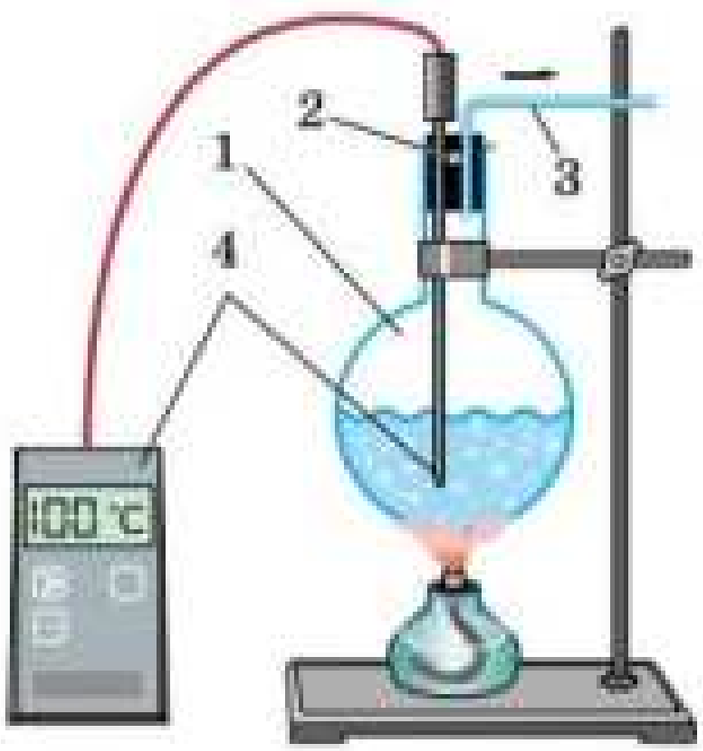


Рис. 22.1. Пристрій для спостереження та вивчення процесу кипіння рідини: 1 — скляна колба; 2 — гумовий корок з отворами; 3 — трубка для відведення пари; 4 — термометр

* Насправді мікробульбашки газу в рідині є завжди, проте помітними вони стають тільки за досить високої температури.

супроводжується шумом і утворенням численних дрібних бульбашок. Вода стає каламутною.

Коли рідина прогріється, бульбашки, піднімаючись, увесь час збільшуватимуться в об'ємі, *адже весь час усередину бульбашок активно випаровується вода* (рис. 22.2, *в*). Досягнувши поверхні рідини, бульбашки лопаються й викидають назовні значну кількість водяної пари (рис. 22.2, *г*). Вода при цьому вирує та клекоче — ми кажемо, що вона закипіла. Термометр у цей момент показує температуру 100 °С.

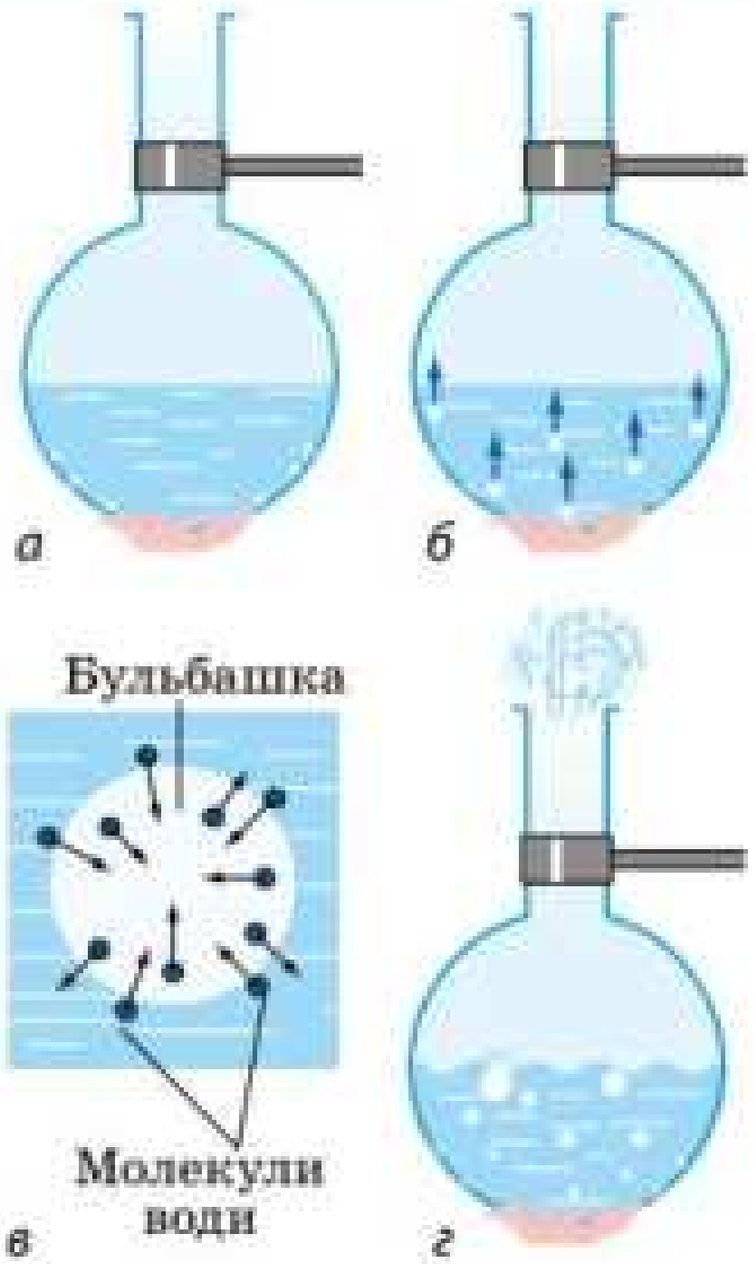


Рис. 22.2. Спостереження процесу закипання води

Кипіння — це процес пароутворення, який відбувається в усьому об'ємі рідини та супроводжується утворенням і зростанням бульбашок пари.

2. Від чого залежить температура кипіння?

Продовжимо експеримент (див. пункт 1 параграфа). Будемо нагрівати далі воду, що вже кипить, і спостерігати за показами термометра. Побачимо, що стовпчик термометра застиг на позначці 100 °С. Отже, *під час кипіння температура рідини не змінюється*.

Температуру, за якої рідина кипить, називають **температурою кипіння.**

Чому під час готування їжі, після того як рідина закипить, доцільно зменшити потужність нагрівника?

З'ясуймо, від чого залежить температура кипіння рідини. Спочатку припинимо вихід пари з колби, міцно затиснувши трубку, яка відводить пару (рис. 22.3). Пара збиратиметься над поверхнею води, тиск над рідиною збільшиться, кипіння на якийсь час припиниться, а температура рідини почне підвищуватися. Отже, температура кипіння залежить від зовнішнього тиску.

Рис. 22.3. У разі затиснення трубки для відведення пари тиск усередині колби збільшується, і це приводить до підвищення температури кипіння рідини

Видавництво «Ранок»

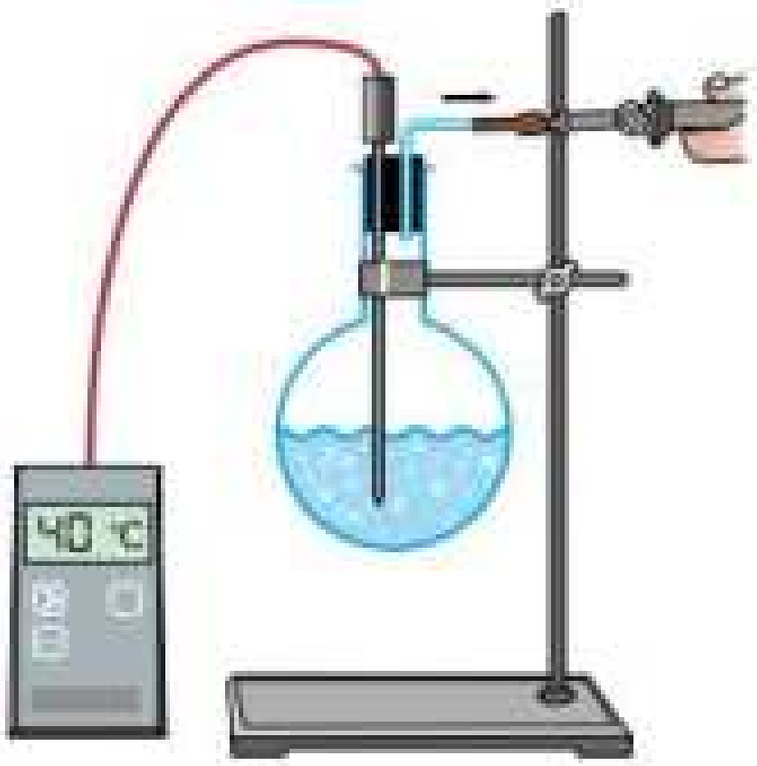


Рис. 22.4. Спостереження зниження температури кипіння води за умови зменшення зовнішнього тиску

Зі збільшенням зовнішнього тиску температура кипіння рідини зростає.

Якщо в колбу налити теплу воду і за допомогою помпи почати відкачувати з колби повітря, вода закипить (рис. 22.4), але вже за температури, нижчої від 100 °С. *Зі зменшенням зовнішнього тиску температура кипіння рідини знижується.*

ДОСЛІДЖЕННЯ

Що знадобиться: одноразовий шприц без голки; посудина з теплою водою.

Заповніть шприц водою приблизно наполовину. Щільно затуліть отвір пальцем. Повільно витягуйте поршень і спостерігайте за кипінням води. Поясніть спостережуване явище.

Спостерігаючи кипіння різних рідин, наприклад спирту, олії, ефіру, можна помітити, що за однакового тиску вони киплять за різних температур, які відрізняються від температури кипіння води. Тобто *температура кипіння залежить від роду рідини.* Про температуру кипіння деяких рідин за нормального атмосферного тиску ви можете дізнатися з табл. 4 Додатка 1.

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.*

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...

На заставці до § 22 зображено автоклав, призначений для стерилізації медичних інструментів.

Автоклави також використовують для приготування їжі, стерилізації продуктів, виготовлення будівельних матеріалів тощо. Добре відома каструля-скороварка — це побутовий автоклав.

Завдяки герметичній кришці водяна пара, яка утворюється внаслідок інтенсивного випаровування води, не виходить назовні, а створює над поверхнею води додатковий тиск. Саме тому температура кипіння води в такому пристрої сягає 135 °С.

Видавництво «Ранок»

3. Що характеризує питома теплота пароутворення?

Процес кипіння — це процес переходу рідини в пару, і цей процес іде з поглинанням енергії. Тому *для підтримування кипіння до рідини потрібно підводити певну кількість теплоти*. Ця енергія йде на розривання міжмолекулярних зв'язків. Досліди показують: *кількість теплоти, необхідна для перетворення рідини на пару, залежить від роду рідини*.

Питома теплота пароутворення — це фізична величина, що характеризує речовину й дорівнює кількості теплоти, яку необхідно передати рідині масою 1 кг, щоб за незмінної температури перетворити її на пару.

Питому теплоту пароутворення позначають символом r (або L), визначають дослідним шляхом (див. задачу в п. 4) і заносять до таблиць (див. табл. 5 Додатка 1).

Одиниця питомої теплоти пароутворення *в СІ* — **джоуль на кілограм:**

$$[r] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$

Щоб обчислити кількість теплоти, необхідну для перетворення рідини на пару за незмінної температури, потрібно питому теплоту пароутворення цієї рідини помножити на її масу:

$$Q = rm,$$

де Q — кількість теплоти, яку поглинає рідина; r — питома теплота пароутворення; m — маса утвореної пари. (Дійсно, за означенням питомої теплоти пароутворення: $r = \frac{Q}{m}$, звідки $Q = rm$.)

Якщо перед трубкою для відведення пари помістити якийсь холодний предмет, то пара конденсуватиметься на ньому (рис. 22.5). Ретельні вимірювання показують, що *в ході конденсації пари виділяється та сама кількість теплоти, що йде на утворення цієї пари*: $Q = rm$.

Питома теплота пароутворення

$$r = \frac{Q}{m}$$

r — питома теплота пароутворення, Дж/кг

Q — кількість теплоти, що необхідна для перетворення рідини на пару або виділяється під час конденсації, Дж

m — маса речовини, кг

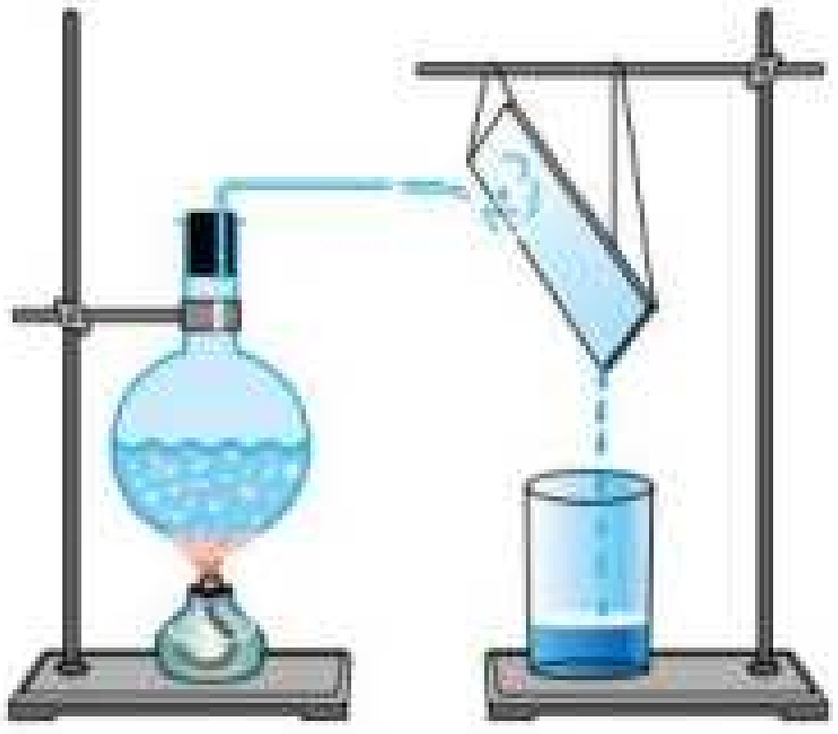
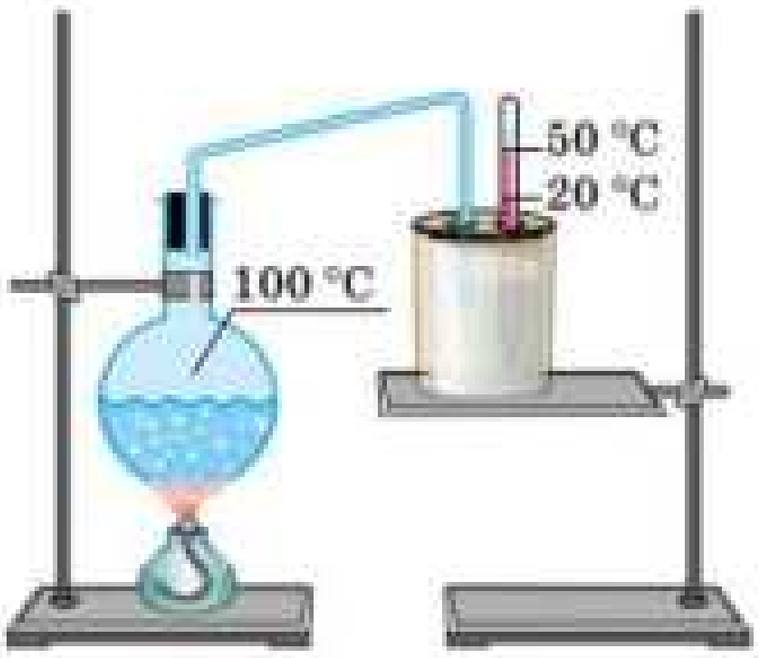


Рис. 22.5. Дослід, що демонструє конденсацію пари

Видавництво «Ранок»

4. Учимося розв'язувати задачі

■ **Задача.** Під час досліду з визначення питомої теплоти пароутворення води водяна пара, що має температуру 100 °С, надходить до калориметра, в якому міститься 500 г води за температури 20 °С (див. рисунок). Після закінчення досліду температура води в калориметрі становила 50 °С, а її маса збільшилася на 25 г. За даними досліду обчисліть питому теплоту пароутворення води. Вважайте, що теплообмін із довкіллям відсутній. ■



Дано:

$t_1 = 100$ °С

$m_{води} = 500$ г $= 0{,}5$ кг

$t_2 = 20$ °С

$t = 50$ °С

$m_{пари} = 25$ г $= 0{,}025$ кг

$c_{води} = 4200 \dfrac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°С}}$

Знайти:

r — ?

Аналіз фізичної проблеми, пошук математичної моделі, розв'язання. Під час досліду відбувається теплообмін між водою в калориметрі та парою.

Віддає енергію
водяна пара
• спочатку конденсується: $Q_1 = rm_{пари}$;
• отримана вода охолоджується від 100 до 50 °С: $Q_2 = c_{води} m_{пари} (t_1 - t)$.

Отримує енергію
вода в калориметрі
• нагрівається від 20 до 50 °С: $Q_3 = c_{води} m_{води} (t - t_2)$.

Теплообмін із довкіллям відсутній, тому:

$$Q_1 + Q_2 = Q_3,$$

або $rm_{пари} + c_{води} m_{пари} (t_1 - t) = c_{води} m_{води} (t - t_2)$.

Звідси знайдемо питому теплоту пароутворення води:

$$rm_{пари} = c_{води} m_{води} (t - t_2) - c_{води} m_{пари} (t_1 - t) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow r = \frac{c_{води} m_{води} (t - t_2) - c_{води} m_{пари} (t_1 - t)}{m_{пари}}.$$

Перевіримо одиницю, знайдемо значення шуканої величини:

$$[r] = \frac{\dfrac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°С}} \cdot \text{кг} \cdot (\text{°С} - \text{°С})}{\text{кг}} = \frac{\dfrac{\text{Дж} \cdot \text{°С}}{\text{°С}}}{\text{кг}} = \frac{\text{Дж}}{\text{кг}};$$

$$r = \frac{4200 \cdot 0{,}5 \cdot 30 - 4200 \cdot 0{,}025 \cdot 50}{0{,}025} = 2\,310\,000 \left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \right).$$

Аналіз результату. Отриманий результат ($r = 2{,}31$ МДж/кг) майже збігається з табличним значенням, отже, задачу розв'язано правильно.

Відповідь: $r = 2{,}31 \dfrac{\text{МДж}}{\text{кг}}$.

А ЯК НАСПРАВДІ?

Учениця поставила в інтернеті запитання: «Чому опік парою болючіший і сильніший за опік окропом»?

Ось деякі відповіді:

«Окріп має температуру до 100 градусів, а пара понад 100».

«Пара — це газ, яким неможливо обпектися».

«Окріп потрапляє лише на невелику ділянку руки, а пара обтікає руку повністю».

«Пара не лише охолоджується, а ще й конденсується».

«А ви перевіряли? Звідки така інформація? Я знаю, що опік окропом болючіший за опік парою».

З якою відповіддю ви погодилися б? Чому?

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Кипіння — це процес пароутворення, що відбувається в усьому об'ємі рідини й супроводжується утворенням і зростанням бульбашок пари.

Температура рідини під час кипіння не змінюється, оскільки вся надана енергія витрачається на розривання міжмолекулярних зв'язків.

Температура кипіння залежить:
- від роду рідини;
- зовнішнього тиску: якщо $p \uparrow$, то $t_{кип} \uparrow$;
- наявності розчинених газів.

$Q = rm$

Кількість теплоти, яка необхідна для перетворення рідини на пару, дорівнює кількості теплоти, яку виділяє ця пара, конденсуючись.

$[r] = \frac{Дж}{кг}$

Питома теплота пароутворення — це фізична величина, що характеризує певну речовину й дорівнює кількості теплоти, яку необхідно передати рідині масою 1 кг, щоб за незмінної температури перетворити її на пару.

$r = \frac{Q}{m}$

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що таке кипіння? 2. Які явища спостерігаються в рідині під час кипіння? 3. Яка сила змушує бульбашку газу підніматися на поверхню рідини? 4. Від яких чинників залежить температура кипіння рідини? 5. На що витрачається енергія, яку одержує рідина під час кипіння? 6. Що називають питомою теплотою пароутворення?

Видавництво «Ранок»

ВПРАВА № 22

1. Відомо, що температура кипіння води на вершині гори Еверест становить близько 70 °С. Як ви вважаєте, чому?

2. Питома теплота пароутворення води становить 2,3 МДж/кг. Що це означає?

3. Яку кількість теплоти необхідно передати воді масою 10 кг, узятій за температури кипіння, щоб перетворити її на пару?

4. Рідка речовина масою 50 г нагрівається, а потім починає кипіти. За графіком залежності температури цієї речовини від кількості поглиненої нею теплоти (рис. 1) визначте: а) що це за речовина; б) якою є питома теплота пароутворення цієї речовини.

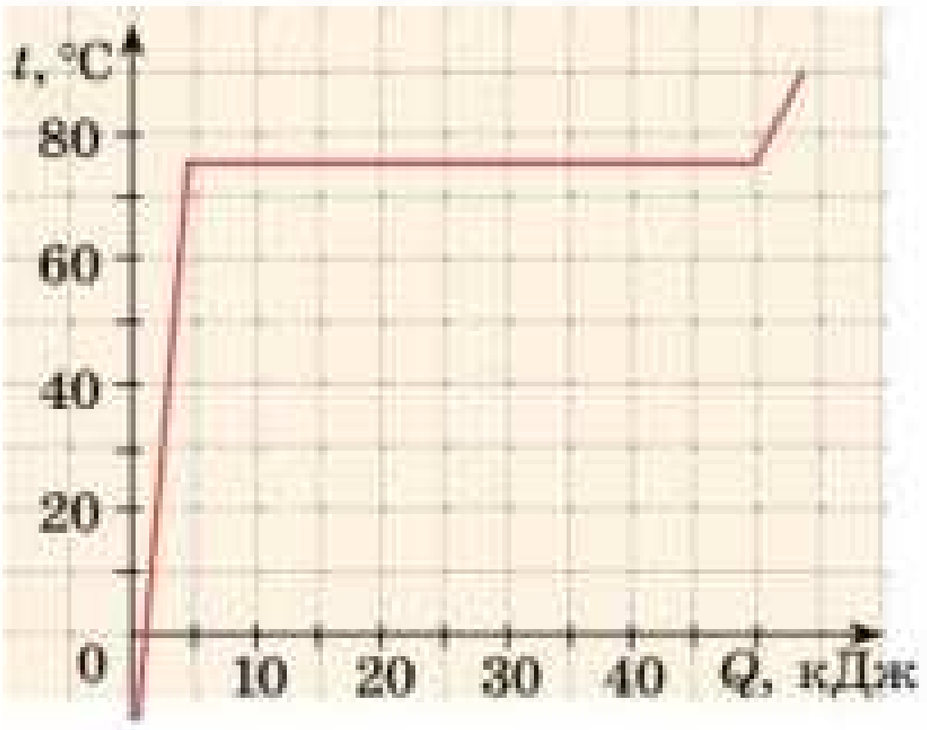


Рис. 1

5. На скільки збільшиться внутрішня енергія 10 кг льоду, узятого за температури 0 °С, внаслідок перетворення його на пару, що має температуру 100 °С?

6. У посудину з водою, що кипить, помістили відкриту пробірку з водою (рис. 2). Чи кипить вода в пробірці?

Рис. 2

7. Дізнайтеся про практичне застосування кипіння.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

У прозору скляну пляшку обережно налийте невелику кількість гарячої води. Погойдайте воду в пляшці, збільшуючи таким чином площу вільної поверхні води, а отже, швидкість випаровування. Новоутворена пара витисне з пляшки частину повітря. Щільно закоркуйте пляшку, переверніть і остудіть її дно за допомогою холодної води або снігу. Вода в пляшці закипить. Поясніть це явище.

Ключові терміни

Кипіння • Питома теплота пароутворення • Конденсація • Автоклав

§ 23. ПИТОМА ТЕПЛОТА ЗГОРЯННЯ ПАЛИВА. КОЕФІЦІЄНТ КОРИСНОЇ ДІЇ НАГРІВНИКА

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Розгляньте зображення, які подано на заставці до параграфа. Чому, на вашу думку, для сучасної цивілізації паливо є необхідною умовою існування? На які види енергії перетворюється в поданих прикладах енергія, що «схована» в паливі? А чи знаєте ви, як називають цю енергію? Наведіть власні приклади застосування палива.

1. Які існують види палива?

Для збільшення температури люди здавна використовували енергію, що виділяється під час *хімічної реакції горіння палива* (див., наприклад, рис. 23.1).

Паливом можуть бути як природні речовини (кам'яне вугілля, нафта, торф, дрова, природний газ) (рис. 23.2), так і *штучні* (гас, бензин, порох, деревне вугілля, етиловий спирт тощо) (рис. 23.3). Як бачимо, паливо буває *твердим* (кам'яне вугілля, торф, дрова, сухе пальне), *рідким* (нафта, гас, бензин, дизельне паливо) і *газоподібним* (природний газ, пропан, бутан).

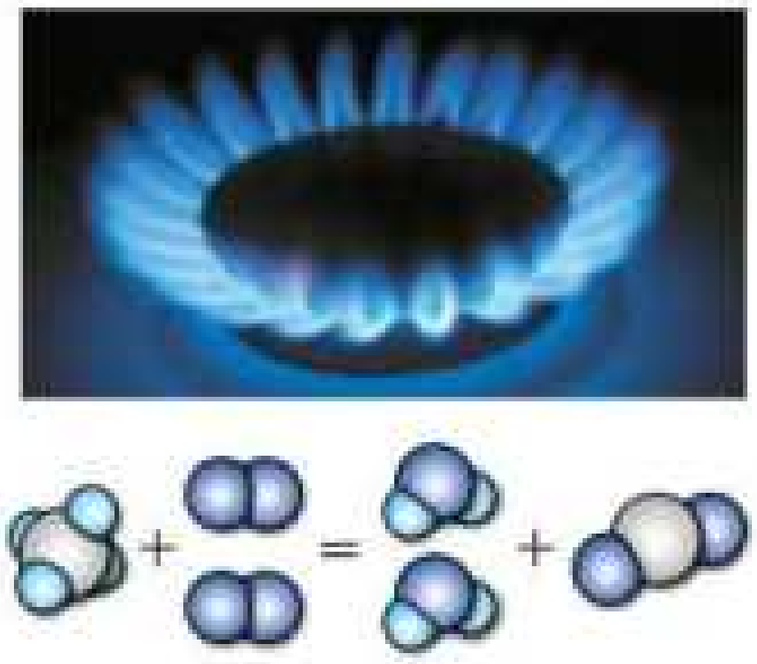


Рис. 23.1. Реакція взаємодії метану (основного складника природного газу) та кисню супроводжується виділенням теплоти:

$$CH_4 + 2O_2 \rightarrow 2H_2O + CO_2 + Q$$

Рис. 23.2. Дрова — поширене тверде природне паливо

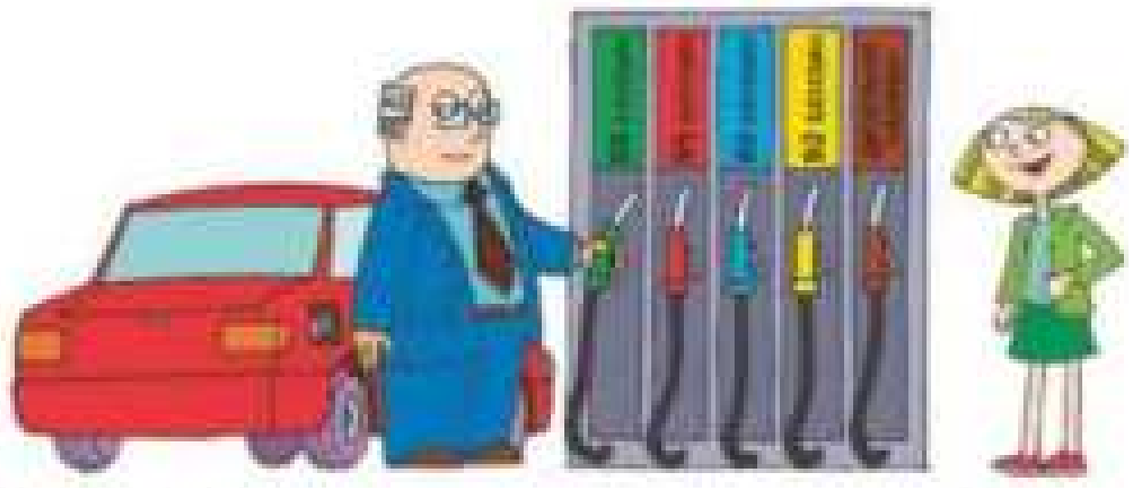


Рис. 23.3. Гас, бензин, дизельне паливо — рідке паливо, одержане людиною

Видавництво «Ранок»

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...

Незважаючи на різноманітні галузі використання палива, насамперед енергія палива витрачається на генерацію електричної енергії. Понад 66 % усієї електроенергії у світі виробляється на теплових електростанціях, де паливо виділяє енергію в ході *хімічної* реакції горіння.

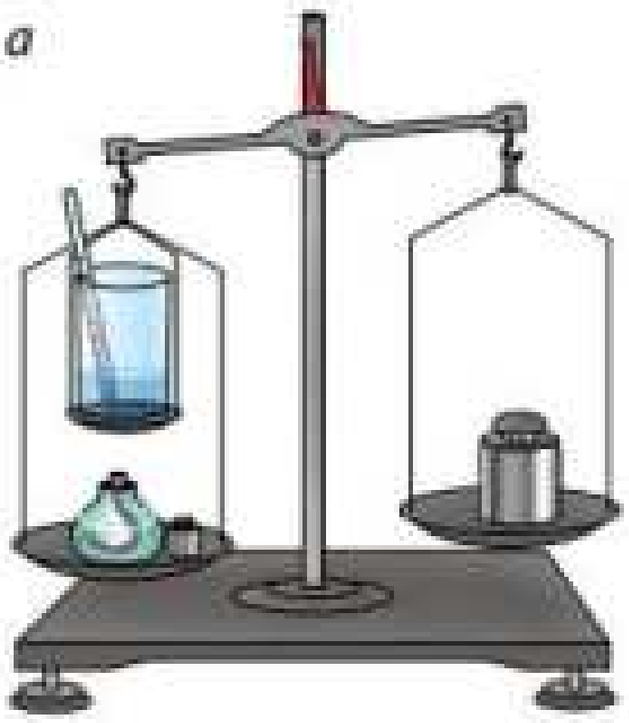
Але існує ще *ядерне паливо*, під час «згоряння» якого енергія виділяється в ході поділу атомних ядер (зазвичай урану та плутонію). Завдяки використанню ядерної енергії генерується понад 10 % електрики.

2. Як дізнатися про теплотворну здатність палива?

Види палива різняться теплотворною здатністю. Переконаємось у цьому за допомогою простого досліду.

Поставимо на ліву шальку терезів спиртівку, наповнену спиртом. Над спиртівкою підвісимо металеву банку з водою, попередньо виміявши температуру води. Після того як зрівноважимо терези, покладемо на ліву шальку важок масою 1 г. Рівновага терезів порушиться (рис. 23.4, *а*). Запалимо спиртівку. У міру згоряння спирту маса спиртівки зі спиртом зменшуватиметься, і через якийсь час рівновага терезів відновиться (це буде означати, що згорів 1 г спирту) (рис. 23.4, *б*). У цей момент погасимо спиртівку і знову вимірюємо температуру води.

а



б

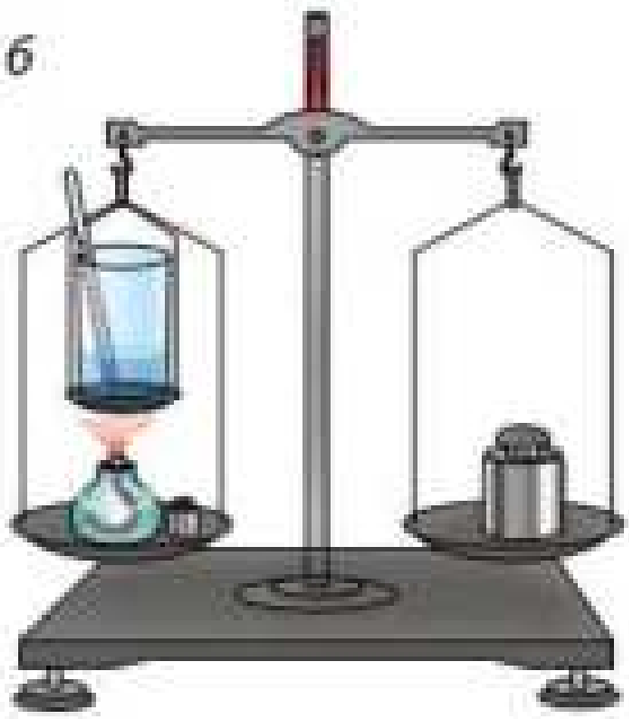


Рис. 23.4. Дослід, за допомогою якого демонструють якісну відмінність різних видів палива

Повторимо дослід, узявши спиртівку, наповнену гасом, і переконаємося, що в цьому випадку вода нагріється більше. Це означає, що під час згоряння 1 г гасу виділилося більше енергії, ніж під час згоряння 1 г спирту.

Для кількісної характеристики теплотворної здатності палива застосовують фізичну величину — *питому теплоту згоряння палива*.

Питома теплота згоряння палива — це фізична величина, яка характеризує теплотворну здатність палива і чисельно дорівнює кількості теплоти, що виділяється під час повного згоряння 1 кг цього палива.

Питому теплоту згоряння палива позначають символом q, визначають у лабораторних умовах і заносять до таблиць (див. табл. 6 Додатка 1).

Видавництво «Ранок»

Одиниця питомої теплоти згоряння палива *в СІ* — **джоуль на кілограм:**

$$[q] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$

Знаючи питому теплоту згоряння q й масу m палива, обчислимо *кількість теплоти* Q, *яка виділиться в ході повного згоряння цього палива*: оскільки $q = \frac{Q}{m}$, то

$$Q = qm$$

Питома теплота згоряння палива

$$q = \frac{Q}{m}$$

q — питома теплота згоряння палива, Дж/кг
Q — кількість теплоти, що виділяється під час повного згоряння палива, Дж
m — маса палива, кг

У табл. 6 Додатка 1 бачимо, що, наприклад, питома теплота згоряння торфу становить 15 МДж/кг. Що це означає? Яка кількість теплоти виділиться під час повного згоряння 2 кг торфу?

3. Як визначити коефіцієнт корисної дії (ККД) нагрівника?

Для спалювання палива використовують різні нагрівники: печі, каміни, газові котли, пальники, спиртівки та інше (рис. 23.5).

Конструкція нагрівника залежить від виду палива та від того, для чого використовують теплоту. Наприклад, якщо потрібно опалювати помешкання, а паливом є газ, то доцільно придбати газовий котел; для фізичних дослідів, під час яких паливом буде спирт, як нагрівник треба обрати спиртівку. Проте навіть за допомогою найсучасніших нагрівників *неможливо повністю використати всю енергію*, що «накопичена» в паливі. По-перше, *жодне паливо не може згоріти повністю*. По-друге, якась *частина енергії витрачається марно* (наприклад, відлітає з продуктами згоряння, іде на нагрівання навколишнього середовища).

Рис. 23.5. Різноманітні нагрівальні пристрої: примус *(а)*; газова плита *(б)*; паяльна лампа *(в)*; газовий котел *(г)*

Видавництво «Ранок»

Коефіцієнт корисної дії нагрівника — це фізична величина, яка характеризує ефективність нагрівника й дорівнює відношенню корисно спожитої теплоти до всієї теплоти, яка може бути виділена під час повного згоряння палива.

Зазвичай ККД подають у відсотках:

$$\eta = \frac{Q_{\text{кор}}}{Q_{\text{повна}}} \cdot 100\,\%$$

ККД нагрівника

$$\eta = \frac{Q_{\text{кор}}}{Q_{\text{повна}}}$$

η — коефіцієнт корисної дії нагрівника, Дж/кг

$Q_{\text{кор}}$ — корисно спожита теплота

$Q_{\text{повна}}$ — теплота, яка може бути виділена в процесі повного згоряння палива

4. Учимося розв'язувати задачі

■ Задача. Туристи й туристки, перепочиваючи біля струмка, вирішили приготувати чай. Яку мінімальну кількість сухих дров треба заготовити, щоб закип'ятити 10 кг води? Вода одержує 15 % енергії, що виділяється під час повного згоряння дров. Температура води в струмку 15 °С. ■

Дано:

$m_{\text{води}} = 10$ кг

$\eta = 15\,\% = 0{,}15$

$t_0 = 15$ °С

$t = 100$ °С

$c_{\text{води}} = 4200\ \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°С}}$

$q_{\text{дров}} = 1 \cdot 10^7\ \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$

Знайти:

$m_{\text{дров}}$ — ?

Аналіз фізичної проблеми, розв'язання

Для розв'язання задачі скористаємося формулою для обчислення ККД нагрівника:

$$\eta = \frac{Q_{\text{кор}}}{Q_{\text{повна}}}. \qquad (1)$$

Кількість теплоти, яка необхідна для нагрівання води:

$$Q_{\text{кор}} = c_{\text{води}} m_{\text{води}} (t - t_0). \qquad (2)$$

Кількість теплоти, яка виділяється під час повного згоряння дров:

$$Q_{\text{повна}} = q_{\text{дров}} m_{\text{дров}}. \qquad (3)$$

Підставивши формули (2) і (3) у формулу (1), дістанемо:

$$\eta = \frac{c_{\text{води}} m_{\text{води}} (t - t_0)}{q_{\text{дров}} m_{\text{дров}}} \Rightarrow m_{\text{дров}} = \frac{c_{\text{води}} m_{\text{води}} (t - t_0)}{\eta q_{\text{дров}}}.$$

Перевіримо одиницю, визначимо значення шуканої величини:

$$\left[m_{\text{дров}}\right] = \left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°С}} \cdot \text{кг} \cdot \text{°С}\right) : \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} = \frac{\text{Дж} \cdot \text{кг}}{\text{Дж}} = \text{кг};$$

$$m_{\text{дров}} = \frac{4200 \cdot 10 \cdot (100 - 15)}{0{,}15 \cdot 1 \cdot 10^7} = \frac{4200 \cdot 10 \cdot 85}{15 \cdot 10^5} = 2{,}38\ (\text{кг}).$$

Відповідь: $m_{\text{дров}} = 2{,}38$ кг.

Видавництво «Ранок»

А ЯК НАСПРАВДІ?

Багато людей вважають, що в приватному будинку обов'язково має бути камін. Ось які аргументи вони наводять:

- Камін у будинку створює особливу атмосферу.
- Камін швидко нагріває приміщення й довго тримає тепло.
- Камін є безпечнішим, ніж піч.
- Біля каміна можна швидко висушити мокрі речі, якщо ви потрапили під дощ.
- На жаль, не можна розпалювати дрова в каміні гасом або бензином, але біля каміна можна складати дрова, які будуть сухими й легко розпалюватимуться.

Чи згодні ви із цими аргументами? Якщо ні, то чому?

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Хімічна реакція горіння палива відбувається з виділенням теплоти.

$Q = qm$

$[q] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$

Питома теплота згоряння палива — це фізична величина, що характеризує теплотворну здатність палива й дорівнює кількості теплоти, яка виділяється в процесі повного згоряння 1 кг цього палива.

$q = \frac{Q}{m}$

Коефіцієнт корисної дії нагрівника — це фізична величина, яка характеризує ефективність нагрівника й дорівнює відношенню корисно спожитої теплоти до всієї теплоти, яка може бути виділена під час повного згоряння палива.

$\eta = \frac{Q_{\text{кор}}}{Q_{\text{повна}}}$

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які види палива ви знаєте? 2. Опишіть дослід на підтвердження того, що під час горіння різних видів палива виділяється різна кількість теплоти. 3. Дайте означення питомої теплоти згоряння палива. У яких одиницях її вимірюють? 4. Як обчислити кількість теплоти, що виділяється в процесі повного згоряння палива? 5. Як визначити ККД нагрівника?

Видавництво «Ранок»

ВПРАВА № 23

1. Питома теплота згоряння пороху набагато менша від питомої теплоти згоряння дров. Чому ж тоді сірник, який горить у вашій руці, є досить безпечним, а коли спалахує та сама маса пороху, то можна серйозно постраждати?

2. Яка кількість теплоти виділиться під час повного згоряння кам'яного вугілля масою 10 кг?

3. У процесі повного згоряння гасу виділилося 92 кДж теплоти. Якою була маса гасу?

4. На спиртівці нагріли 300 г води від 15 до 75 °С. Визначте ККД нагрівника, якщо на нагрівання витрачено 8 г спирту.

5. Чайник, що стоїть на газовому пальнику, містить 2 л води за температури 20 °С. Для нагрівання води витратили 42 г природного газу. До якої температури нагрілася вода, якщо вона одержала 40 % тепла, яке може виділитися під час повного згоряння газу?

6. Чому під час спалювання сирих дров виділяється менша кількість теплоти, ніж під час спалювання тієї самої маси сухих дров?

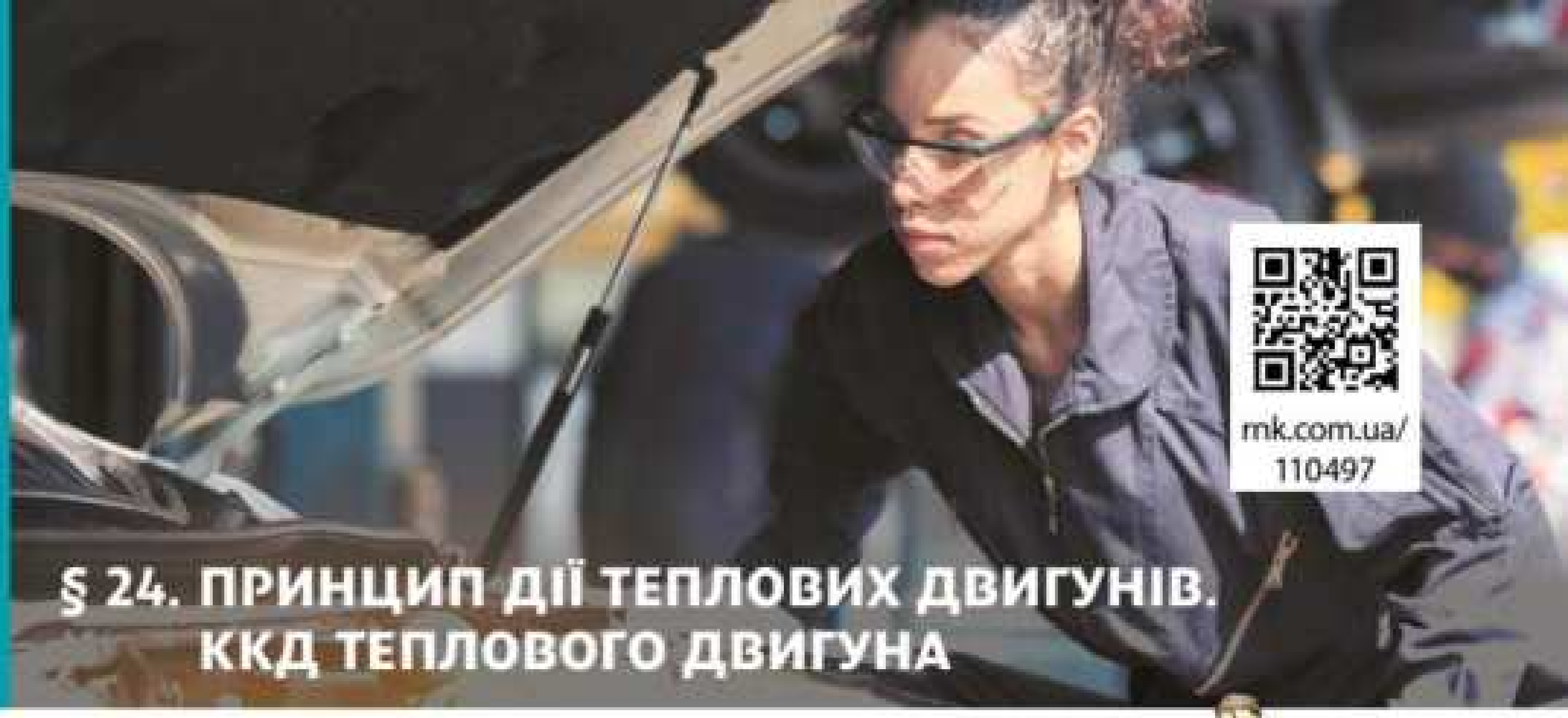
7. Уявіть, що вам потрібно визначити ККД нагрівника із сухим пальним. Яке обладнання вам для цього знадобиться? Запишіть план проведення експерименту. За можливості проведіть цей експеримент.

Ключові терміни

Паливо · Хімічна реакція горіння палива · Питома теплота згоряння палива · Коефіцієнт корисної дії нагрівника (ККД)

ФІЗИКА І ТЕХНІКА В УКРАЇНІ

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича був заснований у 1875 р. указом імператора Австро-Угорщини Франца Йосифа. Тоді в університеті були лише теологічний, філософський та юридичний факультети. Сьогодні в університеті функціонують 10 факультетів, де навчаються тисячі студентів. Серед основних напрямів досліджень, пов'язаних із фізикою, можна назвати теоретичні та прикладні дослідження напівпровідникового матеріалознавства; розроблення нових технологій, матеріалів, приладів для опто-, радіо- та мікроелектроніки, напівпровідникового приладобудування; кореляційну оптику та голографію.



§ 24. ПРИНЦИП ДІЇ ТЕПЛОВИХ ДВИГУНІВ. ККД ТЕПЛОВОГО ДВИГУНА

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Якщо взяти скляну пляшку, ополоснути її водою, закоркувати картоплиною (обережно в картоплину втиснувши шийку пляшки), поставити закорковану пляшку в каструлю з водою й нагрівати воду, то за деякий час цей корок вилетить. Чому? Звідки взялася кінетична енергія корка? Які сили виконали роботу під час його виштовхування?

1. Який принцип дії теплових двигунів?

Проведемо дослід. Щільно закоркуємо носик чайника і поставимо чайник із водою на пальник. За деякий час помітимо, що кришка чайника почне підстрибувати. З'ясуймо, чому так відбувається.

Вода в чайнику закипає, і тиск пари під кришкою зростає. 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, тиск пари на кришку зменшується і кришка повертається назад (рис. 24.1). Якщо нагрівання продовжувати, то *процес повторюватиметься*.

Отже, в описаній системі *завдяки енергії, що виділяється внаслідок згоряння палива, виконується механічна робота, при цьому частина енергії віддається довкіллю.*

Якщо з кришкою з'єднати якийсь механізм, дістанемо найпростішу модель *теплового двигуна*.

Тепловий двигун — це теплова машина, яка працює циклічно і перетворює енергію палива на механічну роботу.

Рис. 24.1. На кришку чайника діють сила тяжіння ($F_{\text{тяж}} = mg$) і сила тиску пари. Якщо $F_{\text{тиску пари}} > F_{\text{тяж}}$, кришка підстрибує; якщо $F_{\text{тиску пари}} < F_{\text{тяж}}$, кришка повертається назад

Видавництво «Ранок»

А ЯК НАСПРАВДІ?

Дізнавшись про теплові двигуни, Павло висловив думку:

— Я зрозумів, що куля Герона, про яку ми дізналися в 7 класі, — це тепловий двигун, як і реактивний двигун у ракеті.

— Цілком згоден, — підтримав його Богдан. — Я також вважаю, що пляшка з корком у кастрюлі з окропом — це теж тепловий двигун, як і пушка. Вони дуже схожі.

— А двигун автівки? Це точно тепловий двигун: є паливо, є робота! — додала власний приклад Олена.

Хто, на вашу думку, має рацію?

Рис. 24.2. Принцип дії теплових машин: робоче тіло одержує певну кількість теплоти (Q_1) від нагрівника, ця теплота частково перетворюється на механічну енергію (робоче тіло виконує роботу A), а частково (Q_2) передається холодильнику

З'ясуймо на прикладі із чайником, із яких основних частин має складатися теплова машина.

По-перше, в зазначеній системі механічну роботу виконує пара, яка, розширюючись, піднімає кришку. *Газ, який виконує роботу в процесі свого розширення, називають* **робочим тілом.**

По-друге, пара утворюється і розширюється внаслідок нагрівання на пальнику. *Пристрій, від якого робоче тіло одержує певну кількість теплоти, називають* **нагрівником.**

По-третє, виходячи із чайника, водяна пара періодично віддає енергію довкіллю (якби цього не відбувалося, «двигун» не зміг би працювати циклічно — кришка не поверталася б у початкове положення і процес не повторювався б). *Об'єкт, якому робоче тіло віддає певну кількість теплоти, називають* **холодильником.**

Будь-яка теплова машина складається з трьох основних частин: нагрівника, робочого тіла, холодильника (рис. 24.2).

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...

Фізично розвинена людина може за добу виконати роботу приблизно в один мільйон джоулів. Середньодобове споживання енергії однією людиною — сотні мільйонів джоулів. З усієї енергії, яку споживає людина, близько 90 % становить енергія палива. На обігрівання приміщень і готування їжі йде лише незначна частина цієї енергії — переважно людина використовує енергію палива, перетворюючи її на механічну в різноманітних теплових двигунах.

2. Як визначити ККД теплового двигуна?

У будь-якому тепловому двигуні лише частина енергії, що «прихована» в паливі, витрачається на виконання роботи, адже паливо згоряє не повністю. До того ж частина виділеної енергії передається довкіллю.

Втрати енергії в теплових двигунах не обмежуються *тепловими втратами*. Частина енергії також витрачається на виконання роботи проти сил тертя всередині двигуна. Такі втрати енергії називають *механічними*.

Очевидно: чим меншими є теплові й механічні втрати у двигуні, тим менше палива потрібно спалити, щоб отримати ту саму корисну роботу, і тим економічнішим є двигун.

Коефіцієнт корисної дії теплового двигуна — це фізична величина, що характеризує економічність теплового двигуна й показує, яка частина всієї енергії, що «запасена» в паливі, перетворюється на корисну роботу.

Коефіцієнт корисної дії двигуна η обчислюють за формулою:

$$\eta = \frac{A_{\text{кор}}}{Q_{\text{повна}}},$$

де $A_{\text{кор}}$ — корисна робота; $Q_{\text{повна}}$ — кількість теплоти, що може виділитися в процесі повного згоряння палива.

Зазвичай ККД подають у відсотках:

$$\eta = \frac{A_{\text{кор}}}{Q_{\text{повна}}} \cdot 100\ \%$$

Корисна робота завжди менша від кількості теплоти, що виділяється в процесі повного згоряння палива, тому зрозуміло, що ККД теплового двигуна завжди є меншим від 100 %. Зазвичай ККД теплових двигунів становить 20–40 %.

Розгляньте рис. 24.3. Обговоріть у групах такі питання. Що в паровому двигуні, схему роботи якого зображено, є нагрівником? робочим тілом? холодильником? Які, на вашу думку, основні втрати енергії в цьому двигуні: втрати палива, теплові втрати чи механічні?

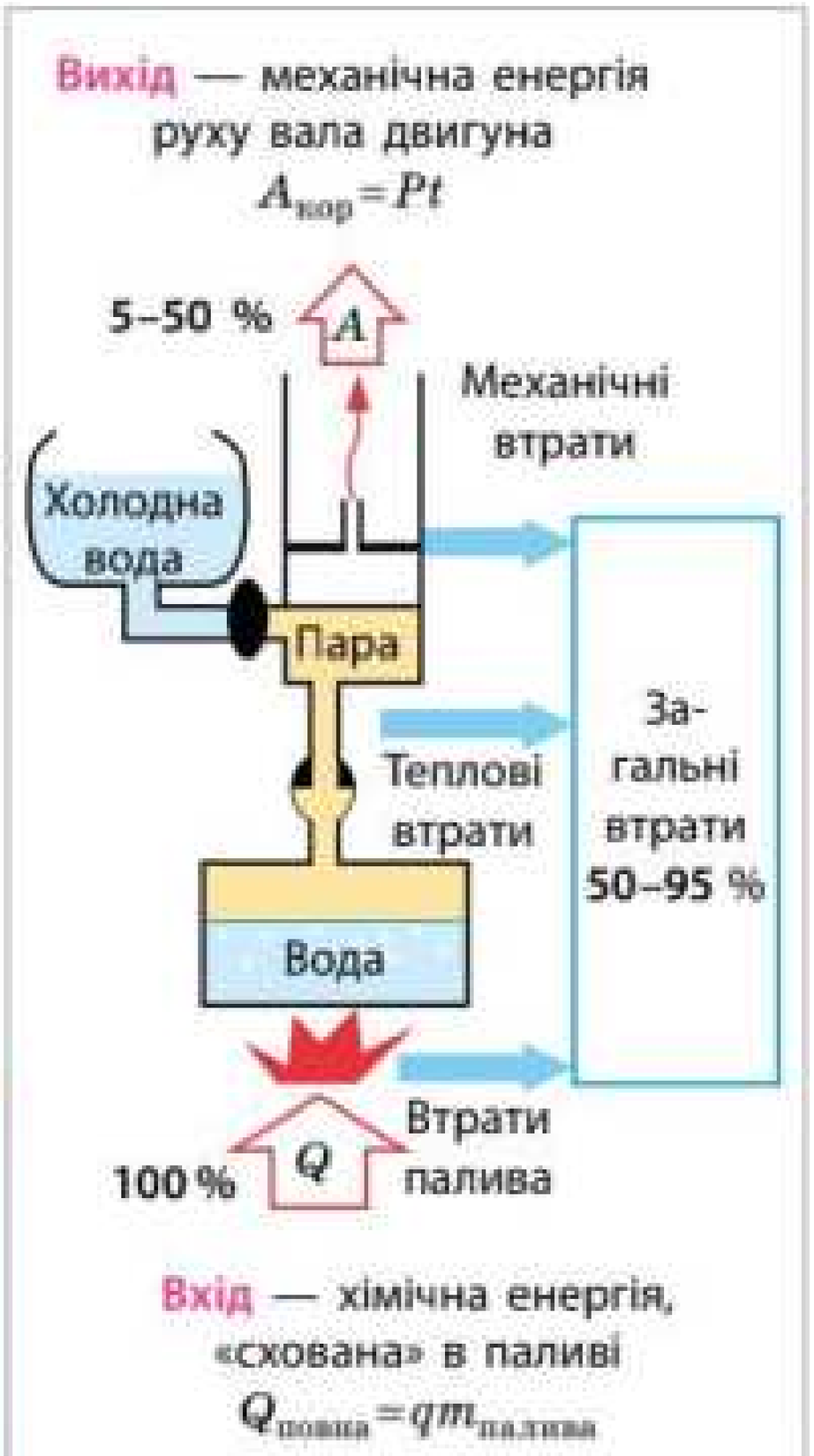


Рис. 24.3. ККД парових теплових двигунів і схема втрат енергії

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Тепловий двигун — це машина, яка працює циклічно й перетворює енергію палива на механічну роботу.

Принцип роботи теплових двигунів

Робоче тіло:

- ✓ одержує певну кількість теплоти від нагрівника;
- ✓ виконує механічну роботу;
- ✓ передає деяку кількість теплоти холодильнику.

Коефіцієнт корисної дії теплового двигуна — це фізична величина, що характеризує економічність теплового двигуна й показує, яка частина всієї енергії $Q_{повна}$, що «запасена» в паливі, перетворюється на корисну роботу $A_{кор}$.

$$\eta = \frac{A_{кор}}{Q_{повна}} \qquad \eta = \frac{A_{кор}}{Q_{повна}} \cdot 100\ \%$$

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що таке тепловий двигун? 2. Назвіть основні частини теплового двигуна. 3. У чому полягає принцип дії теплового двигуна? 4. Назвіть основні види втрат енергії в теплових двигунах. 5. Дайте означення ККД теплового двигуна. 6. Чому ККД теплового двигуна завжди менший від 100 %?

ВПРАВА № 24

1. Під час повного згоряння палива в тепловому двигуні виділилося 500 кДж теплоти. У результаті двигун виконав корисну роботу, яка дорівнює 125 кДж. Визначте ККД двигуна.
2. Під час роботи теплового двигуна використано 0,5 кг дизельного палива. При цьому двигун виконав корисну роботу, яка дорівнює 7 МДж. Обчисліть ККД двигуна.
3. Яку корисну роботу виконає тепловий двигун, ККД якого становить 20 %, якщо в ньому згорить 10 л бензину?
4. Яку середню потужність розвиває двигун мотоцикла, якщо за швидкості руху 90 км/год витрата бензину становить 4 кг на 100 км шляху? ККД двигуна дорівнює 25 %.
5. Дізнайтеся про перші теплові машини, створені людиною.

Ключові терміни

Тепловий двигун · Нагрівник · Робоче тіло · Холодильник · Коефіцієнт корисної дії теплового двигуна (ККД)

mk.com.ua/
110498

§ 25. ДЕЯКІ ВИДИ ТЕПЛОВИХ ДВИГУНІВ

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Проведемо дослід (див. рисунок праворуч). Що ми спостерігатимемо після того, як вода почне кипіти? Чому можна вважати зображений пристрій тепловим двигуном? Що в цьому «двигуні» є робочим тілом? нагрівником? холодильником? Чи знаєте ви технічний пристрій, який працює саме так? Де його застосовують?

1. Як працює парова турбіна?

Парова турбіна (від латин. *turbo* — вихор, швидке обертання) — один із прикладів *парових теплових двигунів.*

У парових двигунах *енергія, яка виділяється під час згоряння палива, йде на утворення водяної пари та її нагрівання*, а вже потім *нагріта пара, розширюючись, виконує механічну роботу.*

Робочим тілом парової турбіни є пара, яка утворюється з води й у парових котлах нагрівається до температури близько 600 °С. Із котла пара під високим тиском надходить до турбіни.

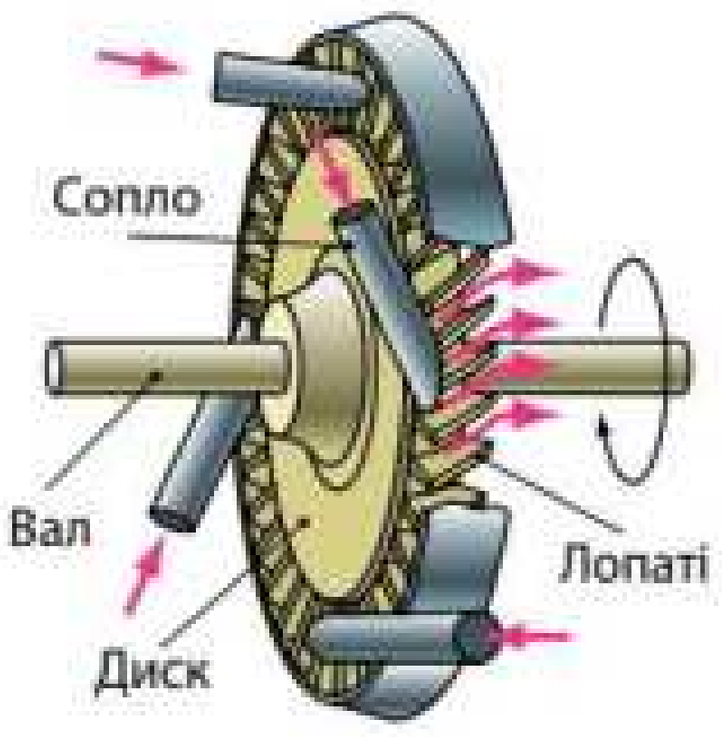


Рис. 25.1. Схема будови найпростішої парової турбіни

Розглянемо принцип дії найпростішої парової турбіни (рис. 25.1). Струмені пари, вихоплюючись через *сопла*, спрямовуються на *лопаті*, закріплені на *диску*. Диск нерухомо закріплений на *валу* турбіни. Під дією пари диск турбіни, а отже, і вал обертаються, тобто пара виконує роботу. У сучасних турбінах для максимального використання енергії пари застосовують кілька дисків із лопатями, які насаджено на один спільний *вал* (див. заставку до § 25).

Парові турбіни широко використовують на електростанціях, де механічна енергія обертання турбіни перетворюється на електричну.

Видавництво «Ранок»

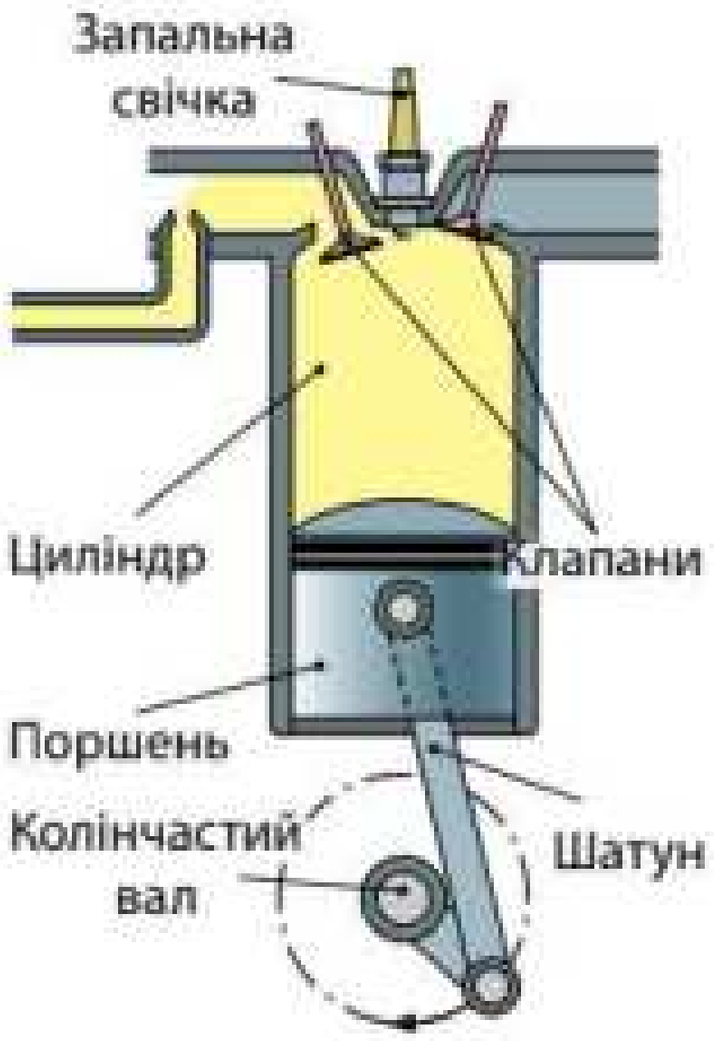


Рис. 25.2. Схема будови найпростішого двигуна внутрішнього згоряння

2. Двигун внутрішнього згоряння

Одним із найпоширеніших видів теплових двигунів, що використовують у транспортних засобах, є *двигун внутрішнього згоряння*. У процесі роботи такого двигуна *паливо згоряє безпосередньо всередині* циліндрів, звідси й походження назви.

Двигун внутрішнього згоряння (рис. 25.2) складається із *циліндра*, у якому пересувається *поршень*. Усередині поршня шарнірно закріплений *шатун*. Шатун з'єднаний із *колінчастим валом*, обертання якого забезпечує обертання тягових коліс транспортного засобу.

У верхній частині циліндра є два канали, закриті *клапанами*. Через *впускний канал пальна суміш* (суміш повітря з бензином або газом) надходить до циліндра; через *випускний канал* викидаються відпрацьовані гази. У деяких двигунів у верхній частині циліндра розміщено також *запальну свічку* — пристрій для запалювання пальної суміші за допомогою електричної іскри.

3. Чому двигун автомобіля є чотиритактним?

Робочий цикл двигуна внутрішнього згоряння з електричним запалюванням складається із чотирьох тактів.

I такт. **Усмоктування**
Поршень рухається вниз, у циліндрі падає тиск. Відкривається впускний клапан, і пальна суміш усмоктується в циліндр. Наприкінці I такту впускний клапан закривається.

II такт. **Стиснення**
Поршень рухається вгору і стискає пальну суміш. Коли поршень доходить до крайнього верхнього положення, проскакує іскра і пальна суміш займається. Обидва клапани закриті.

III такт. **Робочий хід**
Паливо горить, і розжарені гази штовхають поршень униз. Рух поршня передається шатуну, який штовхає колінчастий вал і примушує його обертатися, — розжарені гази виконують *корисну роботу*. Наприкінці III такту відкривається випускний клапан.

IV такт. **Випускання**
Поршень рухається вгору і через випускний канал виштовхує продукти згоряння в атмосферу. Наприкінці IV такту випускний клапан закривається. Випускання відпрацьованих газів супроводжується *передаванням деякої кількості теплоти довкіллю*.

Видавництво «Ранок»

Як і в будь-якому тепловому двигуні, у двигуні внутрішнього згоряння є *нагрівник* (пальна суміш, що горить), *робоче тіло* (розжарені гази), *холодильник* (довкілля).

За цикл гази штовхають поршень тільки один раз, тому для рівномірної роботи двигунів ставлять чотири, шість і більше циліндрів (рис. 25.3).

Рис. 25.3. Чотирициліндровий двигун внутрішнього згоряння

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...

Двигун внутрішнього згоряння з електричним запалюванням сконструював німецький винахідник *Ніколаус Отто* (1832–1891). **Дизельні двигуни** названі на честь його співвітчизника *Рудольфа Дізеля* (1858–1913). На відміну від двигунів, що використовують бензин, дизельні двигуни не мають запальних свічок, а запалення пальної суміші відбувається завдяки тому, що повітря всередині циліндра досягає дуже високої температури під час такту «стиснення».

Кажуть, що створити такий двигун спало на думку Рудольфу Дізелю, коли він накачував помпою шину велосипеда й помітив, що під час роботи помпа нагрівалася.

Однією з переваг дизельних двигунів є більш високий ККД. У бензинових двигунів ККД становить 20–25 %, а в дизельних — 40 %.

4. Які мінуси використання теплових двигунів?

З огляду на сполуки, які утворюються в результаті хімічних реакцій горіння палива, складається враження, що теплові машини близькі до досконалості, адже продукти реакції не забруднюють природу. Дійсно, вуглекислий газ (CO_2) входить до складу повітря, а вода (H_2O) наявна всюди навколо нас. Проте не можна занадто квапитися з висновками.

По-перше, практично всі види палива містять невелику кількість сірки, яка із часом перетворюється на шкідливу сульфатну кислоту.

По-друге, на більшості теплових станцій вугілля подається в топки в подрібненому вигляді. Ці частинки, згоряючи, перетворюються на попіл, і певна його кількість розлітається на місцевості.

По-третє, у вихлопних газах міститься значна частка отруйного чадного газу (CO).

Видавництво «Ранок»

І це далеко не вичерпний перелік шкідливих чинників!

Забруднення атмосфери — проблема для всього людства. Як боротися з негативними наслідками використання теплових двигунів?

Існує кілька основних напрямів:

1) *зменшення* (або принаймні збереження на стабільному рівні) *сумарної потужності теплових машин*;
2) *зменшення шкідливих викидів теплових електростанцій*. Для цього застосовують, зокрема, спеціальні фільтри;
3) *використання альтернативних джерел енергії*.

А ЯК НАСПРАВДІ?

— Незабаром бензоколонок узагалі не буде. На їхньому місці побудують парки й дитячі майданчики, — так заявляють прихильники електромобілів.

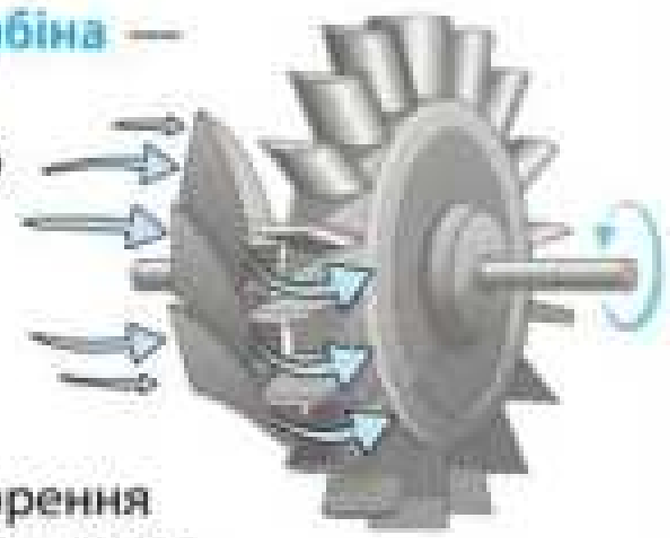
— Цього не може бути! — сперечаються з ними прихильники автомобілів із ДВЗ (двигунами внутрішнього згоряння). Доки є нафта й газ, людство користуватиметься звичайними автомобілями.

Хто, на вашу думку, має рацію?

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

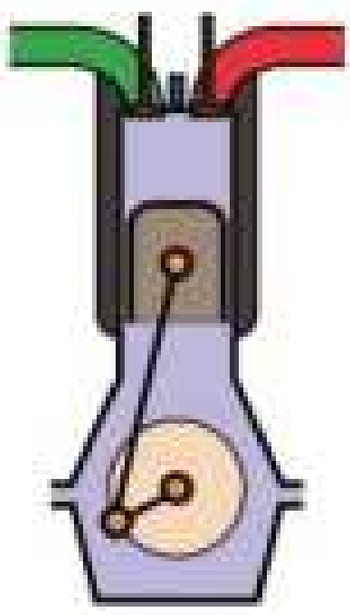
ВИДИ ТЕПЛОВИХ ДВИГУНІВ

Парова турбіна — *двигун зовнішнього згоряння*



Енергія палива йде на утворення водяної пари. Пара, розширюючись, спрямовується на лопаті турбіни й обертає її, виконуючи механічну роботу.

Парові турбіни встановлюють на теплових та атомних електростанціях.



Чотиритактний двигун внутрішнього згоряння

Паливо згоряє всередині циліндрів. Роботу виконують розпечені гази, які, розширюючись, штовхають поршень, рух якого через шатун передається колінчастому валу.

Робочий цикл має **чотири такти:**

- ✓ усмоктування;
- ✓ стиснення;
- ✓ робочий хід;
- ✓ випускання.

Видавництво «Ранок»

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Назвіть основні частини парової турбіни. 2. Опишіть, як працює парова турбіна. 3. Що в паровій турбіні є нагрівником? холодильником? робочим тілом? 4. Звідки походить назва двигуна внутрішнього згоряння? 5. Назвіть основні частини двигуна внутрішнього згоряння та їхнє призначення. 6. Які процеси відбуваються в чотиритактному двигуні внутрішнього згоряння під час кожного з чотирьох тактів? 7. Доведіть, що теплові двигуни завдають шкідливого впливу на довкілля, і запропонуйте способи розв'язання цієї проблеми.

ВПРАВА № 25

1. Які перетворення енергії відбуваються під час роботи парової турбіни?

2. ККД найкращих дизельних двигунів із системою турбонадуву з проміжним охолодженням сягає 54,5 %. Яка частина енергії, «запасеної» в паливі, що споживають ці двигуни, витрачається марно?

3. Чому температура пальної суміші в циліндрі дизельного двигуна під час стискання збільшується?

4. Чому в паровій турбіні температура відпрацьованої пари нижча від температури пари, яка надходить на лопаті турбіни?

5. Незважаючи на багато недоліків, теплові двигуни є найпоширенішими. Чому, на вашу думку, люди надають перевагу саме їм?

Ключові терміни

Парова турбіна • Чотиритактний двигун внутрішнього згоряння • Запальна свічка • Робочій хід

ФІЗИКА І ТЕХНІКА В УКРАЇНІ

Виробниче об'єднання «Південмаш» і конструкторське бюро «Південне» (Дніпро)

На початку 50-х рр. минулого століття великий автомобільний завод у Дніпропетровську було переобладнано на завод із виробництва космічних ракет, а також створено конструкторське бюро (КБ) для їхньої розробки. Від того часу КБ «Південне» та завод «Південмаш» багато років визначали світовий рівень основних напрямів і досягнень у ракетно-космічній галузі.

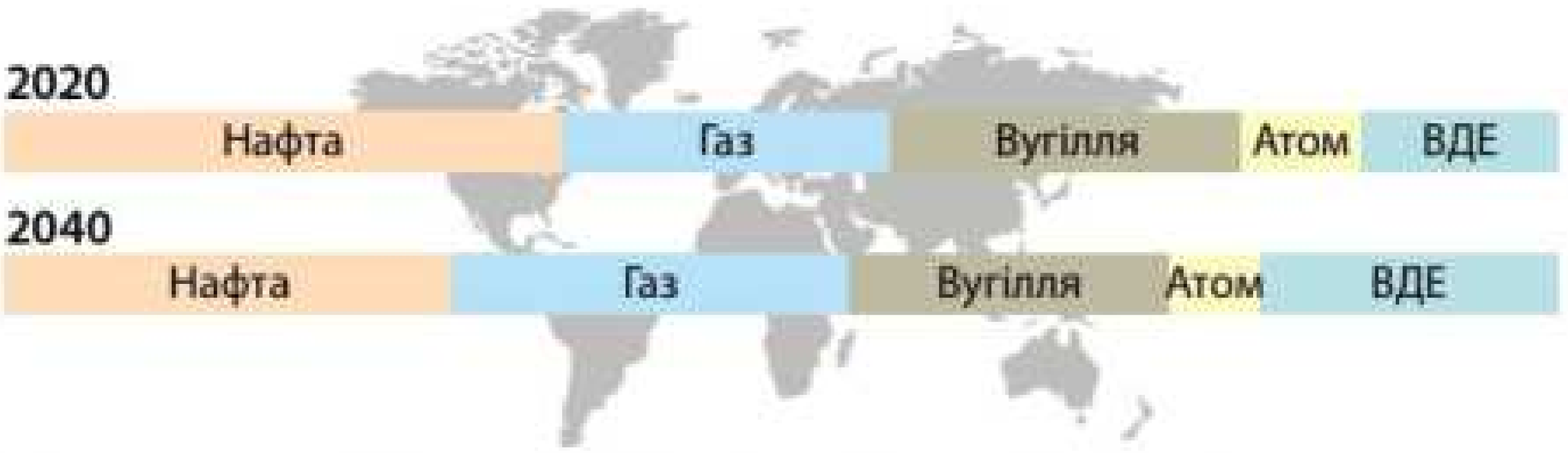
У КБ «Південне» було розроблено 67 типів космічних апаратів і 12 космічних комплексів. КБ «Південне» і «Південмаш» створили комплекс «Зеніт» — один із найдосконаліших у світовій ракетно-космічній техніці.

Видавництво «Ранок»

mk.com.ua/
110499

§ 26. ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКА. СПОСОБИ ЗБЕРЕЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Життєдіяльність сучасної людини на кожному кроці потребує споживання енергії. Проаналізуйте прогноз використання енергетичних ресурсів, наданий Міжнародним енергетичним агенством (МЕА). Чому, на вашу думку, відсоток енергії, яку людство отримує від вуглеводів, буде поступово, хоча й незначно, знижуватися? Чому відсоток відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) швидко зростатиме? Наведіть кілька прикладів відновлюваних джерел енергії.



1. Якою є роль теплоенергетики в житті людини?

Протягом тисячоліть паливо було практично єдиним джерелом енергії для людства, інші джерела (вітер і вода) посідали незначне місце.

У XX ст. *альтернативні* джерела енергії стали відігравати помітну роль в енергетиці. Прикладами таких джерел є *гідроелектростанції* (рис. 26.1), *атомні електростанції*, *вітрогенератори*, *сонячні батареї*.

Альтернативні джерела енергії, розроблення й створення яких потребує значних витрат, виникли не випадково. Адже саме у XX ст. різко зросло використання теплових машин. Ідеться насамперед про автомобілі та решту транспортних засобів, які використовують як джерело енергії продукти переробки *нафти* (бензин і дизельне паливо). Крім того, газ, нафту, *вугілля* застосовують для вироблення електроенергії на теплових електростанціях.

А для чого використовують природний газ і вугілля в домашньому господарстві? Чи використовують у домашньому господарстві продукти перероблення нафти?

Запаси викопних ресурсів обмежені. Приблизно за 100 років мільйони автомобілів «з'їли» значну кількість світових запасів нафти. Існує думка, що запаси природного газу вичерпаються протягом десь 40 років; розвіданих запасів вугілля вистачить на кількасот років споживання.

До того ж для спалювання вугілля, нафти та газу потрібна велика кількість кисню. Так, щоб спалити 1 кг вугілля, необхідно 2,7 кг кисню, 1 кг нафти — 3,4 кг, 1 кг природного газу (метану) — 4 кг.

Рис. 26.1. Гідроелектростанція (ДніпроГЕС, вигляд до 2022 р.)

2. Як подолати «енергетичний голод»?

На сьогодні пропонують *три основні напрями розв'язання проблеми майбутнього «енергетичного голоду».*

1. *Економія наявних викопних ресурсів.* Ідеться про використання нових технічних рішень — *енергозбережувальних технологій.*

2. *Поступова заміна палива з викопних ресурсів на паливо, одержуване з рослин.* Зараз уже використовують два типи технологій: видобування замінників бензину з рослин, що містять цукор, та перероблення на дизельне паливо олії, одержуваної з деяких рослин (наприклад, ріпаку).

3. *Використання альтернативних джерел енергії.* Насамперед ідеться про *сонячну* та *ядерну* енергії.

А ЯК НАСПРАВДІ?

На уроці виникла дискусія між прихильниками сонячної та ядерної енергетики. Хто, на вашу думку, має рацію?

— Сонячна енергія є доступною, екологічно чистою, для її виробництва не потрібно жодних корисних копалин, — наводили свої аргументи прихильники сонячної енергетики. — До того ж вартість сонячних батарей поступово знижується.

— Слушно, але потужність сонячних батарей є малою. Її не вистачить навіть для живлення багатоповерхового будинку, не кажучи вже про промисловість, — спростовували наведені аргументи прихильники ядерної енергетики. — А от атомні електростанції є надзвичайно потужними. Недарма в багатьох країнах (Франція, Україна, США) цей вид виробництва електричної енергії є одним із провідних.

Видавництво «Ранок»

3. Знайомимося з енергозбережувальними технологіями

Сучасні принципи енергозбереження полягають у *комплексному використанні* кількох технологій.

Розглянемо звичайну квартиру. Найбільша кількість енергії, що надходить до неї, — це енергія, необхідна для обігрівання. Заміна традиційних вікон на склопакети, утеплення дверей, нанесення спеціального теплозахисного покриття на зовнішні стіни будинку дозволяють зекономити тепло, яке зазвичай втрачається на «обігрів довкілля».

Часто гаряча вода надходить до будинків від котелень, які розташовані на відстані в декілька кілометрів. Такий довгий шлях призводить до великих втрат тепла. Якщо ж електричний або газовий котел установити у квартирі, то цей шлях складатиме лише кілька метрів.

Поміркуйте, які ще є способи економії в домівках.

Для економії електричної енергії потрібно застосовувати економічні лампи та електричні прилади з високим ККД.

Ми навели простий приклад комплексного підходу до енергозберігання в помешканнях. Аналогічні принципи, тільки зі значно більшим кількісним ефектом, успішно застосовують для виробничих процесів.

4. Як впливає теплоенергетика на природу?

Доки теплові станції не мали великої потужності, а автомобілів було небагато, шкідливість теплових машин не дуже турбувала людство. Проблема стала актуальною в другій половині XX ст., коли з'явилися кислотні дощі, спричинені викидами електростанцій, люди почали задихатися в автомобільних заторах, вдихаючи отруйний чадний газ тощо.

Учені пропонують різні технічні вирішення цих проблем. Як приклад наведемо кілька рішень щодо *зменшення викидів бензинових двигунів*:

- видалення зі складу бензину отруйних сполук свинцю;
- створення екологічно чистих електромобілів (рис. 26.2);
- використання гібридних автомобілів, оснащених двома двигунами — електричним і бензиновим: екологічно чистий електричний двигун використовувати в місті, бензиновий — за містом.

Для людства існує ще одна велика проблема. Річ у тім, що під час роботи теплових машин виділяється вуглекислий газ (CO_2). За оцінками

Рис. 26.2. Зовні електричні автомобілі не відрізняються від своїх «бензинових братів»

Видавництво «Ранок»

вчених, за 200 років інтенсивної роботи теплових машин в атмосферу було викинуто близько одного трильйона (10^{12}) тонн CO_2. Ця величезна кількість вуглекислого газу спричинила *парниковий ефект* — підвищення температури поверхні Землі. Чому так сталося?

Сонце, як ви знаєте, не тільки освітлює, але й обігріває Землю. Ще сто років тому одержуване Землею тепло практично повністю випромінювалося (поверталося) у космос. Після того як у верхніх шарах атмосфери накопичилася значна кількість вуглекислого газу, цей газ став своєрідним «дзеркалом» для випромінювання з поверхні Землі. У результаті частина енергії затримується в атмосфері й нагріває її.

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...

У 1997 р. в м. Кіото (Японія) уряди багатьох країн підписали так званий Кіотський протокол. Згідно із цим документом для кожної країни світу визначено максимальний об'єм викидів CO_2 (від промислових і побутових джерел разом). Якщо цей об'єм перевищено, то країна-порушник сплачує певну суму штрафу, яку потім використовують для зниження рівня викидів. У 2015 р. Кіотський протокол був доповнений Паризькою угодою, в якій окреслено подальші перспективи обмеження викидів.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які джерела енергії здавна використовує людство? 2. Які існують типи альтернативних джерел енергії? 3. Яка причина безповоротного зменшення викопних ресурсів? 4. Перелічіть основні напрями подолання енергетичної кризи. 5. Наведіть приклади енергозбережувальних технологій. 6. Як впливають теплові джерела енергії на навколишнє середовище? 7. Що таке Кіотський протокол?

ВПРАВА № 26

1. Основним джерелом енергії на Землі є Сонце. Дізнайтеся, де зараз використовують сонячну енергію і де її планують використати.
2. Дізнайтеся про перспективи розвитку альтернативної енергетики України.

Ключові терміни

Викопні ресурси • Альтернативні джерела енергії • Енергозбережувальні технології • Парниковий ефект • Кіотський протокол

Видавництво «Ранок»

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ РОЗДІЛУ 2

1. Ви ознайомилися з такими фундаментальними поняттями фізики, як *температура* та *внутрішня енергія*.

Температура — це фізична величина, яка характеризує стан теплової рівноваги системи тіл; міра середньої кінетичної енергії хаотичного руху частинок речовини, із яких складається тіло	**Внутрішня енергія** — це сума кінетичних енергій теплового руху частинок, із яких складається тіло, і потенціальних енергій їхньої взаємодії

2. Ви довідалися про *два способи зміни внутрішньої енергії*.

СПОСОБИ ЗМІНИ ВНУТРІШНЬОЇ ЕНЕРГІЇ

Виконання роботи	Теплопередача
• Якщо над тілом виконують роботу, внутрішня енергія тіла збільшується • Якщо тіло виконує роботу, внутрішня енергія тіла зменшується	• Енергія самовільно передається від тіла з більшою температурою до тіла з меншою температурою • Якщо температури тіл є рівними, то теплообмін не відбувається

Теплопровідність	Конвекція	Випромінювання
Енергія передається через речовину, але без перенесення речовини	Енергія передається потоками рідини або газу	Енергія передається електромагнітними хвилями

3. Ви довідалися, що зміну внутрішньої енергії в процесі теплопередачі характеризує фізична величина *кількість теплоти* Q та дізналися, що кількість теплоти, яку віддає тіло під час охолодження або одержує під час нагрівання, можна визначити за формулою: $Q = cm\Delta t$, де c — питома теплоємність речовини; m — маса речовини; Δt — зміна температури.

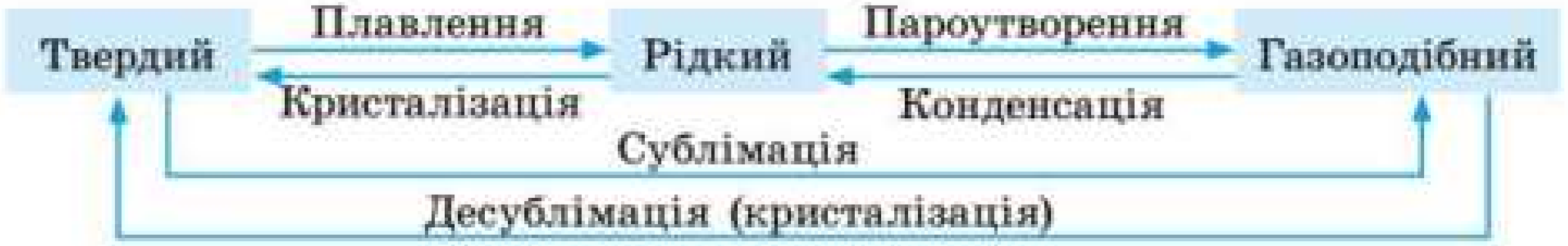
4. Ви дізналися про *рівняння теплового балансу*, яке відтворює *закон перетворення та збереження енергії* під час теплообміну.

РІВНЯННЯ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСУ

У системі тіл, у якій внутрішня енергія тіл змінюється тільки внаслідок теплопередачі, загальна кількість теплоти, відданої одними тілами системи, дорівнює загальній кількості теплоти, одержаної іншими тілами цієї системи: $Q_1^- + Q_2^- + \ldots + Q_n^- = Q_1^+ + Q_2^+ + \ldots + Q_k^+$

Видавництво «Ранок»

5. Ви дізналися про теплові процеси *зміни агрегатного стану речовини* та з'ясували, *які фізичні величини характеризують теплові властивості речовини*, що виявляються в цих процесах.



Фізична величина	Символ для позначення	Одиниця в СІ	Формула для визначення
Питома теплота плавлення	λ	$\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	$\lambda = \frac{Q}{m}$
Питома теплота пароутворення	r	$\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	$r = \frac{Q}{m}$

6. Ви переконалися, що в процесі згоряння палива *виділяється енергія*, і довідалися, що ця енергія *використовується в роботі* як різних нагрівальних пристроїв, так і теплових двигунів.

ПРИНЦИП ДІЇ ТЕПЛОВИХ МАШИН

7. Ви довідалися про *фізичні величини, які характеризують паливо, нагрівальні пристрої, теплові двигуни.*

Фізична величина	Символ для позначення	Одиниця	Формула для визначення
Питома теплота згоряння палива	q	$\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	$q = \frac{Q}{m}$
ККД нагрівника	η	%	$\eta = \frac{Q_{\text{кор}}}{Q_{\text{повна}}} \cdot 100\%$
ККД теплового двигуна	η	%	$\eta = \frac{A_{\text{кор}}}{Q_{\text{повна}}} \cdot 100\%$

Видавництво «Ранок»

ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ ДО РОЗДІЛУ 2

mk.com.ua/110491

Температура. Внутрішня енергія. Теплопередача

Група результатів 1. Проводимо дослідження природи

1. *(2 бали)* Учень подивився у вікно на проводи ліній електропередачі та зазначив, що вчора проводи ледь провисали, а сьогодні вони натягнуті. Хлопець зробив висновок, що сьогодні температура повітря:
а) знизилась; б) підвищилась; в) майже не змінилась.

2. *(2 бали)* Учениця намагається довести, що тіла з темною поверхнею краще поглинають енергію. Виберіть із поданого переліку все, що знадобиться дівчині.
а) вода; б) нагріте тіло;
в) теплоприймач; г) рідинний манометр;

Рис. 1

3. *(3 бали)* За даними рис. 1 обчисліть кількість теплоти, яка необхідна для нагрівання зображеного сталевого циліндра від 0 до 12 °С.

4. *(5 балів)* Якою була початкова температура латунного циліндра (рис. 2), якщо після його занурення вода в мензурці охолонула від 37 до 20 °С? Втратами енергії знехтуйте.

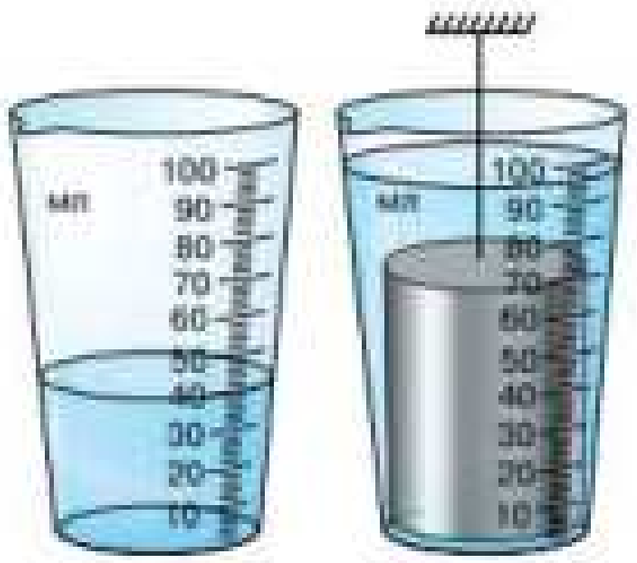


Рис. 2

Група результатів 2. Здійснюємо пошук та опрацьовуємо інформацію

5. *(3 бали)* Про що можна стверджувати, розглядаючи гальмівний слід, який залишив автомобіль (рис. 3)? Зазначте всі правильні твердження.
а) гальма автомобіля справні;
б) перед гальмуванням автомобіль рухався досить швидко;
в) механічна енергія автомобіля перетворилася на внутрішню;
г) внутрішня енергія шин зменшилася внаслідок виконання роботи.

Рис. 3

6. *(3 бали)* Що спільне між теплопровідністю та випромінюванням? Зазначте всі правильні твердження.
а) енергія передається від більш нагрітого тіла до більш холодного;
б) не відбувається перенесення речовини;
в) енергія може передаватися у вакуумі;
г) енергія передається окремими молекулами.

Видавництво «Ранок»

7. *(3 бали)* Коли речовина масою 100 г передала довкіллю 750 Дж теплоти, її температура знизилася на 15 °С. Яка це речовина? а) алюміній; б) залізо; в) сталь; г) срібло.

8. *(3 бали)* На рис. 4 подано графік залежності температури тіла масою 1 кг від кількості переданої цьому тілу теплоти. Скориставшись графіком, визначте речовину, з якої виготовлено тіло.

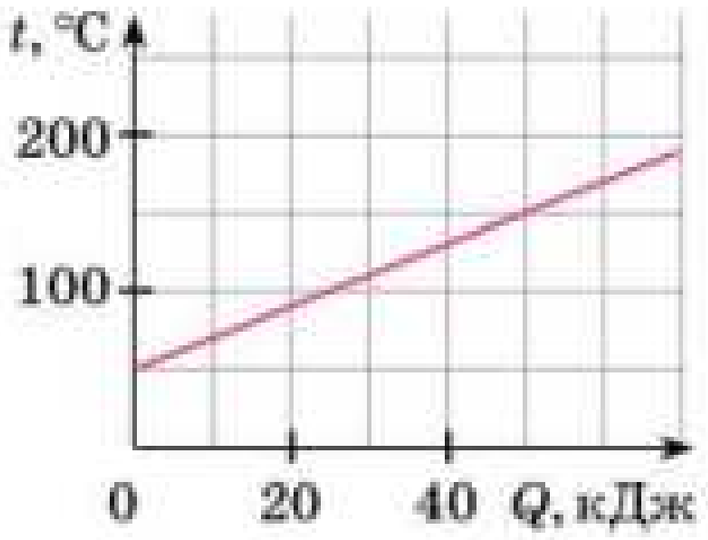
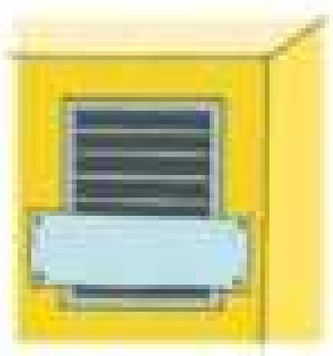


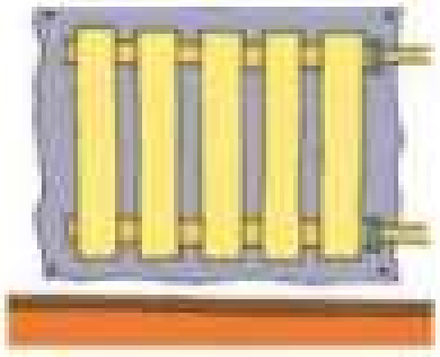
Рис. 4

Група результатів 3. Усвідомлюємо закономірності природи

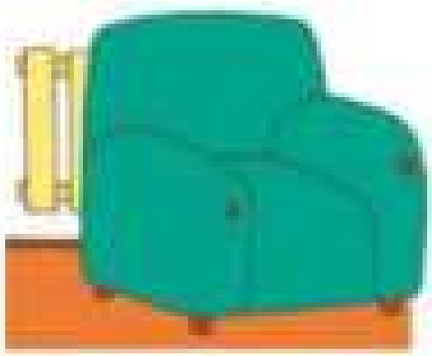
9. *(2 бали)* Які з наведених дій приведуть до теплозбереження?



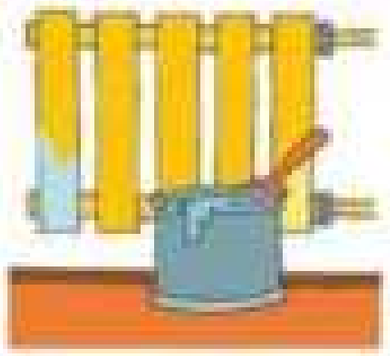
а) прикриття вентиляційної решітки



б) розміщення відбивального екрана



в) закриття радіатора меблями



г) фарбування радіатора у світлий колір

10. *(3 бали)* Спекотного літнього дня хлопець і дівчина одягнені в бавовняний одяг (рис. 5). Чому дівчина почувається комфортніше?

11. *(3 бали)* Одна людина перебуває на Крайній Півночі, друга — в пустелі. Обидві одягнені «тепло» (рис. 6). Поясніть чому.

Рис. 5

Рис. 6

12. *(4 бали)* За температури навколишнього середовища 20 °С кожен кілограм тіла людини за 1 с випромінює в середньому 1,6 Дж теплоти. На скільки градусів можна нагріти 1 л води, якщо передати воді теплоту, яку виділяє учениця масою 49 кг за урок (45 хв)?

Звірте ваші відповіді з наведеними в кінці підручника. Позначте завдання, які ви виконали правильно, і полічіть суму балів окремо за кожною групою результатів. Одержаний результат відповідатиме рівню ваших навчальних досягнень.

Видавництво «Ранок»

Зміна агрегатного стану речовини. Теплові двигуни

mk.com.ua/110500

Група результатів 1. Проводимо дослідження природи

1. *(2 бали)* Учень спостерігав за кипінням різних рідин (рис. 1) та вимірював їхні температури. Виберіть усе, що учень мав помітити.
   а) під час кипіння утворюється величезна кількість бульбашок;
   б) температура кипіння різних рідин є однаковою;
   в) у ході кипіння температура рідини залишається незмінною;
   г) маса рідини внаслідок кипіння із часом зменшується.

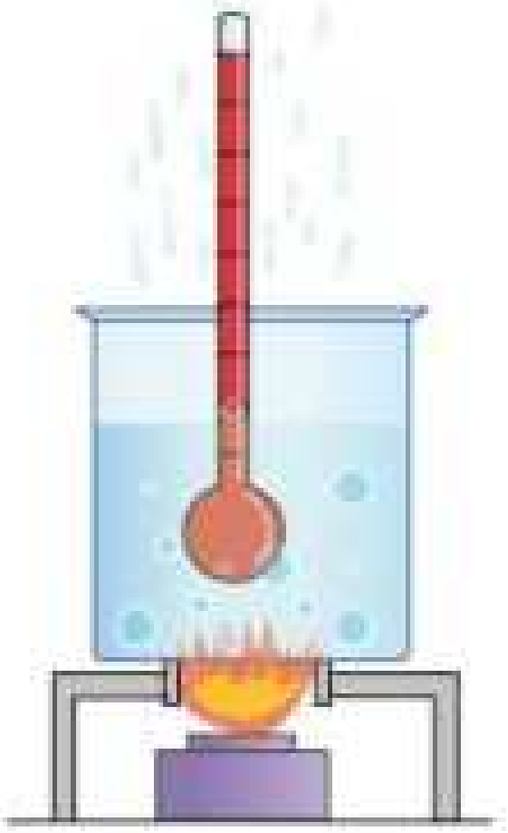


Рис. 1

2. *(2 бали)* Учениця намагається визначити питому теплоту плавлення льоду. Виберіть усі прилади, які знадобляться дівчині.
   а) мензурка; б) термометр; в) динамометр; г) ваги.

3. *(3 бали)* Учителька взяла дві посудини, що з'єднані гумовою трубкою, міцно затиснутою посередині затискачем. В одну посудину вчителька додала невелику кількість кислоти, в іншу поклала клаптик лакмусового паперу. Потім герметично закрила посудини та прибрала затискач. Папір почав повільно зафарбовуватися в червоний колір. Яку властивість газів доводить цей дослід?

4. *(5 балів)* Воду з мірного циліндра (рис. 2) перелили в посудину й випарили за допомогою спиртівки. Визначте питому теплоту згоряння спирту, якщо було спалено 15 г спирту. Тепловими втратами знехтуйте.

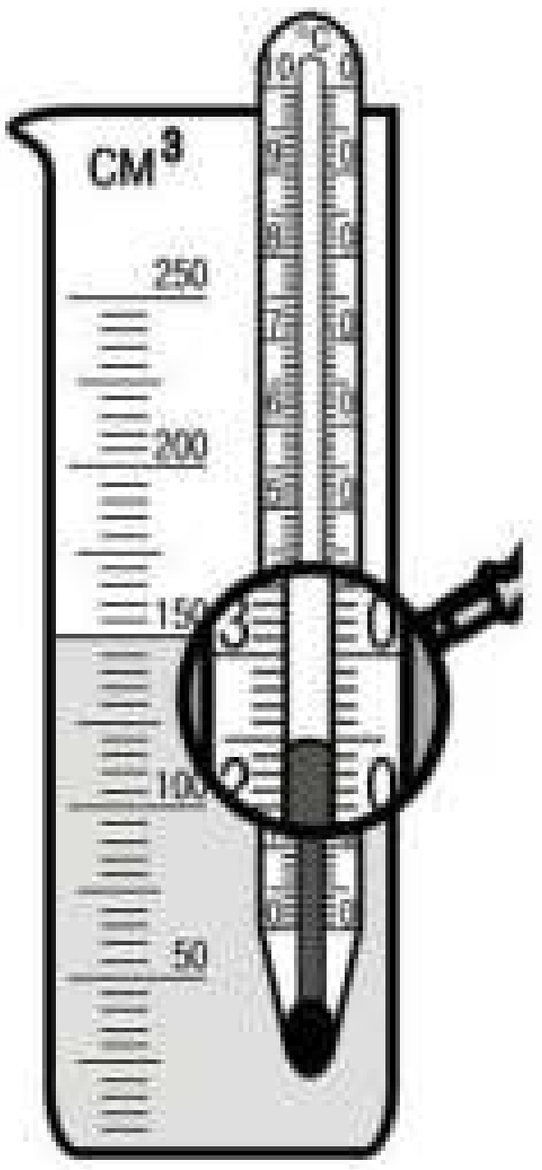


Рис. 2

Група результатів 2. Здійснюємо пошук та опрацьовуємо інформацію

5. *(1 бал)* Яка з речовин за кімнатної температури зберігає об'єм, але не зберігає форму?
   а) сталь; б) кисень; в) гелій; г) ртуть.

6. *(2 бали)* Яку речовину можна розплавити в посудині зі свинцю?
   а) залізо; б) мідь; в) олово; г) вольфрам.

7. *(3 бали)* Нормальна температура в пахвах людини дорівнює 36,8 °С, а в легенях — 32 °С. Чим зумовлена нижча температура в легенях?

Видавництво «Ранок»

8. *(2 бали)* Учні проводили дослідження залежності температури деякої рідини від часу її нагрівання. Результати дослідження подали у вигляді графіка (рис. 3). Визначте досліджувану рідину.
а) вода; в) ефір; б) олія; г) спирт.

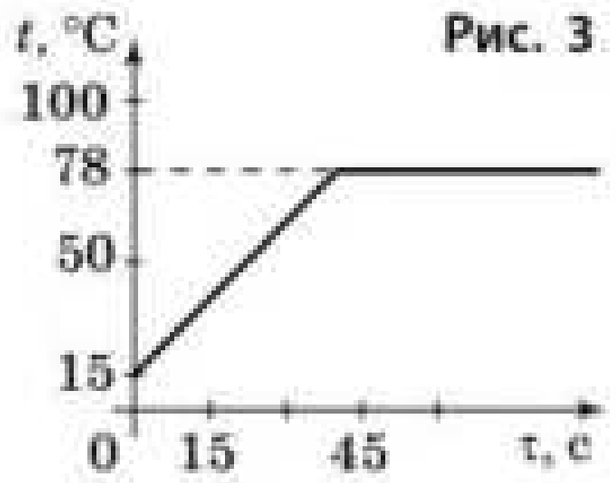


Рис. 3

9. *(4 бали)* Користуючись графіком залежності температури ртуті від часу спостереження (рис. 4), дайте відповіді на запитання.
а) Якому агрегатному стану ртуті відповідає точка *B* графіка?
б) У якому агрегатному стані перебувала ртуть за температури −50 °С?
в) Якому тепловому процесу відповідає ділянка *AB* графіка?
г) Як змінювалася внутрішня енергія ртуті в ході процесу, якому відповідає ділянка *BC* графіка?

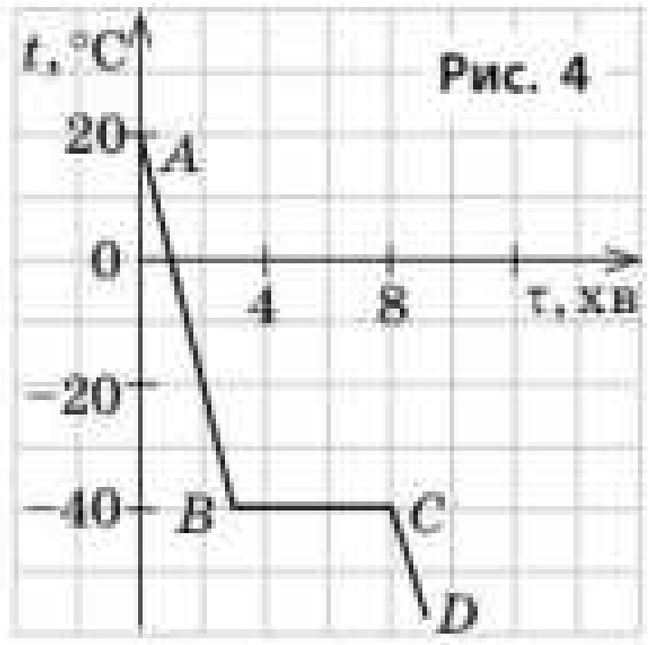


Рис. 4

Група результатів 3. Усвідомлюємо закономірності природи

10. *(2 бали)* Установіть відповідність між явищем (1–3) і чинником (А–Г), від якого залежить швидкість випаровування рідини.

1 Улітку калюжі висихають швидше, ніж узимку	А Вид рідини
2 За вітряної погоди білизна висихає швидше	Б Температура рідини
3 У спеку собака висовує язик	В Площа вільної поверхні рідини
	Г Рух повітря біля поверхні рідини

11. *(2 бали)* Яку кількість теплоти необхідно витратити для плавлення 5 кг алюмінію, взятого за температури плавлення?
а) 3 кДж; б) 607 кДж; в) 1965 кДж; г) 3036 кДж.

12. *(2 бали)* Ефір масою 20 г за температури 15 °С повністю випарувався. Яку кількість теплоти поглинув ефір під час цього процесу?

13. *(2 бали)* Чому температура пальної суміші в циліндрі двигуна під час стиснення збільшується, а під час робочого ходу — зменшується?

14. *(4 бали)* Автомобіль, рухаючись із середньою швидкістю 144 км/год, витратив 8 кг дизельного палива на 100 км шляху. Визначте середню силу тяги двигуна автомобіля, якщо його ККД 30 %.

Звірте ваші відповіді з наведеними в кінці підручника. Позначте завдання, які ви виконали правильно, і полічіть суму балів окремо за кожною групою результатів. Одержаний результат відповідатиме рівню ваших навчальних досягнень.

ТЕМИ ПОВІДОМЛЕНЬ

1. Адаптація рослин до високих температур.
2. Конвекція в природі.
3. Способи зберігання тепла в приміщеннях.
4. «Дива кулінарії» та закони фізики.
5. Теплове випромінювання тіла людини.
6. Побутові пристрої, які працюють завдяки енергії сонячного випромінювання.
7. Випаровування і конденсація в живій природі.
8. Застосування випаровування і конденсації в техніці.
9. Як, коли і чому відбуваються такі природні явища: дощ, туман, сніг, роса, град.
10. Чому «плачуть» вікна?
11. Рідкі кристали, їхні особливості та використання.
12. Нанотехнології в медицині та косметології: «за» і «проти».
13. Внесок українських учених у розвиток нанотехнологій.
14. Вплив теплових двигунів на навколишнє середовище.
15. Глобальне потепління — загроза людству?
16. Альтернативні джерела енергії.

ТЕМИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Вивчення теплопровідності різних матеріалів.
2. Утворення тяги та способи її збільшення.
3. Виготовлення пристроїв, які працюють завдяки теплообміну.
4. Вирощування кристалів із різних видів солей.
5. Дослідження кипіння води та залежності зміни температури кипіння води від зовнішнього тиску й наявності домішок.
6. Створення «холодильників», які не використовують електроенергію.
7. Створення двигуна, який використовує енергію свічки.

ТЕМИ НАВЧАЛЬНИХ ПРОЄКТІВ

1. Унікальні фізичні властивості води.
2. Технічні пристрої та технології, створені з використанням різних видів теплопередачі.
3. Екологічні проблеми теплоенергетики та тепловикористання.
4. Енергозбережувальні технології.
5. Рідкі кристали та їх використання.
6. Холодильні машини. Кондиціонери, теплові помпи.

РОЗДІЛ 3

ЕЛЕКТРИЧНІ ЯВИЩА. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ

Ви бачили, що наелектризоване волосся притягується до гребінця, а тепер з'ясуєте, чому та коли це відбувається

Ви знаєте про існування електричного струму, а тепер довідаєтеся, за яких умов він може існувати

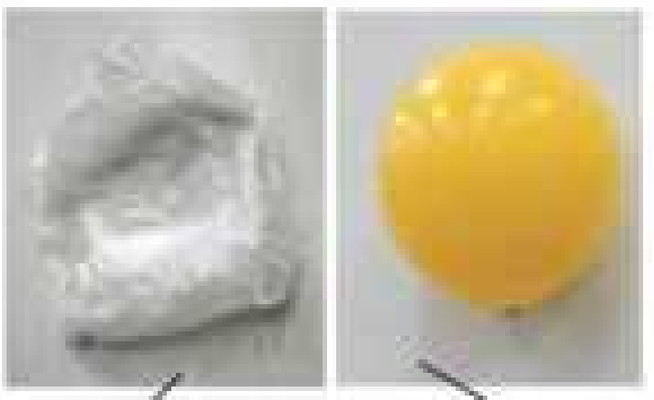
Ви щодня споживаєте електричну енергію, а тепер навчитеся розраховувати її кількість і вартість

Видавництво «Ранок»

mk.com.ua/
110501

§ 27. ЕЛЕКТРИЧНИЙ ЗАРЯД. ЗАКОН ЗБЕРЕЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ЗАРЯДУ

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. На фото показано результати дослідів, які легко відтворити самостійно без використання клею або скотчу. У який спосіб це можна зробити? Чи пов'язані між собою явище, що продемонстровано на заставці до параграфа, і явища, що спостерігаються в дослідах?



Стіна Стеля

1. Чому в суху погоду волосся стає неслухняним під час розчісування пластмасовим гребінцем?

Відтворіть досліди*, про які йшлося в питанні для обговорення. Виконайте ще декілька дослідів (рис. 27.1).

Help Для того щоб кулька або пакет поводили себе так, як демонструється в дослідах, ці предмети необхідно потерти об стіну або, наприклад, вовняним шарфом.

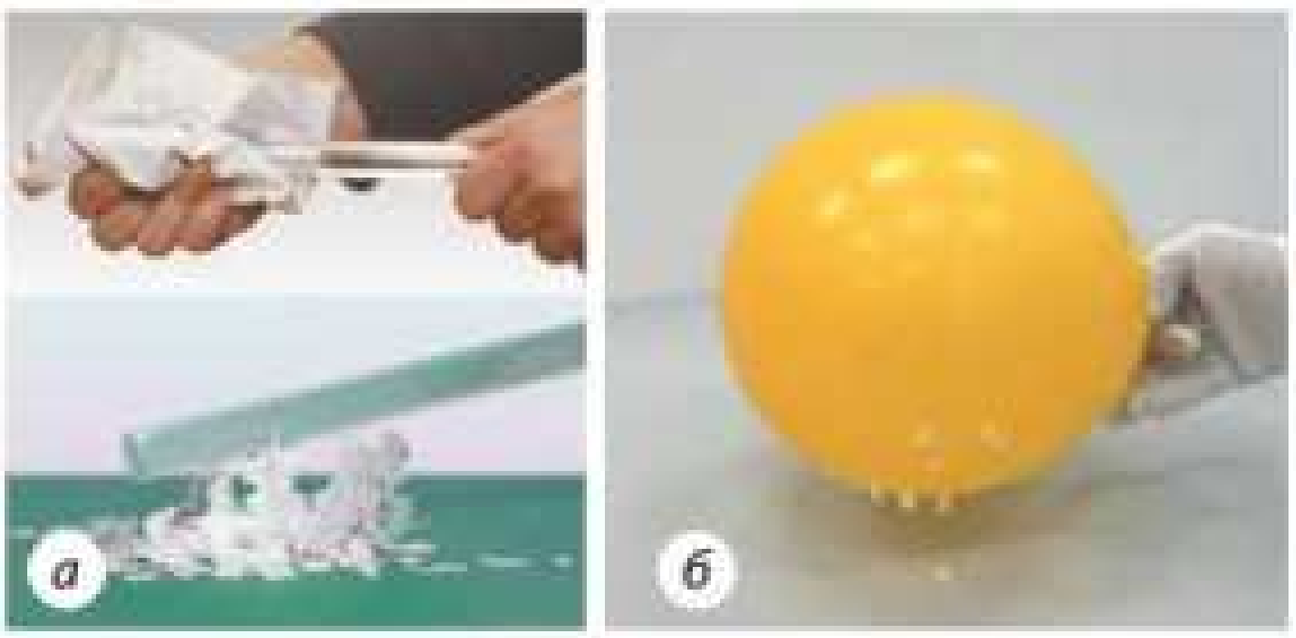


Рис. 27.1. Після тертя аркушем паперу паличка з оргскла** починає притягувати до себе клаптики паперу (*а*); так само поводить себе повітряна кулька, яку перед тим потерли вовною або аркушем паперу (*б*)

* Досліди цього розділу краще проводити в суху погоду або в приміщенні з увімкненими радіаторами.

** Паличку з оргскла можна замінити на учнівську лінійку або гребінець із пластмаси.

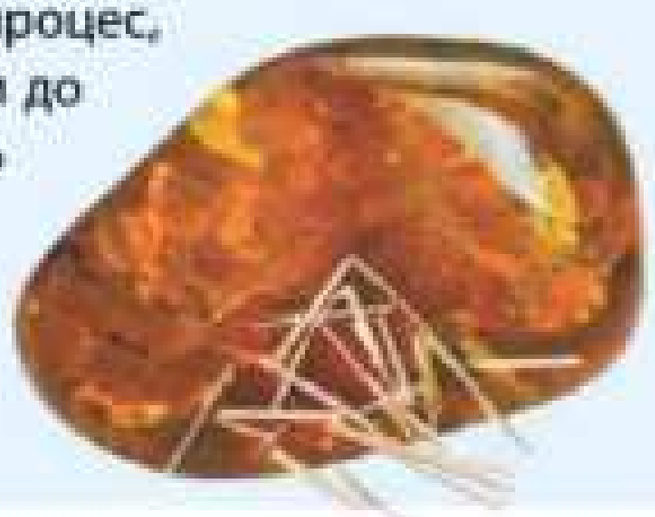
Видавництво «Ранок»

Сподіваємося, що ви переконалися: деякі тіла після тертя набувають властивості притягувати інші тіла. Це відбувається тому, що під час тертя тіла *електризуються* і починають вступати в *електромагнітну взаємодію*.

У побуті ми частенько потерпаємо від електризації. Волосся під час розчісування, так само як і ваше тіло під час ходьби по килиму із синтетичних матеріалів або ваш светр із синтетичних волокон, коли ви його знімаєте, електризується.

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...

Понад двадцять п'ять сторіч тому давньогрецький філософ, математик, дослідник природи Фалес (бл. 625 — бл. 547 до н. е.) із міста Мілета натирав хутром шматок бурштину і спостерігав, як після цього бурштин починав притягувати до себе пір'я птахів, пух, соломинки, сухе листя. Саме від грецької назви бурштину — електрон — процес, у результаті якого тіла набувають властивості притягувати до себе інші тіла, назвали *електризацією*, а тіла, що мають цю властивість, — *наелектризованими*.



2. Що називають електричним зарядом?

Щоб мати можливість кількісно визначати інтенсивність електромагнітної взаємодії, було введено фізичну величину — *електричний заряд*.

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

Електричний заряд позначають символом q. *Одиниця електричного заряду в СІ* — **кулон** (названа на честь французького фізика *Шарля Кулона*):

$$[q] = \text{Кл}.$$

Ця одиниця похідна від основних одиниць СІ (визначення кулона подано в § 35).

1 Кл — це дуже великий заряд. Зазвичай у побуті ми маємо справу із зарядами, які менші в мільйон або мільярд разів.

Про наелектризоване тіло говорять, що *тілу надано електричний заряд* — *тіло заряджене*. Процес набуття макроскопічними тілами електричного заряду називають *електризацією*.

Видавництво «Ранок»

3. Які властивості має електричний заряд?

1. Існують *два роди електричних зарядів* — **позитивні** і **негативні**.

Дізнатися, якого заряду набуде деяка речовина під час тертя, можна за допомогою трибоелектричного ряду (рис. 27.2). Коли дві речовини перебувають у контакті, та з них, назва якої розташована вище в переліку, набуває позитивного заряду, а та, назва якої нижче, — негативного.

2. Тіла, що мають *заряди одного знака, відштовхуються;* тіла, що мають *заряди протилежних знаків, притягуються* (рис. 27.3).

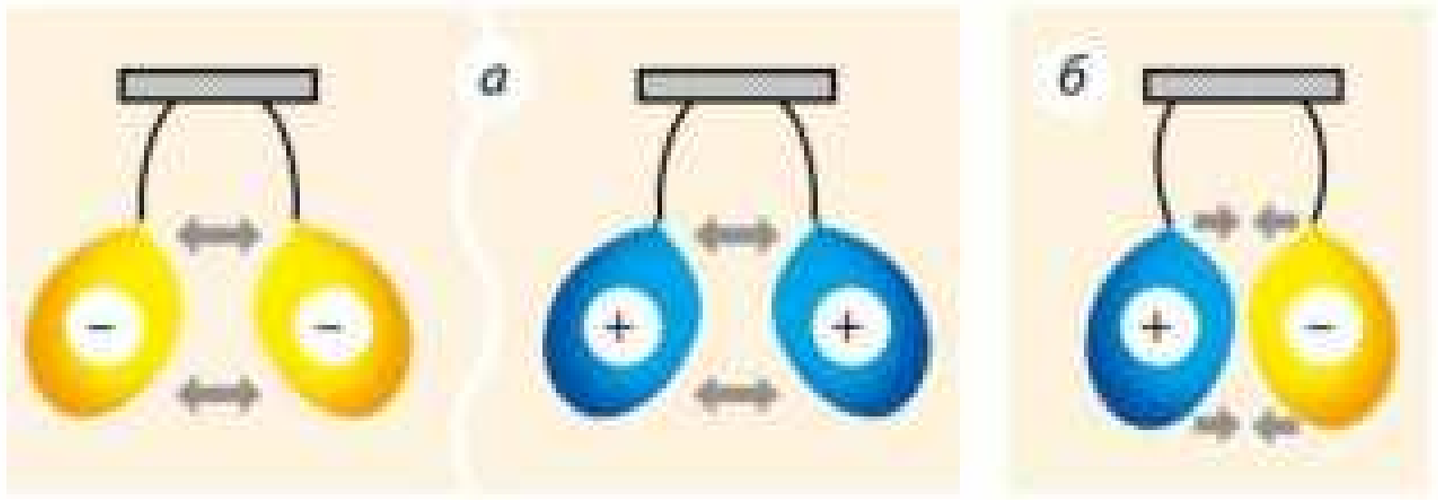


Рис. 27.3. Однойменно заряджені кульки відштовхуються (*а*); різнойменно заряджені — притягуються (*б*)

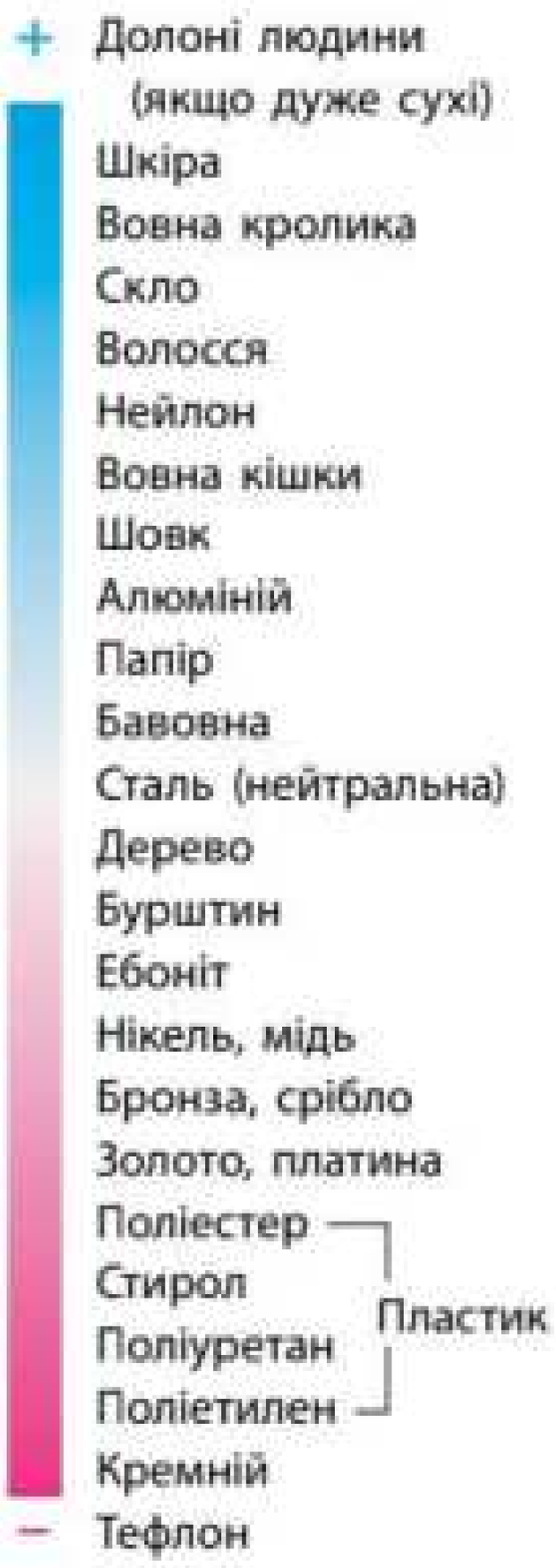


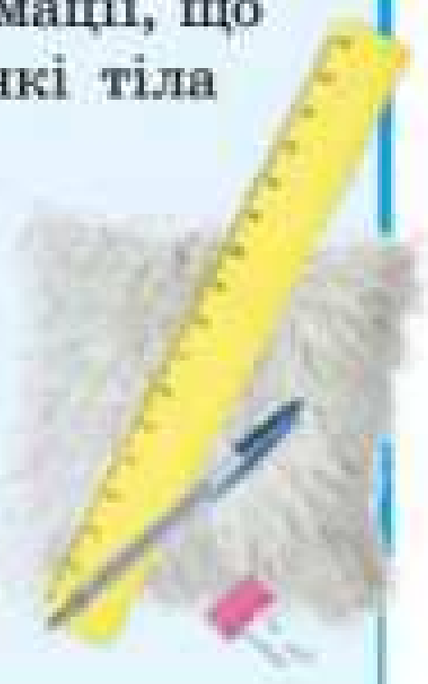
Рис. 27.2. Ті речовини, назви яких ближче до «+», під час тертя набуватимуть позитивного заряду, а ті, назви яких ближче до «−», — негативного заряду. Чим далі одна від одної розташовані назви речовин, тим більшого заряду вони набуватимуть під час тертя

ДОСЛІДЖЕННЯ

Що знадобиться: пластикова лінійка, шматок вовни (хутра), невеликий біндер, нитка і тіла з деяких речовин, що зазначені на рис. 27.2 (пластикова ручка, склянка, соломинка для коктейлю, пластиковий пакет, аркуш паперу тощо).

За допомогою нитки підвісьте біндер, наприклад, до спинки стільця. Наелектризуйте лінійку тертям об шматок вовни і прикріпіть за середину до біндеру. Ваше завдання — з'ясувати, як буде взаємодіяти (притягатися чи відштовхуватися) лінійка, що має негативний заряд, з іншими зарядженими тілами.

Для цього за допомогою інформації, що надана на рис. 27.2, визначте, які тіла будуть набувати позитивного заряду, а які — негативного. Електризуйте тіла, підносьте по черзі до одного з країв лінійки і спостерігайте за її поведінкою. Зробіть висновок щодо взаємодії різнойменно та однойменно заряджених тіл.



3. Носієм електричного заряду є частинка — *електричний заряд не існує окремо від частинки*. Під час електризації тіло приймає або віддає деяку кількість частинок, що мають електричний заряд*. Однією з негативно заряджених частинок є *електрон*, а однією з позитивно заряджених — *протон* (рис. 27.4). *Зазвичай під час електризації тіло приймає або віддає деяку кількість електронів.*

4. *Електричний заряд є дискретним, тобто електричні заряди фізичних тіл кратні певному найменшому (елементарному) заряду:*

$$|q| = N|e|,$$

де q — заряд фізичного тіла; N — натуральне число; e — елементарний заряд.

Носієм елементарного негативного заряду є електрон. Цей заряд позначають символом e, а значення записують так: $e = -1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл**.

Носієм елементарного позитивного заряду є протон. Заряд протона за модулем дорівнює заряду електрона: $q_p = +1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Рис. 27.4. Електрони і протони разом з електронейтральними нейтронами є складовими атомів, з яких побудовані речовини

Як ви вважаєте, чи може фізичне тіло мати заряд $0{,}5e$? $-17{,}7e$? $198e$?

5. Для електрично замкненої системи тіл виконується **закон збереження електричного заряду.**

Повний заряд електрично замкненої системи тіл залишається незмінним під час усіх взаємодій, які відбуваються в цій системі:

$$q_1 + q_2 + \ldots + q_n = \text{const},$$

де q_1, q_2, … , q_n — заряди тіл, що створюють електрично замкнену систему (n — кількість таких тіл).

Під електрично замкненою системою тіл розуміють таку систему, у яку не проникають заряджені частинки ззовні і яка не втрачає «власних» заряджених частинок.

---

* Далі частинки, які мають електричний заряд, називатимемо *зарядженими частинками*.

** $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл — це значення елементарного заряду, округлене до десятих.

Видавництво «Ранок»

Наприклад, систему «лінійка — вовняна тканина» можна вважати замкненою. Тому їхній сумарний заряд перед дослідом дорівнюватиме сумарному заряду після досліду. Отже, заряд лінійки і заряд вовни після тертя будуть рівні за модулем і протилежні за знаком.

А ЯК НАСПРАВДІ?

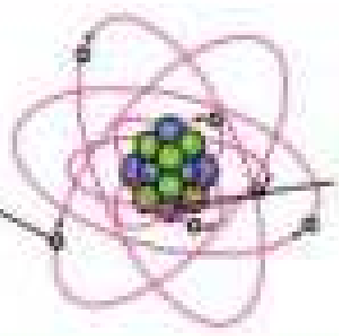
Одна з блогерок описала електростатичні «повітряні кулі», які створюють павуки в пустелях. Ці істоти випускають довгу нитку та електризують її на вітрі. Заряджена нитка відштовхується від поверхні разом із кмітливою істотою. Цей винахід дозволяє павукам «з комфортом» подорожувати на десятки кілометрів. Чи реальні факти навела блогерка?

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Електричний заряд — це фізична величина, яка характеризує властивість частинок і тіл вступати в електромагнітну взаємодію. $[q]$ = Кл.

Електризація

— це процес набуття фізичними тілами електричного заряду.

Властивості електричних зарядів	
1. Існують позитивні (+) і негативні (–)	ебоніт і вовна; пластик і волосся скло і папір; скло і поліетилен
2. Однойменні відштовхуються, різнойменні притягуються	
3. Не існують окремо від частинки	**Електрон** — носій елементарного заряду «–»  **Протон** — носій елементарного заряду «+»
4. Є дискретними	$\lvert q\rvert = N\lvert e\rvert$, де q — заряд фізичного тіла; N — натуральне число; e — елементарний заряд, $e = -1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл
5. Повний заряд електрично замкненої системи зберігається	$q_1 + q_2 + \ldots + q_n = \text{const}$ **заряди** тіл, що створюють електрично замкнену систему; n — кількість таких тіл

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що називають електричним зарядом? 2. Назвіть одиницю електричного заряду. 3. Які роди зарядів існують? 4. Який рід заряду має ебонітова паличка, потерта об вовну? паличка зі скла, потерта об шовк? 5. Як взаємодіють тіла, що мають однойменні заряди? різнойменні заряди? 6. З яких частинок складається атом? 7. Які частинки входять до складу атомного ядра? 8. Яка частинка має найменший негативний заряд? найменший позитивний заряд? 9. Як ви розумієте твердження, що електричний заряд є дискретним? 10. У якому випадку електричний заряд системи тіл зберігається? Наведіть приклад.

ВПРАВА № 27

1. На рис. 1 зображено позитивно заряджене тіло й підвішені на нитках кульки 1 і 2, що мають заряди невідомих знаків. Визначте знаки зарядів кульок.

2. На рис. 2 зображено так звані паперові султанчики, які заряджено стрижнями з різних речовин. Стрижні електризували тертям об папір. Для кожного випадку визначте знаки зарядів султанчиків.

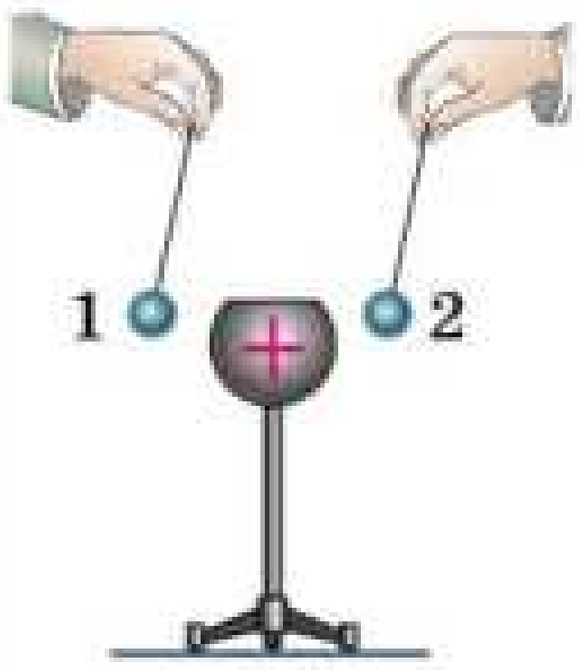


Рис. 1

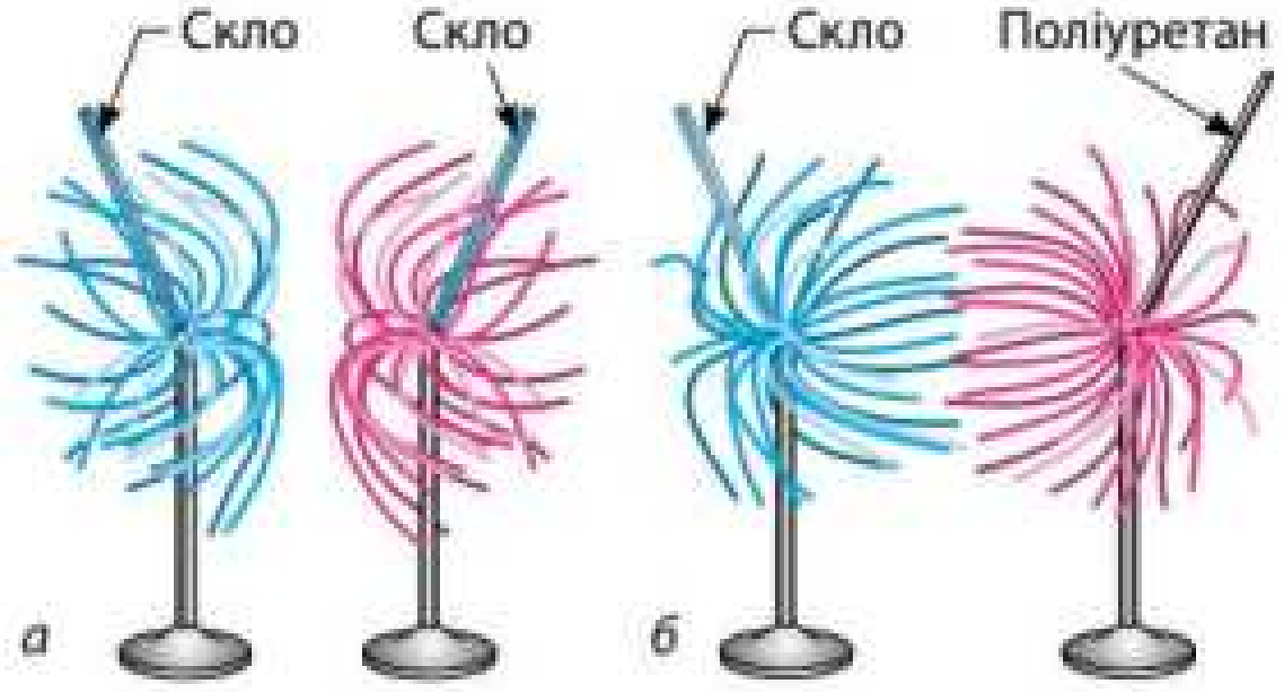


Рис. 2

3. На тонкій шовковій нитці висить заряджена паперова кулька. Як, маючи ебонітову паличку та шматок вовни, визначити знак електричного заряду кульки?

4. У яких випадках ідеться про явище, що відбувається завдяки електромагнітній взаємодії, а в яких — гравітаційній?

А Земля обертається навколо Сонця

Б Волосся притягується до светра, коли ми його знімаємо

В М'яч притягується до Землі

Г Атом не розпадається на окремі частинки

Видавництво «Ранок»

5. Атом, ядро якого має 12 протонів, утратив 2 електрони. Скільки електронів залишилося в атомі?

6. Скільки надлишкових електронів має бути передано тілу, щоб воно отримало заряд, який дорівнює −1 Кл?

7. Скориставшись додатковими джерелами інформації або власним досвідом, наведіть декілька цікавих прикладів взаємодії заряджених тіл.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

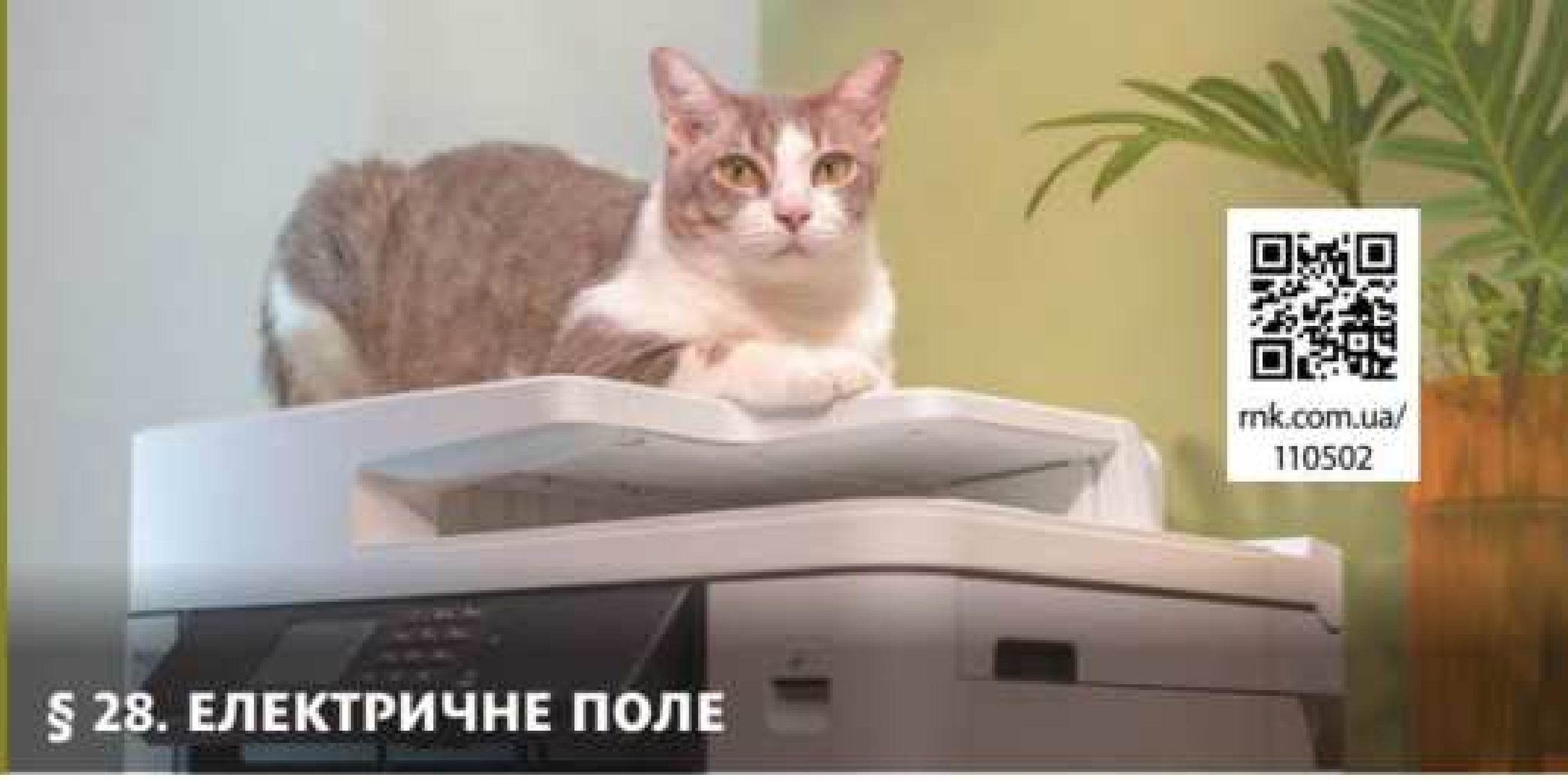
Складіть план дослідження характеру взаємодії заряджених тіл. Як об'єкти для дослідження візьміть паперову та поліетиленову смужки розміром близько 4 × 15 см, поліетиленову смужку розміром 2 × 3 см, підвішену на нитці, пластмасову ручку. Проведіть відповідний експеримент.

Ключові терміни

Електризація • Електричний заряд • Закон збереження електричного заряду

ФІЗИКА І ТЕХНІКА В УКРАЇНІ

Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна (ХНУ), заснований у листопаді 1804 р., — один із найстаріших університетів Східної Європи. Історія ХНУ є невід'ємною частиною інтелектуальної, культурної та духовної історії нашої країни. З Харківським університетом пов'язані імена таких усесвітньо відомих науковців та просвітителів, як *П. П. Гулак-Артемо́вський, О. М. Ляпунов, М. І. Костомаров, М. П. Барабашов, М. М. Бекетов, Д. І. Багалій, А. М. Краснов, М. В. Остроградський, В. А. Стеклов, О. О. Потебня, О. В. Погорєлов* та багато інших. Харківський університет — єдиний в Україні, де навчались або працювали три лауреати Нобелівської премії — біолог *І. І. Мечников*, фізик *Л. Д. Ландау*, економіст *Саймон Кузнець*.



§ 28. ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Згадайте, як поводилися клаптики паперу під час проведення дослідів з ебонітовою паличкою. Чи відчували вони наближення зарядженої палички ще до того, як вона їх торкалася? Чим спричинена така поведінка клаптиків паперу?

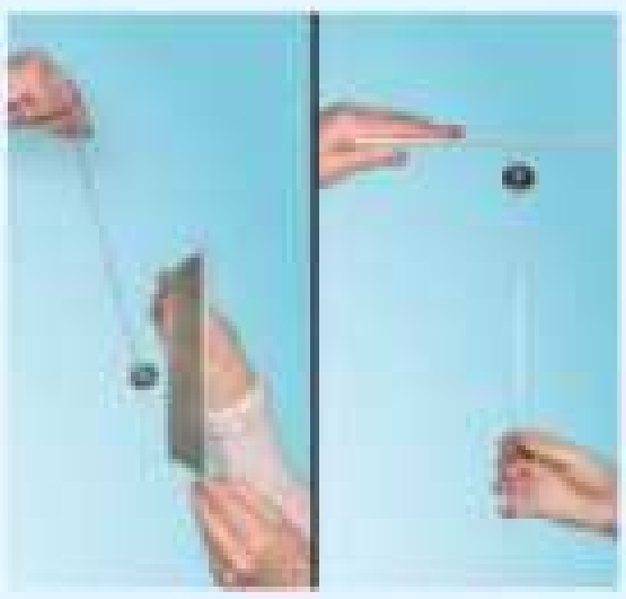
1. Як змусити повітряну кульку завмерти в неприродному положенні?

Об'єднайтеся в групи і проведіть дослідження.

ДОСЛІДЖЕННЯ

Що знадобиться: натерта графітом маленька повітряна кулька*, підвішена на шовковій нитці, ебонітова паличка, шматок вовняної тканини, аркуш паперу, пластина з оргскла.

Наелектризуйте ебонітову паличку і зарядіть за допомогою неї негативним зарядом кульку. Пластину з оргскла за допомогою аркуша паперу зарядіть позитивно. Повільно підносьте пластину до кульки, але не торкайтеся до неї. Піднявши пластину над кулькою, змусьте її завмерти в неприродному для неї положенні (див. рисунок). Сформулюйте гіпотезу щодо поведінки кульки.



Наелектризована пластина викликає певні зміни в просторі навколо себе. А саме: стан простору змінюється таким чином, що на заряджену кульку починає діяти деяка сила. У цьому випадку кажуть, що *в просторі існує електричне поле.*

---

* Дуже м'яким простим олівцем замалюйте клаптик паперу і натріть цим клаптиком кульку.

Видавництво «Ранок»

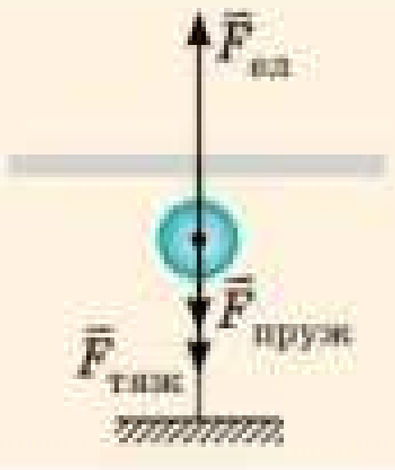


Рис. 28.1. Негативно заряджена кулька притягується до позитивно зарядженої пластини з оргскла. Кулька перебуватиме в спокої, коли сили тяжіння $\vec{F}_{тяж}$ і натягу нитки $\vec{F}_{пруж}$ скомпенсовані силою $\vec{F}_{ел}$, яка діє на кульку з боку наелектризованої пластини

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

Коли заряджена кулька потрапляє в електричне поле наелектризованої пластини, це поле починає діяти на кульку з деякою силою, в результаті чого кулька відхиляється від початкового положення (рис. 28.1).

Силу, з якою електричне поле діє на заряджені частинки або тіла, називають *електричною силою* і позначають $\vec{F}_{ел}$.

Слід мати на увазі, що не тільки заряджена пластина своїм електричним полем діє на заряджену кульку, — кулька своїм електричним полем теж діє на пластину.

Поясніть, чому пластина при цьому не відхиляється.

2. Які властивості й характеристики має електричне поле?

Проведемо дослід, скориставшись металевою сферою, розташованою на пластмасовій підставці. Зарядимо сферу позитивним зарядом (рис. 28.2). Простір навколо сфери зміниться — біля неї існуватиме електричне поле. Будемо вивчати це поле за допомогою індикатора — натертої графітом повітряної кульки, зарядженої позитивно (рис. 28.3).

Рис. 28.2. Під час дотику до сфери позитивно зарядженої палички сфера набуває позитивного заряду

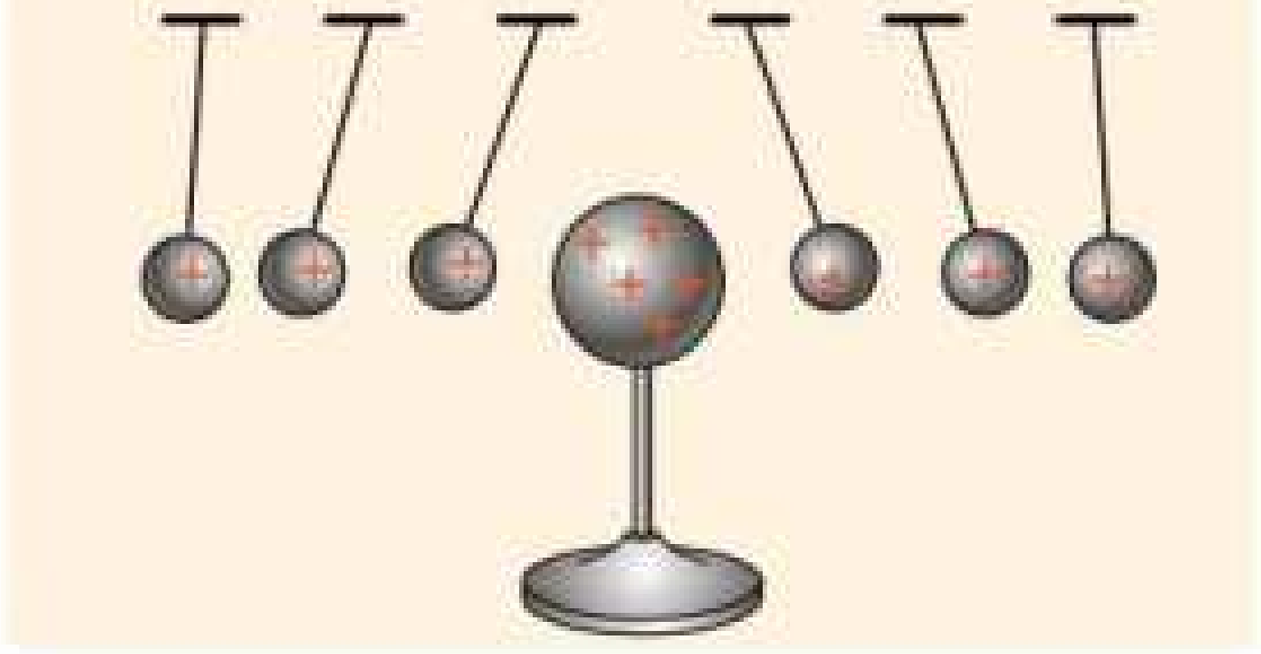


Рис. 28.3. Дослідження електричного поля зарядженої сфери: електричне поле сфери діє на заряджену кульку в будь-якій точці поблизу сфери; зі збільшенням відстані від сфери сила, що діє на кульку з боку електричного поля сфери, зменшується

Видавництво «Ранок»

Дослід продемонструє, що, по-перше, *електричне поле є матеріальним і існує в будь-якій точці простору, що оточує заряд* (заряджену сферу); по-друге, *з віддаленням від заряду поле стає слабшим.*

Силовою характеристикою електричного поля є напруженість.

Напруженість електричного поля в даній точці — фізична величина, яка характеризує електричне поле й дорівнює відношенню сили, з якою поле діє на заряд, поміщений у цю точку поля, до значення цього заряду:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_{ел}}{q}$$

Одиниця напруженості електричного поля в СІ — **ньютон на кулон:**

$$[E] = \frac{\text{Н}}{\text{Кл}}.$$

За напрямок напруженості беруть напрямок сили, яка діяла б на позитивний заряд, якби він був поміщений у цю точку поля (рис. 28.4).

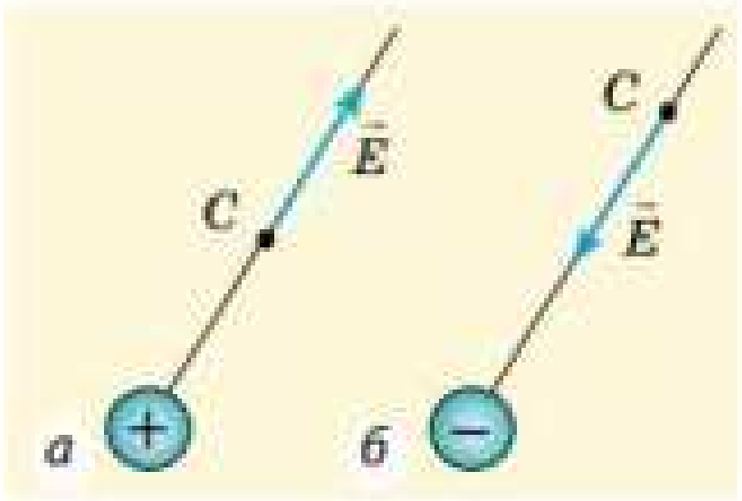


Рис. 28.4. Визначення напрямку напруженості $\vec{E}$ електричного поля в точці C

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...

Робота більшості сучасних принтерів — один із них показаний на заставці до § 28 — ґрунтується на явищі електризації. На першій стадії друку лазер формує на циліндрі, що має негативний заряд, ділянки з різними зарядами. Відповідно до сканованого зображення лазер освітлює ділянки, які мають стати чорного кольору. Ці ділянки розряджаються.

На другій стадії на циліндр подається тонер (чорна фарба у вигляді порошку), який теж заряджений негативно. Тому він прилипає тільки до незаряджених ділянок. Заготовка для друку створена. На третій стадії залишається прокотити підготовлений циліндр позитивно зарядженим папером. Тонер, і відповідно й зображення, переноситься з циліндра на папір. І тільки остання стадія не має відношення до електризації — це нагрівання, під час якого тонер «зварюється» з папером.

Ми можемо також стверджувати, що *електричне поле має енергію*, адже через роботу поля кулька набуває руху, відхиляючись на деякий кут.

Ми виявили не всі властивості електричного поля. Детальніше про нього ви дізнаєтеся в старших класах, а поки що звернемо увагу: *електричне поле може існувати будь-де*, навіть у вакуумі.

Запропонуйте інші індикатори для вивчення електричного поля.

Видавництво «Ранок»

3. Як візуалізувати електричне поле?

Коли ви хочете якнайкраще розповісти про місто, в якому побували, або про нових друзів, то що ви, скоріш за все, зробите? Напевно, покажете фотографії.

На жаль, електричне поле сфотографувати неможливо. Англійський фізик *Майкл Фарадей* запропонував зображувати електричне поле графічно за допомогою *силових ліній і таким чином візуалізувати його.*

Силові лінії електричного поля — це умовні лінії, дотичні до яких у кожній точці збігаються з напрямком напруженості електричного поля.

За напрямком силових ліній можна визначити *напрямок, у якому електричне поле діє на електричний заряд. Щільність силових ліній на рисунку показує, наскільки сильним є електричне поле*: чим більше напруженість електричного поля, тим щільніше розташовані лінії.

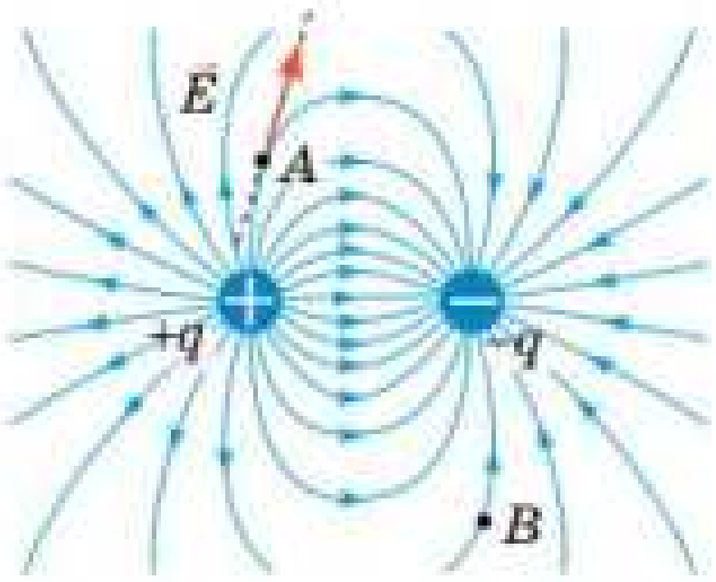


Рис. 28.5. Картина силових ліній електричного поля, створеного системою двох однакових за модулем різнойменних зарядів ($+q$ і $-q$)

Спробуйте визначити, куди буде напрямлена напруженість електричного поля в точці B (рис. 28.5), і дізнатися, в якій точці (A або B) електричне поле є сильнішим.

У загальному випадку лінії електричного поля є кривими, але можуть бути й прямими. Наприклад, силові лінії електричного поля рівномірно зарядженої кульки, віддаленої від інших заряджених тіл, — прямі лінії (рис. 28.6, *а*, *б*). Прямими є і силові лінії електричного поля між двома паралельними пластинами, які мають однакові за значенням і протилежні за знаками заряди (рис. 28.6, *в*).

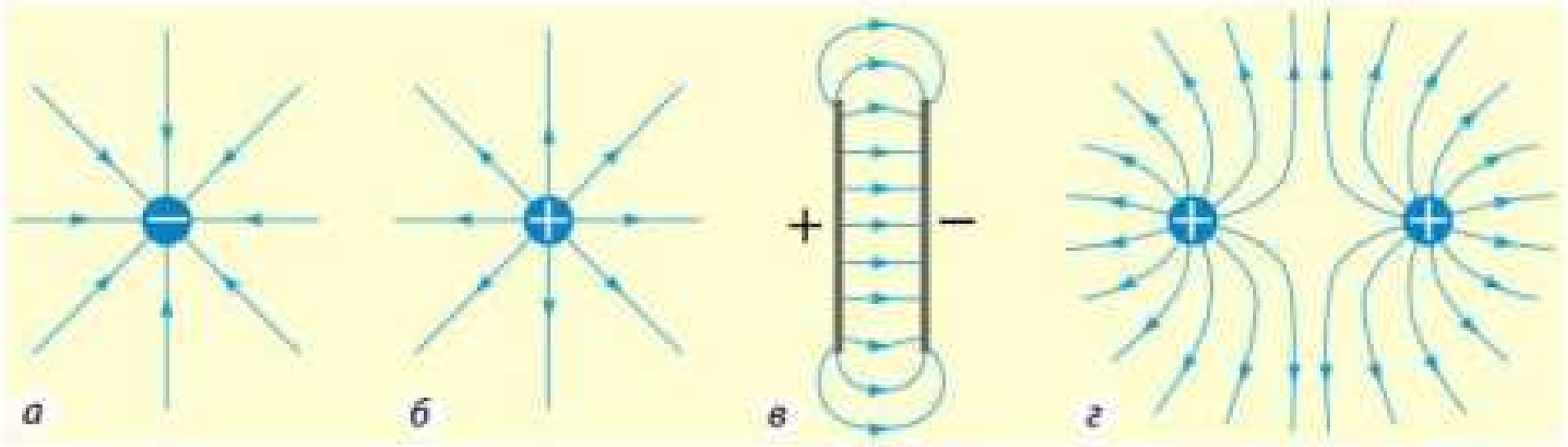


Рис. 28.6. Картини силових ліній електричних полів, створених: *а* — негативно зарядженою кулькою; *б* — позитивно зарядженою кулькою; *в* — системою двох паралельних пластин, заряди яких однакові за модулем і протилежні за знаком; *г* — системою двох кульок, що мають однакові позитивні заряди

Видавництво «Ранок»

Зверніть увагу: силові лінії електричного поля починаються на позитивному заряді й закінчуються на негативному (див., наприклад, рис. 28.5, 28.6).

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

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

Силові лінії електричного поля — це умовні лінії, дотичні до яких в кожній точці збігаються за напрямком з напруженістю електричного поля.

Напруженість електричного поля $\vec{E}$ в даній точці — фізична величина, яка характеризує електричне поле й дорівнює відношенню сили $\vec{F}_{ел}$, з якою поле діє на заряд, поміщений у цю точку поля, до значення цього заряду:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}_{ел}}{q} \qquad [E] = \frac{\text{Н}}{\text{Кл}}$$

За напрямком силових ліній можна визначити напрямок, у якому електричне поле діє на електричний заряд.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Як експериментально довести, що тіла, які мають електричний заряд, взаємодіють навіть на відстані? 2. Що таке електричне поле? 3. Як визначити, чи існує в певній точці простору електричне поле? 4. Назвіть основні властивості електричного поля. 5. Що називають силовою характеристикою електричного поля? 6. Дайте означення силових ліній електричного поля. 7. Який вигляд має картина силових ліній електричного поля позитивно зарядженої сфери? негативно зарядженої сфери?

Видавництво «Ранок»

ВПРАВА № 28

1. На рис. 1 зображено силові лінії електричного поля між двома парами заряджених пластин. Електричне поле між якими пластинами є більш інтенсивним? Визначте знак заряду кожної пластини.
2. На рис. 2 зображено лінії електричних полів, створених двома різними за модулем зарядами. Для кожного випадку визначте: 1) напрямок силових ліній; 2) який заряд більший за модулем; 3) напрямок сили, яка діє на позитивний заряд, розташований у точці A; у точці B.

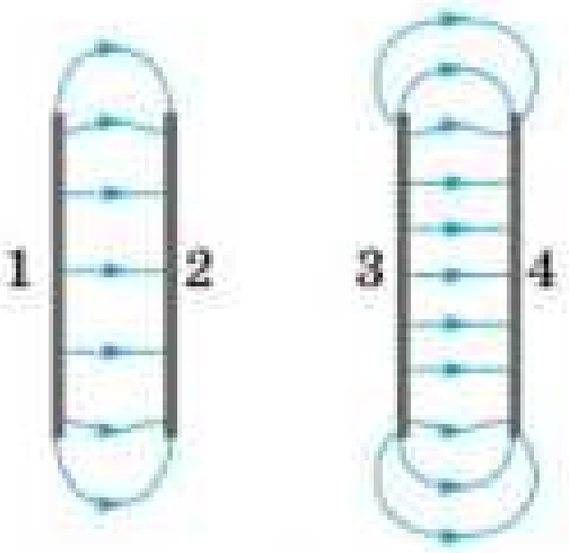


Рис. 1

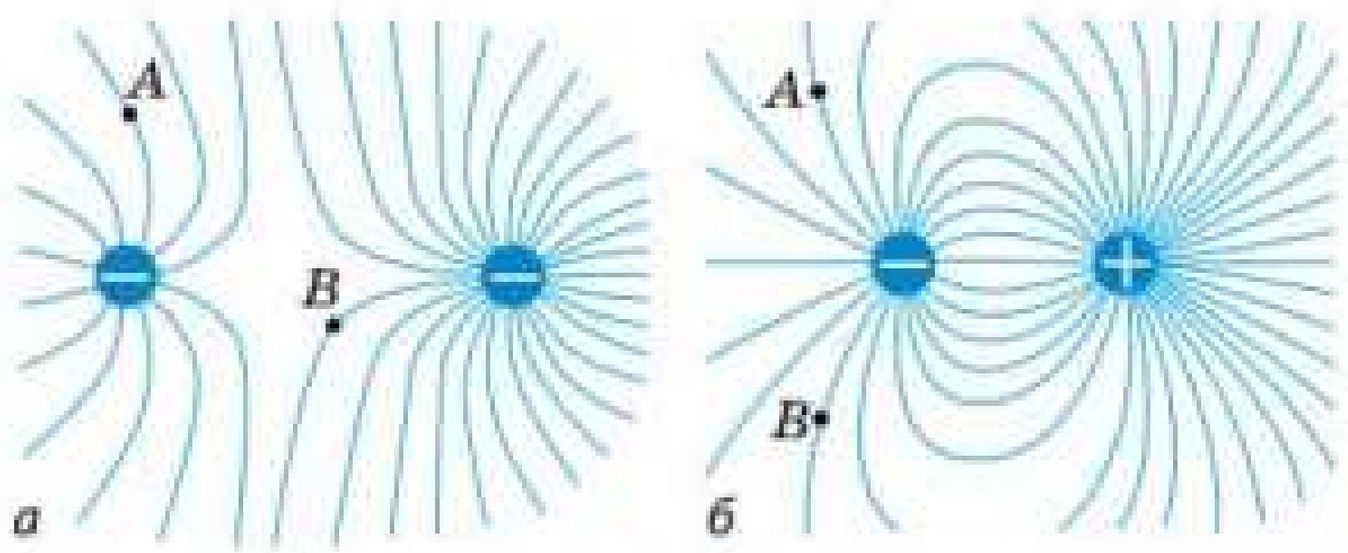


Рис. 2

3. Чи здатні органи чуття людини сприймати електричне поле?
4. Чому дорівнює напруженість електричного поля в даній точці, якщо на заряд 40 нКл воно діє із силою 100 мН?
5. Між двома різнойменно зарядженими пластинами зависла негативно заряджена крапелька олії масою 3,2 мг (рис. 3). Визначте напрямок і значення сили, яка діє на крапельку з боку електричного поля пластин, а також знак заряду кожної пластини.

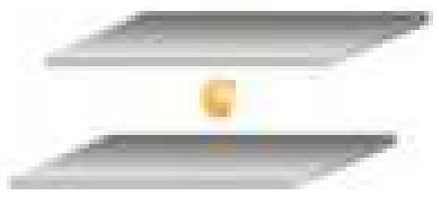


Рис. 3

6. Визначте силу натягу нитки (див. рис. 28.1), якщо електричне поле діє на кульку із силою 56 мН, об'єм кульки — 4 см^3, середня густина — 0,6 г/см^3.
7. Дізнайтеся, чи впливає електричне поле на організм людини.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

«Летюча вата». Приготуйте розпушений шматочок вати діаметром не більш ніж 1 см і помістіть його на наелектризовану пластмасову лінійку. Різко струснувши лінійку, доможіться, щоб шматочок почав «плавати» над нею в повітрі. Поясніть спостережуване явище. Виконайте рисунок, на якому зазначте сили, що діють на вату.

Ключові терміни

Електричне поле • Напруженість електричного поля • Силові лінії електричного поля

Видавництво «Ранок»

rnk.com.ua/
110503

§ 29. МЕХАНІЗМ ЕЛЕКТРИЗАЦІЇ. ЕЛЕКТРОСКОП

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Чи стикалися ви з явищем, що продемонстровано на рисунку? В яку пору року воно частіше відбувається? Що спричиняє появу цього явища? Чи існують запобіжні заходи?

1. Як зарядити волосся позитивним зарядом?

У разі щільного контакту двох незаряджених тіл, виготовлених із різних матеріалів, частина електронів може перейти з одного тіла на інше. У такому випадку після роз'єднання ці тіла виявляться зарядженими: *тіло, яке віддало частину своїх електронів, буде заряджене позитивно, а тіло, яке їх одержало, — негативно.* Вовна втримує свої електрони менш міцно, ніж ебоніт, тому під час контакту електрони в основному переходять з вовняної тканини на ебонітову паличку, а не навпаки. У результаті після роз'єднання паличка виявляється негативно зарядженою, а тканина — позитивно (рис. 29.1). Аналогічного результату можна досягти, якщо розчесати сухе волосся пластмасовим гребінцем (рис. 29.2).

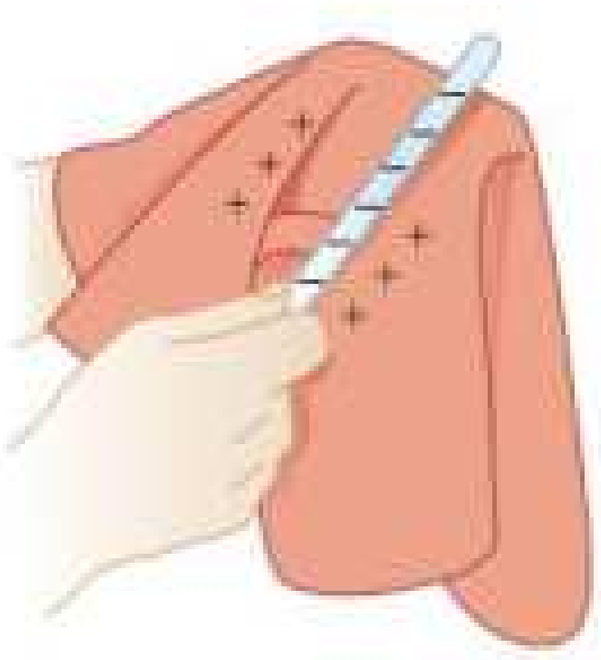


Рис. 29.1. Результати електризації тертям ебонітової палички і вовняної тканини

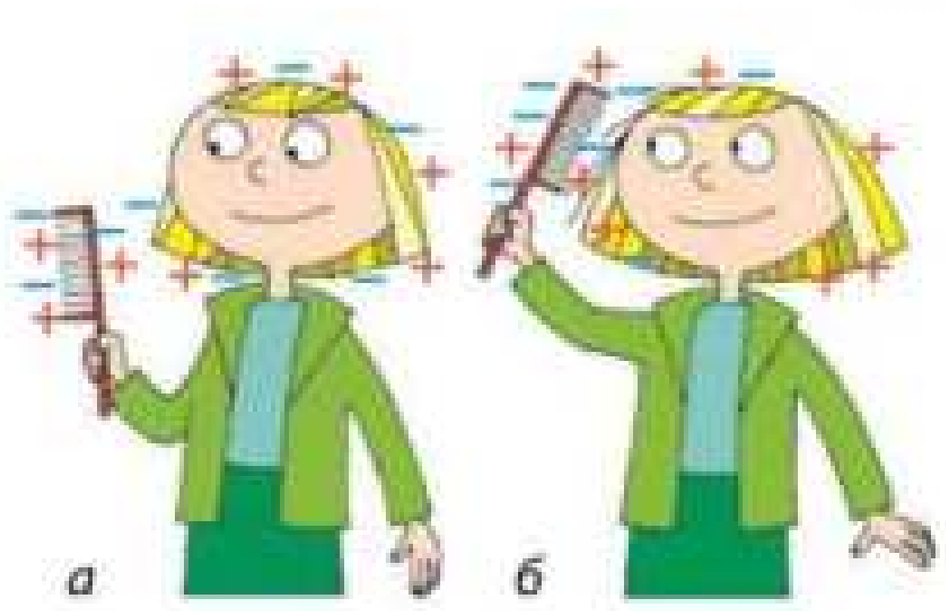


Рис. 29.2. Перед розчісуванням кількість позитивних зарядів на волоссі й гребінці дорівнює кількості негативних (*а*). Під час розчісування частина електронів з волосся перейде на гребінець, у результаті чого гребінець зарядиться негативно, а волосся — позитивно (*б*)

Видавництво «Ранок»

Іноді електризація може мати більш негативні наслідки, ніж зіпсована зачіска. Уявіть, морозний зимовий день, і ви одягнені в декілька шарів одягу з різних матеріалів. Дуже ймовірно, що ваш одяг та тіло наелектризуються. Тому, коли ви торкаєтеся дверної ручки, яка зазвичай не заряджена, електрони починають швидко перетікати між долонею і ручкою — виникає електричний розряд. Розряд заявить про себе характерним тріском. Іноді, коли заряд великий (близько 600 нКл), тріск буде супроводжуватися невеликою іскрою та неприємним поколюванням у долоні.

У кожному з наведених прикладів йшлося про так звану електризацію тертям. Існують також інші способи наелектризувати тіло. Про деякі з них ви дізнаєтесь із цього параграфа, а також під час подальшого вивчення фізики.

2. Чи можна наелектризувати металевий стрижень, утримуючи його в руці?

Метали — це речовини з безліччю *вільних електронів*, які легко переміщуються по всьому об'єму металевого тіла. Такі речовини називають *провідниками*. Спроба наелектризувати металевий стрижень, тримаючи його в руці, приведе до того, що надлишкові електрони дуже швидко «втечуть» зі стрижня і він залишиться незарядженим. «Дорогою для втечі» електронів є сама людина, адже її тіло — це провідник*. Зазвичай «кінцевий пункт» для електронів — Земля, яка також є провідником. Розміри її величезні, і якщо будь-яке заряджене тіло з'єднати провідником із Землею, то воно стає практично електронейтральним (незарядженим). Адже тіла, заряджені позитивно, одержать деяку кількість електронів від Землі, а з тіл, заряджених негативно, надлишкова кількість електронів піде в Землю.

Технічний прийом, який дозволяє розрядити будь-яке заряджене тіло шляхом з'єднання цього тіла провідником із поверхнею Землі, називають **заземленням**.

У деяких випадках, наприклад, щоб надати заряд провіднику або зберегти на ньому заряд, заземлення слід уникати. Для цього використовують тіла, виготовлені з *діелектриків*. У діелектриках (їх ще називають *ізоляторами*) вільні заряджені частинки практично відсутні. Тому якщо між поверхнею Землі та зарядженим тілом поставити бар'єр у вигляді ізолятора, вільні заряджені частинки не зможуть ані покинути провідник, ані потрапити на нього, і провідник залишиться зарядженим.

Скло, оргскло, ебоніт, бурштин, гума, папір — діелектрики, тому в дослідах з електростатики їх легко наелектризувати — заряд із них не стікає.

---

* Через те що тіло людини є провідником, *досліди з електрикою можуть виявитися небезпечними для їх учасників та учасниць!*

А ЯК НАСПРАВДІ?

Блогер описав враження від візиту на станцію технічного обслуговування з метою пофарбувати своє авто:

— Мене прийняв дуже ввічливий менеджер та розповів, що станція нещодавно почала використовувати новітній метод електростатичного фарбування, при якому значно знижуються витрати фарби та посилюється її зчеплення. Це досягається завдяки тому, що фарба являє собою порошок, який розпилюється у вигляді негативно заряджених частинок.

Стоп! Я добре вчив фізику в школі. Фарба, яка буде нанесена на моє авто, відпаде. Уже перші частинки зарядять поверхню негативно. А як відомо, «мінус» відштовхується від «мінуса». Тобто наступні частинки фарби навіть не долетять до мого авто.

Хто, на вашу думку, є правим у цій дискусії?

3. У якому випадку електризацію називають електростатичною індукцією?

Проведемо дослід. Наблизимо (не торкаючись!) негативно заряджену ебонітову паличку до незарядженої металевої сфери, розташованої на ізольованій підставці. На мить торкнемося рукою до частини сфери, віддаленої від зарядженого тіла (рис. 29.3, *а*), а потім приберемо заряджену паличку. Відхилення позитивно зарядженої легкої кульки покаже, що сфера набула позитивного заряду (рис. 29.3, *б*). *Зверніть увагу:* знак заряду сфери є протилежним до знака заряду ебонітової палички.

Рис. 29.3. Електризація сфери через вплив (*а*); індикатором наявності заряду слугує позитивно заряджена повітряна кулька — вона відхиляється від сфери, отже, сфера (на відміну від палички) заряджена позитивно (*б*)

Оскільки в цьому випадку безпосереднього контакту між зарядженим і незарядженим тілами не було, описаний процес називають **електризацією через вплив** або **електростатичною індукцією.**

Пояснюється цей вид електризації так. Унаслідок дії електричного поля негативно зарядженої палички вільні електрони перерозподіляються по поверхні металевої сфери. Електрони мають негативний заряд, тому вони відштовхуються від негативно зарядженої палички. У результаті кількість електронів стане надлишковою на віддаленій від палички частині сфери і недостатньою — на ближчій (рис. 29.4).

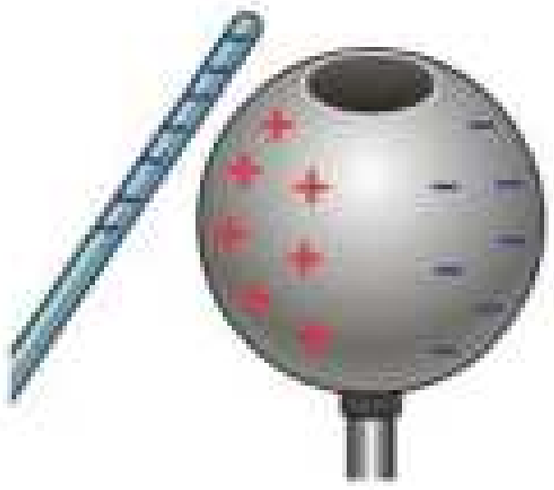


Рис. 29.4. Унаслідок дії електричного поля негативно зарядженої палички ближча до неї частина металевої сфери набуває позитивного заряду

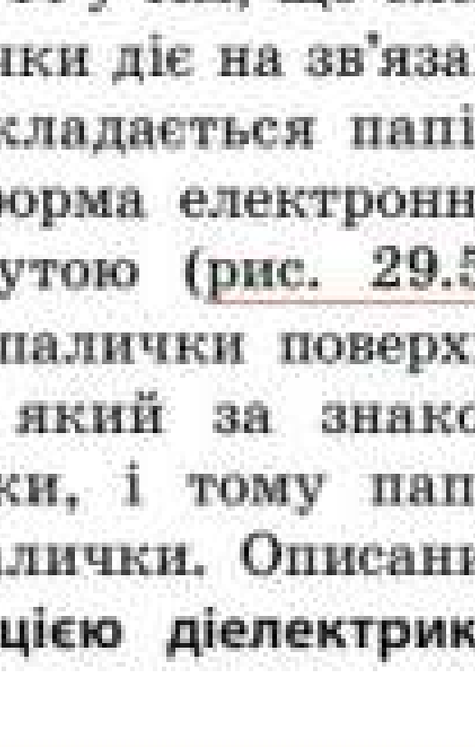
Видавництво «Ранок»

Якщо доторкнутися до сфери рукою, то деяка кількість вільних електронів перейде зі сфери на тіло дослідника. Таким чином, на сфері виникає брак електронів, і вона стає позитивно зарядженою.

ДОСЛІДЖЕННЯ

Що знадобиться: клаптик фольги, повітряна кулька, нитка.

Об'єднайтеся в команди. Зробіть із фольги гільзу і закріпіть її на нитці. Наелектризуйте повітряну кульку, наприклад, тертям об волосся. Піднесіть кульку до гільзи і спостерігайте за її поведінкою. Поясніть покроково спостережувані явища. Намалюйте пояснювальну схему і презентуйте результати роботи іншим командам.



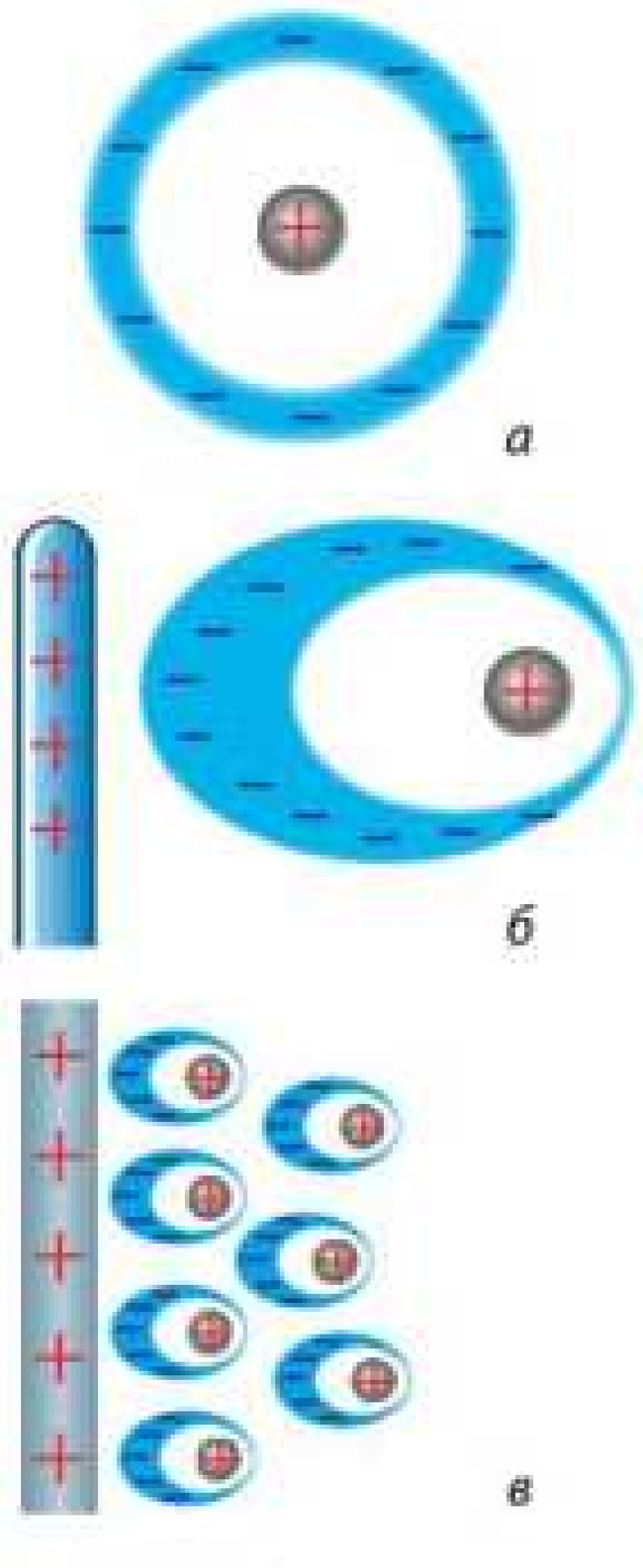


Рис. 29.5. Форма електронної хмари: за відсутності поля (*а*); за наявності поля (*б*). На поверхні паперу, ближчій до позитивно зарядженої палички, утворюється негативний заряд (*в*)

Складніше пояснити притягання до наелектризованої палички клаптиків паперу, адже відомо, що папір є діелектриком і тому практично не містить вільних електронів. Річ у тім, що електричне поле зарядженої палички діє на зв'язані електрони атомів, із яких складається папір, унаслідок чого змінюється форма електронної хмари — вона стає витягнутою (рис. 29.5). У результаті на ближчій до палички поверхні паперу утворюється заряд, який за знаком протилежний заряду палички, і тому папір починає притягуватися до палички. Описаний процес називають **поляризацією діелектрика.**

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...

У польоті літаки зазвичай електризуються. Особливо швидко електричні заряди накопичуються при польоті в хмарах, коли відбувається постійний контакт із крапельками води або кристаликами льоду. Зрозуміло, що конструктори враховують потенційну небезпеку цього явища. Зокрема, літак конструюють таким чином, щоб зменшити можливість розрядів між його окремими елементами. По-друге, на фюзеляжі та крилах є частини, що виступають. Вони сприяють «стіканню» зарядів у повітря. Нарешті, нанесення провідних покриттів на окремі частини конструкції дозволяє оптимізувати розподіл зарядів по поверхні літака. Усі ці заходи гарантують пасажирам безпечний політ. Навіть коли в літак влучає блискавка, пілоти в більшості випадків у змозі самостійно впоратися з проблемою.

Видавництво «Ранок»

4. Для чого використовують електроскоп?

Здавна для виявлення наявності в тіла електричного заряду, визначення знака заряду тіла та оцінювання значення заряду використовують **електроскоп** (рис. 29.6).

Якщо до кондуктора електроскопа доторкнутися досліджуваним зарядженим тілом, то частина заряду цього тіла потрапить на паперові смужки і вони розійдуться (рис. 29.7). *Зверніть увагу:* кут між смужками залежить від значення одержаного ними заряду. Цей кут тим більший, чим більший одержаний заряд.

Для виявлення й оцінювання електричного заряду застосовують також **електрометр** (рис. 29.8). На відміну від електроскопа, електрометр обов'язково має металевий корпус, шкалу, завдяки якій можна порівнювати значення переданого на електрометр заряду, та легку металеву стрілку (замість паперових смужок).

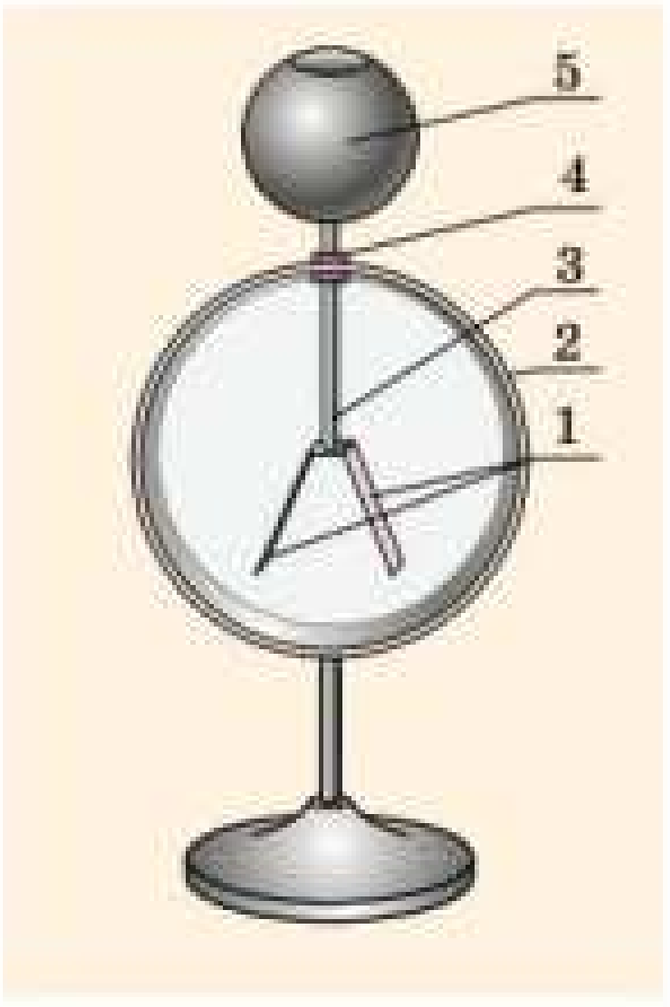


Рис. 29.6. Будова електроскопа: 1 — індикатор (паперові смужки); 2 — корпус; 3— металевий стрижень; 4 — діелектрик; 5 — кондуктор

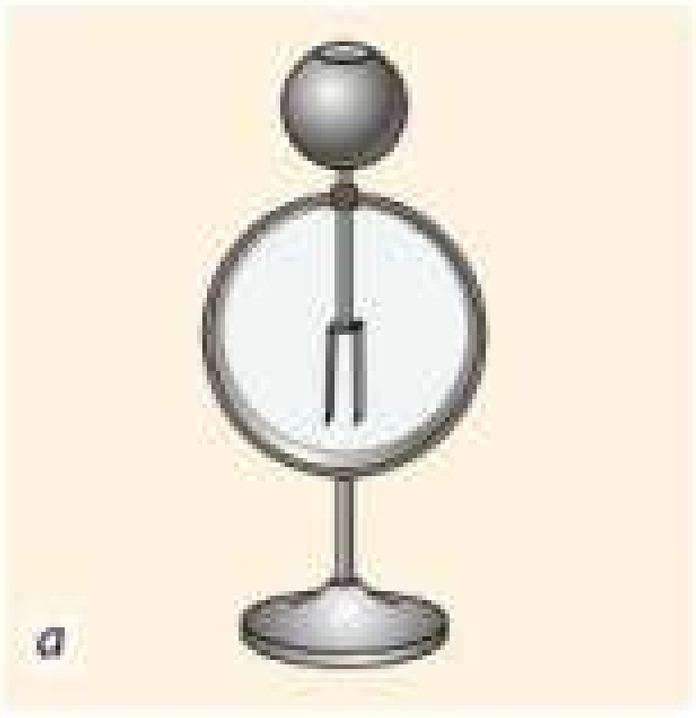


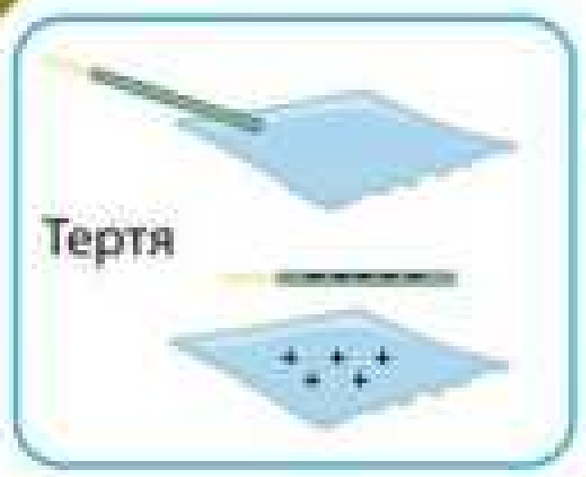
Рис. 29.7. Електроскоп незаряджений, і смужки паперу розташовані вертикально (*а*); після дотикання зарядженого тіла до кондуктора електроскопа смужки розходяться (*б*)

Рис. 29.8. Електрометр

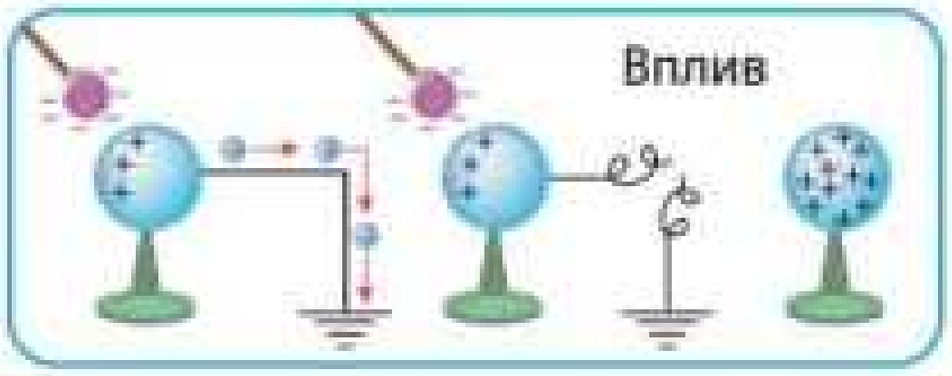
Заряд якого знака отримав електроскоп, його смужки і кондуктор у результаті досліду, що продемонстровано на рисунку? Чому смужки електроскопа розійшлися?

Видавництво «Ранок»

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ



ЕЛЕКТРИЗАЦІЯ

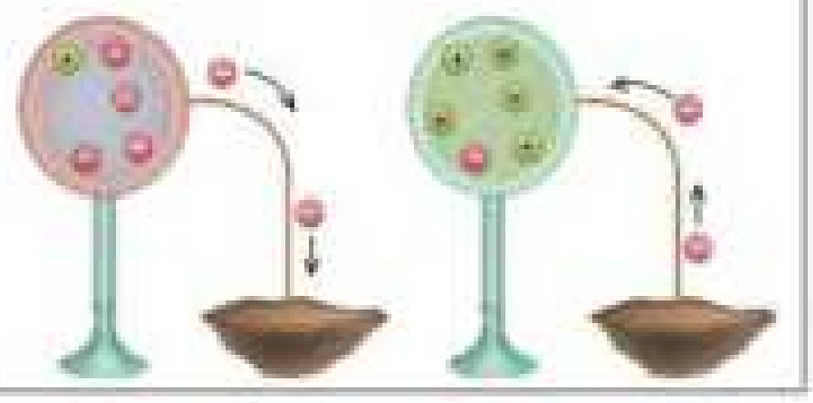


Наявні заряди перерозподіляються, а не створюються!

Якщо електронейтральне тіло
- віддає електрони → позитивно
- одержує електрони → негативно

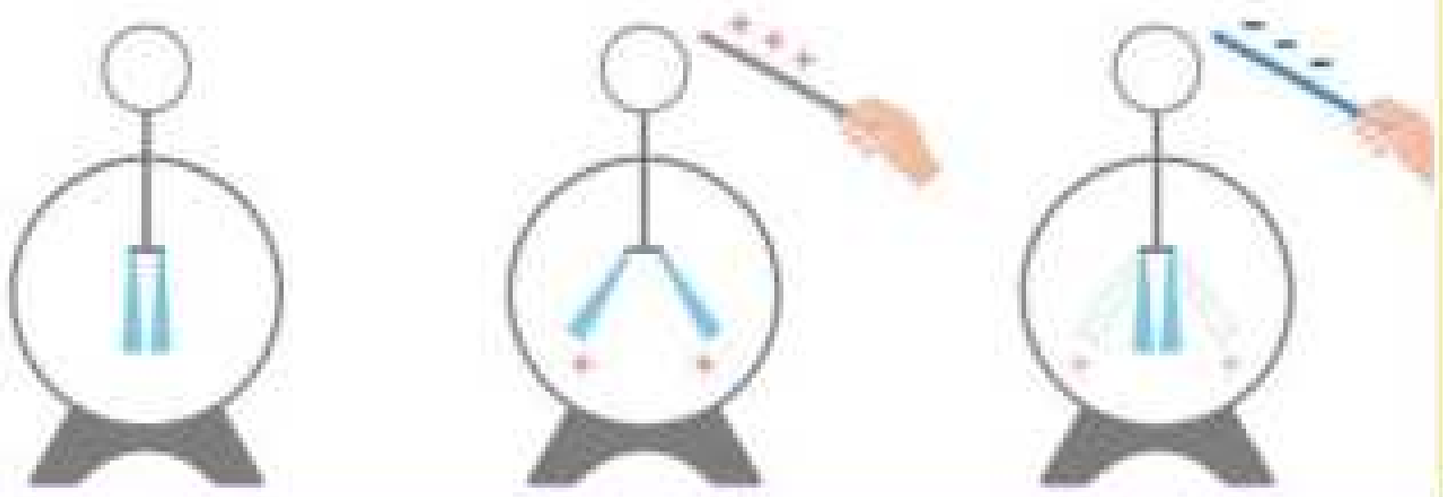
то заряджається

Заземлення — технічний прийом, який дозволяє розрядити будь-яке заряджене тіло шляхом з'єднання цього тіла провідником із землею.



Електричне поле
- діелектрик → поляризація
- провідник → електростатична індукція

Електроскоп — прилад для виявлення електричного заряду.



КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що і чому відбувається під час щільного контакту двох тіл, виготовлених із різних матеріалів? 2. У чому полягає відмінність провідників і діелектриків? 3. Що називають заземленням? 4. Як за допомогою негативно зарядженого тіла зарядити інше тіло позитивно? 5. Поясніть, чому будь-яке електрично ізольоване незаряджене тіло завжди притягується до тіла, яке має електричний заряд. 6. Для чого застосовують електроскоп? Як він сконструйований? 7. Чим електрометр відрізняється від електроскопа?

ВПРАВА № 29

1. Чи відрізняється маса незарядженої палички з оргскла від маси тієї самої палички, зарядженої позитивно? Якщо відрізняється, то як?

2. Визначте знак заряду електроскопа, а також кондуктора і паперових смужок у всіх випадках (рис. 1).

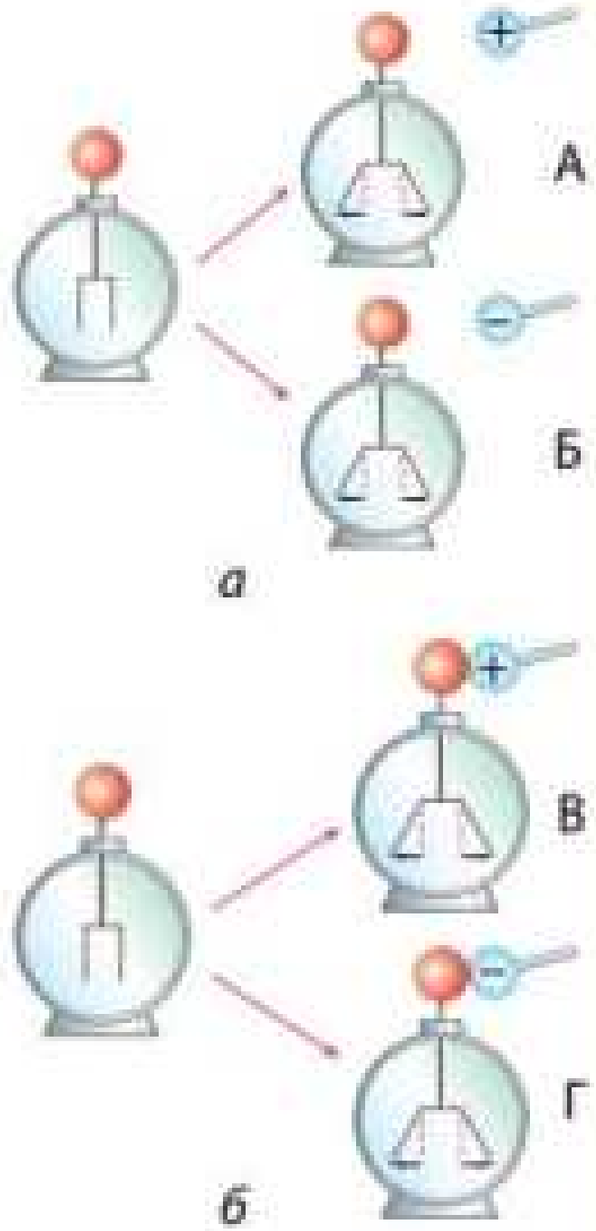


Рис. 1

3. Чи може статися так, що після дотику до кондуктора зарядженого електроскопа якимось тілом електроскоп виявиться незарядженим? Поясніть свою відповідь.

4. На рис. 2 продемонстровано дослід, який легко відтворити в домашніх умовах. Опишіть і поясніть спостережуване явище. Запропонуйте предмети, якими можна замінити паличку в цьому дослідженні. Зазначте помилку, якої припустився ілюстратор.

5. Електроскопу передали позитивний заряд (рис. 3, *а*). Потім до нього піднесли, не торкаючись, іншу заряджену паличку (рис. 3, *б*). Визначте знак заряду палички.

6. До незарядженої гільзи, що виготовлена з металевої фольги, підносять, не торкаючись, скляну паличку, яка має позитивний заряд (рис. 4). Оберіть три правильні твердження.

Рис. 2

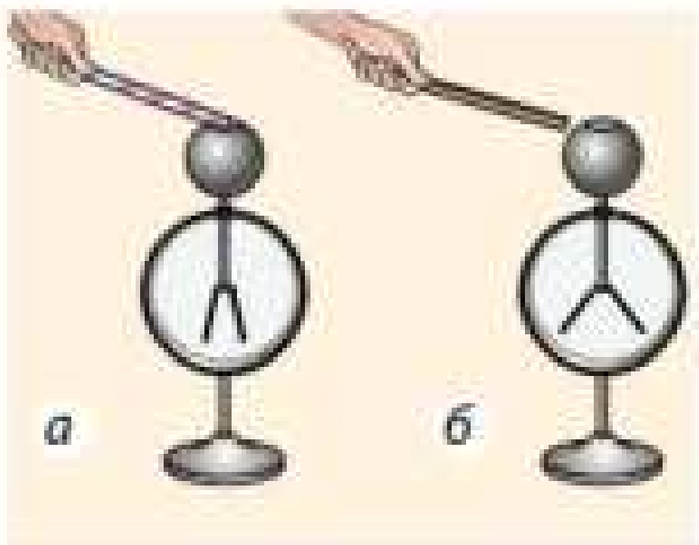


Рис. 3

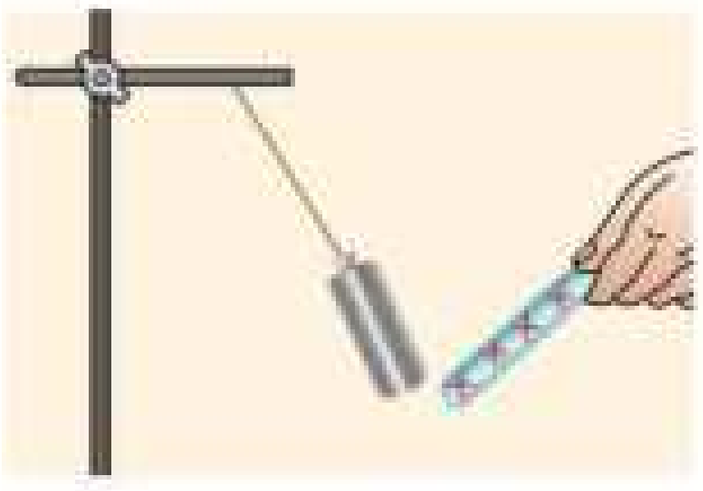


Рис. 4

Видавництво «Ранок»

А Частина гільзи, що ближча до палички, набуватиме позитивного заряду

Б Частина гільзи, що ближча до палички, набуватиме негативного заряду

В Гільза буде залишатися незарядженою

Г Під дією електричного поля палички електрони гільзи будуть рухатися вгору

Д Під дією електричного поля палички електрони гільзи будуть рухатися вниз

Е Гільза набуватиме негативного заряду

Є Гільза набуватиме позитивного заряду

7. Дві однакові провідні заряджені кульки торкнулися одна одної й відразу розійшлися. Обчисліть заряд кожної кульки після дотику, якщо перед дотиком заряд першої кульки дорівнював $-3 \cdot 10^{-9}$ Кл, а заряд другої кульки становив $9 \cdot 10^{-9}$ Кл.

8. Як за допомогою негативно зарядженої металевої кульки, не зменшуючи її заряду, позитивно зарядити таку саму, але незаряджену кульку? негативно зарядити таку саму кульку?

9. Скориставшись додатковими джерелами інформації, дізнайтеся про Вільяма Гільберта (1544–1603) — англійського фізика і лікаря, засновника науки про електрику (рис. 5).

Рис. 5

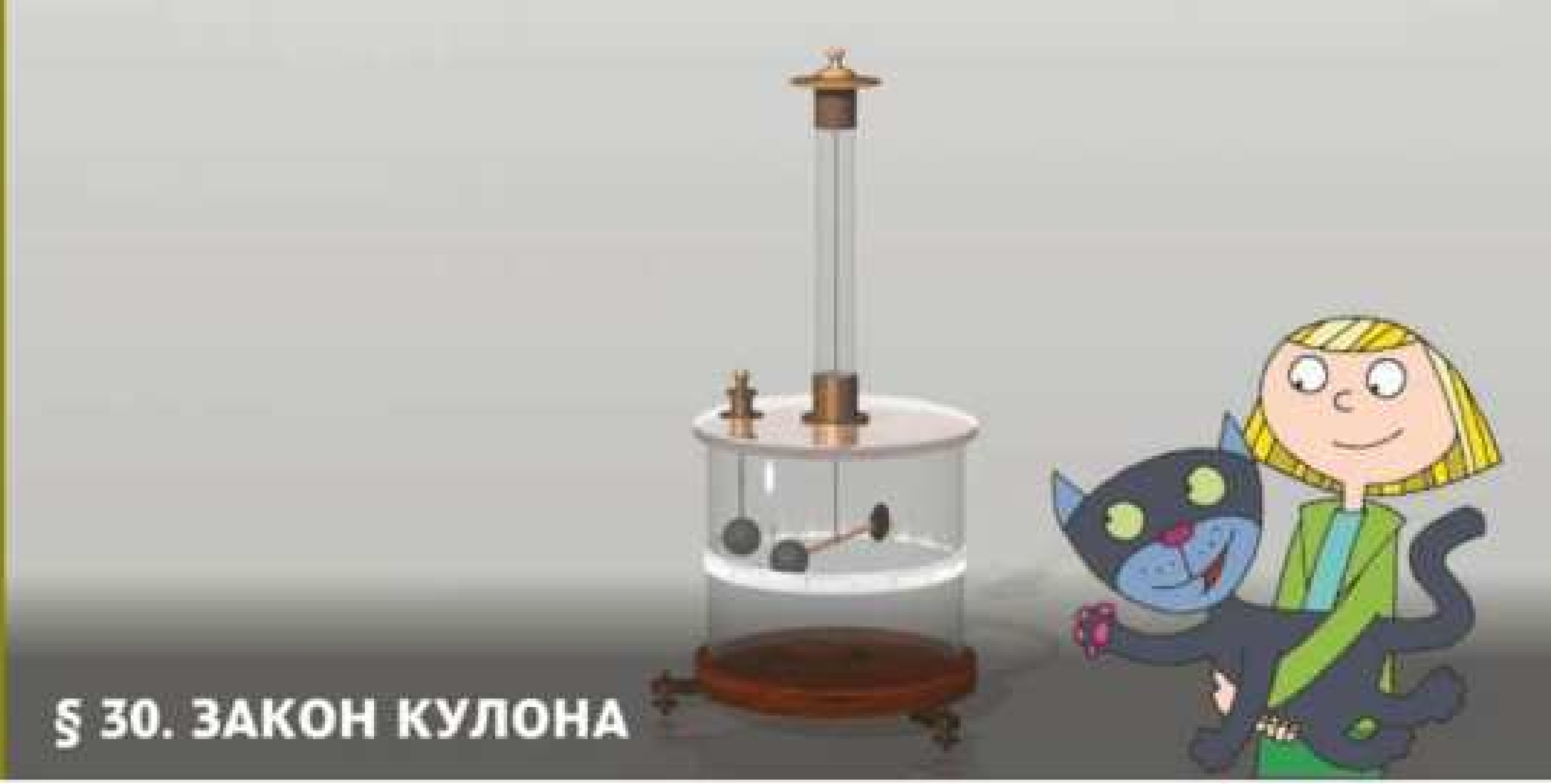
ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

1. Зі скляної банки з капроновою кришкою виготовте електроскоп (див. рисунок). Як стрижень електроскопа можна використати металеву спицю для плетіння, а замість смужок паперу — вузькі смужки фольги. Випробуйте виготовлений вами електроскоп.

2. Виготовте з легкого паперу маленькі човники та пустіть їх на воду. За допомогою наелектризованого гребінця змусьте вашу «флотилію» рухатися.

Ключові терміни

Електростатична індукція · Заземлення · Провідники · Діелектрики
Електроскоп · Електрометр



§ 30. ЗАКОН КУЛОНА

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Після кількох простих експериментів ні в кого не виникне сумнівів щодо існування електричного поля навколо заряджених тіл. Однак залишається питання: від чого залежить сила електричної взаємодії? Сформулюйте гіпотезу щодо фізичних величин, від яких може залежати ця сила.

1. Чи є точковий заряд реальним об'єктом?

Перш ніж вивчати закон взаємодії точкових зарядів, потрібно розібратися з терміном «*точковий заряд*».

За аналогією з матеріальною точкою *точковим зарядом називають заряджене тіло, розмірами якого можна знехтувати порівняно з відстанями від нього до інших заряджених тіл, що розглядаються.*

Точковий заряд, так само як і матеріальна точка, є не реальним об'єктом, а фізичною моделлю. Необхідність введення такої моделі спричинена тим, що в загальному випадку взаємодія заряджених тіл залежить від багатьох чинників, отже, не існує єдиної простої формули, яка описує електричну взаємодію для будь-якого довільного випадку.

Рис. 30.1. Шарль Огюстен Кулон (1736–1806) — французький фізик і військовий інженер. У 1785 р. сформулював основний закон електростатики, пізніше названий його ім'ям

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...

Військовий інженер Ш. Кулон (рис. 30.1) почав проводити свої дослідження в галузі, вельми далекій від електростатики. Він виявляв закономірності пружного крутіння ниток і встановив залежність сили пружності від кута закручування. Отримані дані дозволили Кулону сконструювати надзвичайно чутливий прилад, який він назвав крутильними терезами (рис. 30.2). Пізніше вчений використав крутильні терези для вимірювання сили взаємодії точкових зарядів.

Видавництво «Ранок»

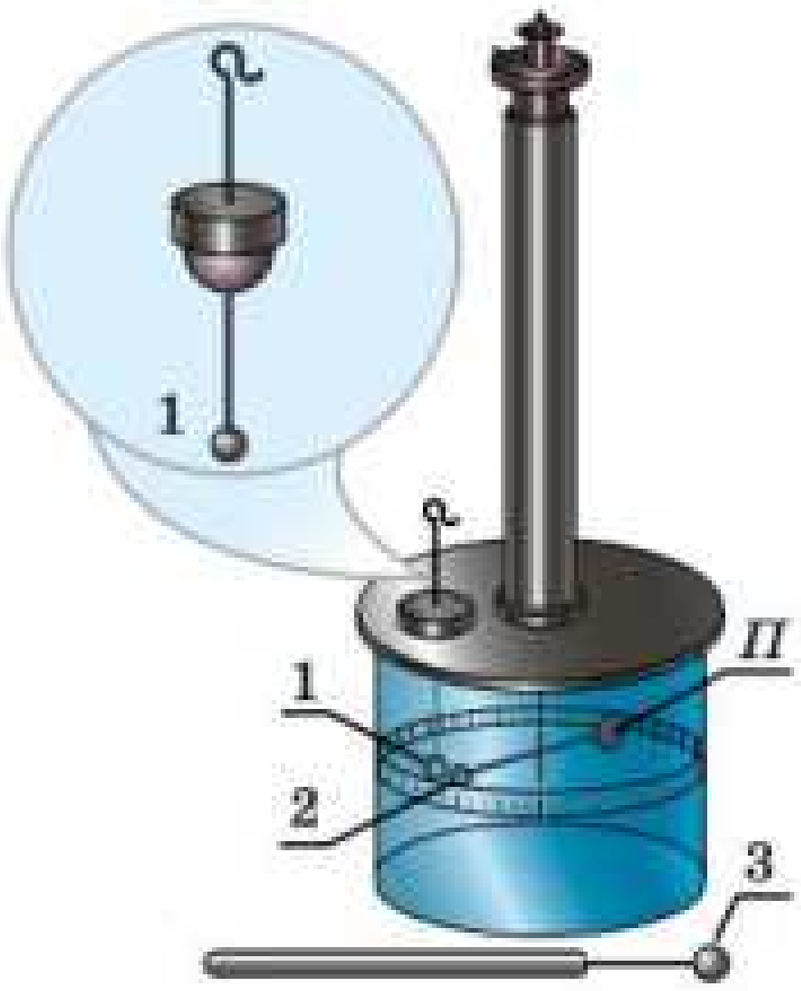


Рис. 30.2. Крутильні терези Кулона. На металевому дроті закріплене коромисло, на кінцях якого розміщені кулька 2 і противага *П*. Крізь отвір у кришці скляного циліндра опускають кульку 1. Кулька 3 розташована на тримачі, який виготовлений із діелектрика

2. Від чого залежить сила взаємодії двох точкових зарядів?

У своїх дослідах Кулон спостерігав взаємодію невеликих провідних заряджених кульок. Умови дослідів дозволяли вважати ці кульки точковими зарядами. Досліди вчений проводив за допомогою крутильних терезів (див. рис. 30.2).*

Провівши чимало дослідів, Кулон зробив висновок, що *сила F взаємодії двох точкових зарядів обернено пропорційна квадрату відстані r між ними:*

$$F \sim \frac{1}{r^2}$$

Також учений переконався, що *сила F взаємодії двох точкових зарядів q_1 і q_2 прямо пропорційна добутку модулів цих зарядів:*

$$F \sim |q_1| \cdot |q_2|$$

3. Формулюємо закон Кулона

На підставі проведених дослідів Кулон установив закон, який згодом отримав його ім'я, — **закон Кулона:**

Сила F взаємодії двох нерухомих точкових зарядів q_1 і q_2 прямо пропорційна добутку модулів цих зарядів і обернено пропорційна квадрату відстані r між ними:

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

де k — коефіцієнт пропорційності.

Було встановлено, що під час взаємодії точкових зарядів у вакуумі** $k = 9 \cdot 10^9 \ \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$.

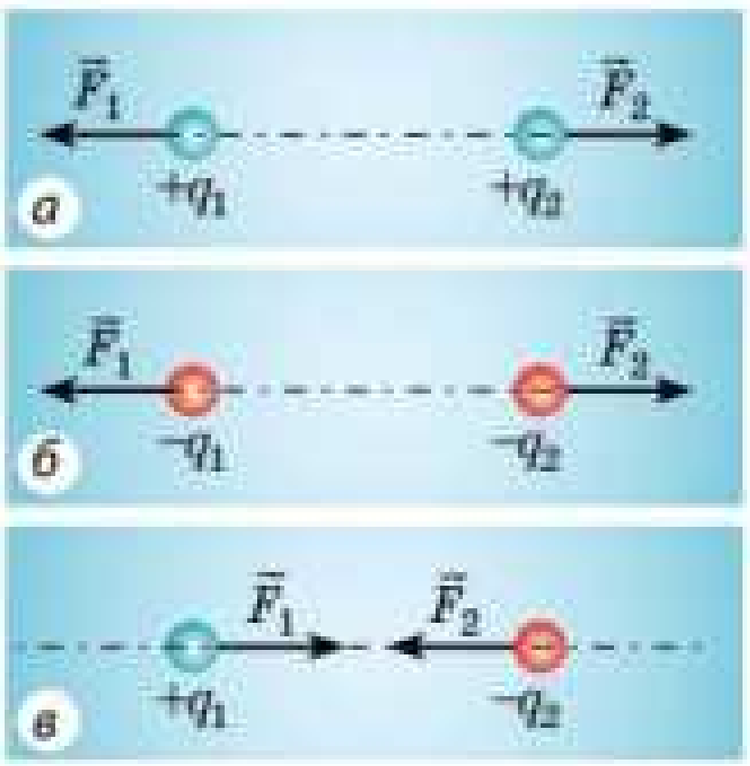


Рис. 30.3. Сили електричної взаємодії ($\vec{F}_1$ і $\vec{F}_2$) напрямлені вздовж умовної прямої, яка з'єднує точкові заряди

* Детальніше про експеримент Кулона можна дізнатися на с. 310.

** У багатьох середовищах сила взаємодії буде значно меншою, ніж у вакуумі. У повітрі порівняно з вакуумом вона зменшується незначно.

Видавництво «Ранок»

Зверніть увагу: в законі Кулона йдеться про добуток модулів зарядів, оскільки знаки зарядів впливають лише на напрямок сили.

Сили, з якими взаємодіють два точкові заряди, ще називають **силами Кулона**.

Сили Кулона напрямлені вздовж умовної прямої, яка з'єднує точкові заряди, що взаємодіють (рис. 30.3).

Знаючи значення коефіцієнта k, можна оцінити силу, з якою два заряди по 1 Кл кожний взаємодіють на відстані 1 м. Це дуже велика сила! Вона дорівнює, наприклад, силі тяжіння, що діє на велике судно (рис. 30.4).

Рис. 30.4. Якби на днищі судна й на відстані 1 м під його днищем можна було розмістити однойменні заряди по 1 Кл кожний, то вдалося б перебороти силу земного тяжіння й без жодних спеціальних пристроїв підняти судно

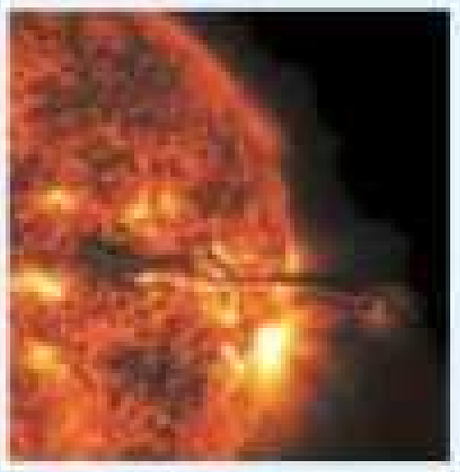
Скориставшись законом Кулона, обчисліть значення цієї сили.

А ЯК НАСПРАВДІ?

Ісаак Ньютон приблизно за 100 років до Шарля Кулона відкрив інший фундаментальний закон — закон всесвітнього тяжіння. І в законі Кулона, і в законі всесвітнього тяжіння сила взаємодії обернено пропорційна квадрату відстані між тілами.

У природі так склалося, що інтенсивність взаємодії електричних зарядів значно більша, ніж фізичних тіл. Саме тому ви не відчуваєте притягання слона в зоопарку, а для демонстрації електричної взаємодії достатньо гребінця та клаптиків паперу. Тож тяжіння завжди «програє» електриці? Не кваптеся з висновками.

Просто подивіться на Сонце ясного дня. Зоря в центрі нашої планетної системи являє собою плазму, тобто велику кількість заряджених частинок, які рухаються з шаленою швидкістю. Але Сонце завдяки гравітаційній взаємодії утримує їх разом протягом багатьох мільйонів років. Тільки іноді «команда» заряджених частинок «об'єднується» та вирівається у відкритий космос (див. рисунок). Довжина плазмового стовпа в цьому випадку в десятки разів перевищує розміри Землі.



4. Учимося розв'язувати задачі

Задача. Дві невеликі негативно заряджені кульки розташовані в повітрі на відстані 30 см одна від одної. Сила їх взаємодії становить 32 мкН. Обчисліть кількість надлишкових електронів на другій кульці, якщо заряд першої кульки дорівнює −40 нКл.

Аналіз фізичної проблеми. Щоб визначити кількість надлишкових електронів, згадаємо, що електричний заряд є дискретним: $|q| = N|e|$, де N — кількість надлишкових електронів, а $e = -1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл — заряд електрона.

Видавництво «Ранок»

Кульки невеликі й розташовані на значній відстані одна від одної, тому їх можна вважати точковими зарядами і для визначення заряду q_2 скористатися законом Кулона.

Дано:

$r = 0{,}3$ м

$F = 32 \cdot 10^{-6}$ Н

$q_1 = -40 \cdot 10^{-9}$ Кл

$e = -1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл

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

Знайти:

N_2 — ?

Пошук математичної моделі, розв'язання

За законом Кулона $F = \frac{k|q_1| \cdot |q_2|}{r^2}$.

Отже, $Fr^2 = k|q_1| \cdot |q_2| \Rightarrow |q_2| = \frac{Fr^2}{k|q_1|}$.

Але $|q_2| = N_2|e|$, тому $N_2|e| = \frac{Fr^2}{k|q_1|}$. Звідси маємо:

$$N_2 = \frac{Fr^2}{k|q_1| \cdot |e|}.$$

Перевіримо одиницю, знайдемо значення шуканої величини:

$$[N_2] = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2} \cdot \text{Кл} \cdot \text{Кл}} = 1$$ (кількість електронів — безрозмірнісна величина);

$$N_2 = \frac{32 \cdot 10^{-6} \cdot 0{,}09}{9 \cdot 10^9 \cdot 40 \cdot 10^{-9} \cdot 1{,}6 \cdot 10^{-19}} = \frac{32 \cdot 9 \cdot 10^{-8}}{9 \cdot 4 \cdot 16 \cdot 10^{-19}} = 5 \cdot 10^{10}.$$

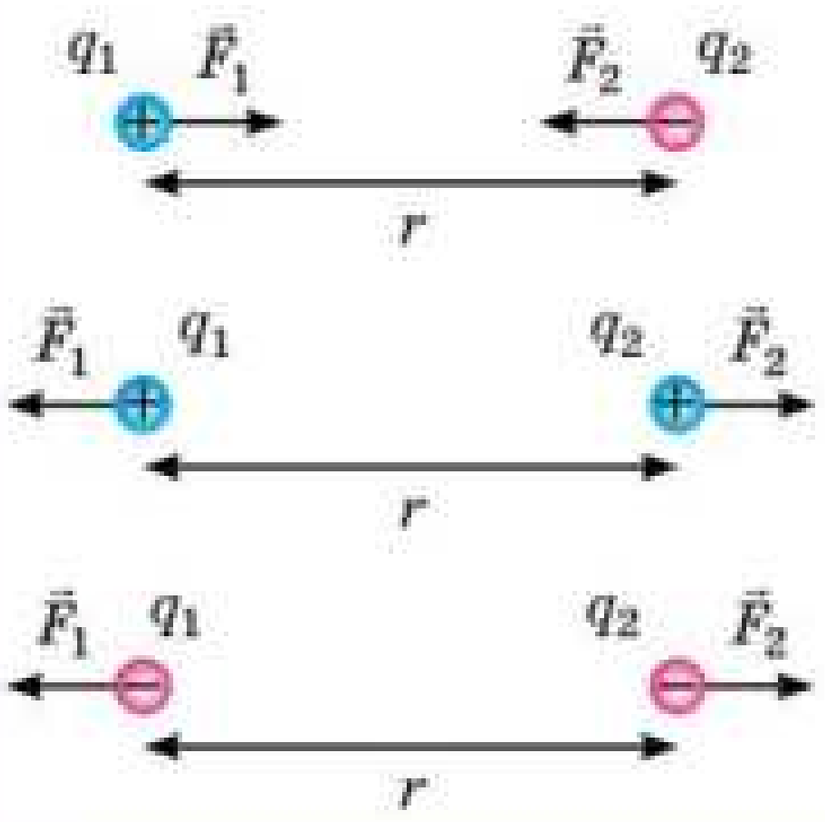
Відповідь: $N_2 = 5 \cdot 10^{10}$.

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

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

Закон Кулона

Сила F взаємодії двох нерухомих точкових зарядів q_1 і q_2 прямо пропорційна добутку модулів цих зарядів і обернено пропорційна квадрату відстані r між ними.



Був установлений за допомогою крутильних терезів

Точковим зарядом називають заряджене тіло, розмірами якого можна знехтувати порівняно з відстанями від нього до інших заряджених тіл, що розглядаються.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Який заряд називають точковим? Порівняйте поняття «точковий заряд» і «матеріальна точка». 2. Опишіть прийом, який застосував Ш. Кулон, щоб з'ясувати залежність сили взаємодії двох точкових зарядів від модулів цих зарядів. 3. Сформулюйте закон Кулона. 4. Чому, формулюючи закон Кулона, необхідно обов'язково користуватися поняттям «точковий заряд»? 5. За якою формулою визначається сила Кулона? 6. Як напрямлена сила Кулона?

ВПРАВА № 30

1. На рис. 1 зображено дві пари нерухомих невеликих кульок. Зобразіть силу Кулона, що діє на кожну кульку.

2. Як зміниться сила взаємодії двох точкових зарядів, якщо модуль кожного з них збільшити у 2 рази?

3. Як змінилася відстань між двома точковими зарядами, якщо відомо, що сила їхньої взаємодії зменшилася в 9 разів?

4. Дві кульки розташовані на відстані 16 см одна від одної. Визначте силу взаємодії кульок, якщо відомо, що на кожній із них є $2 \cdot 10^{10}$ надлишкових електронів. Вважайте кульки точковими зарядами.

5. Дві однакові провідні кульки із зарядами −5 нКл і +15 нКл торкнулись одна одної та розійшлись на відстань 60 см. Визначте силу взаємодії кульок. Вважайте кульки точковими зарядами.

6. Дві маленькі металеві кульки мають заряди q і $-q$ та закріплені на певній відстані одна від одної (рис. 2). Як зміниться сила їхньої взаємодії, якщо кожній кульці передати ще заряд $2q$?

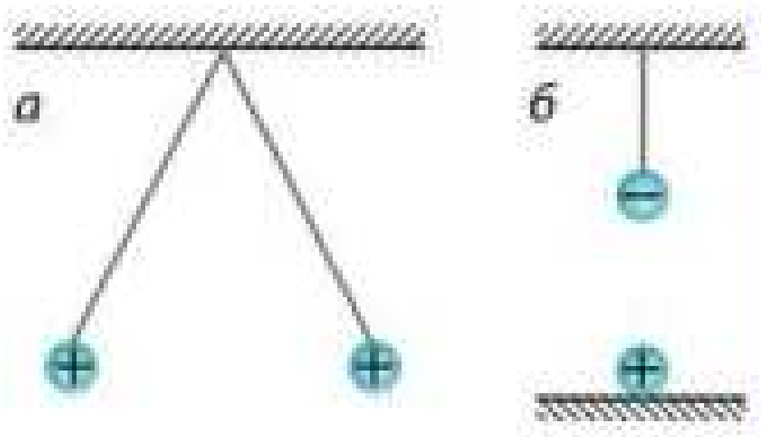


Рис. 1

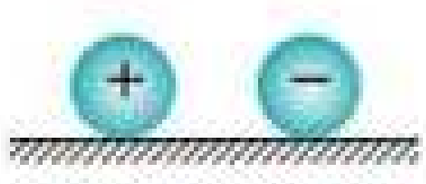


Рис. 2

Ключові терміни

Точковий заряд • Закон Кулона • Крутильні терези

Видавництво «Ранок»

mk.com.ua/
110504

§ 31. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ. ЕЛЕКТРИЧНА ПРОВІДНІСТЬ МАТЕРІАЛІВ

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Об'єднайтеся в групи. Пригадайте і запишіть за 1 хв назви пристроїв, для роботи яких необхідний електричний струм. Порівнявши результати, визначте групу, яка склала найдовший перелік, і групу, яка склала найоригінальніший перелік.

1. Що називають електричним струмом?

Проведемо дослід. Поставимо на столі два електрометри (*А* і *Б*) і зарядимо один із них, наприклад електрометр *А* негативно (рис. 31.1, *а*). З'єднаємо кондуктори електрометрів металевим стрижнем, закріпленим на пластмасовій ручці. За відхиленням стрілок електрометрів видно, що заряд електрометра *А* зменшився, а незаряджений електрометр *Б* отримав заряд (рис. 31.1, *б*). Це означає, що певна кількість заряджених частинок (у цьому випадку електронів) перейшла стрижнем від одного приладу до іншого. Кажуть, що у стрижні існував *електричний струм*.

Електричний струм — це напрямлений рух заряджених частинок.

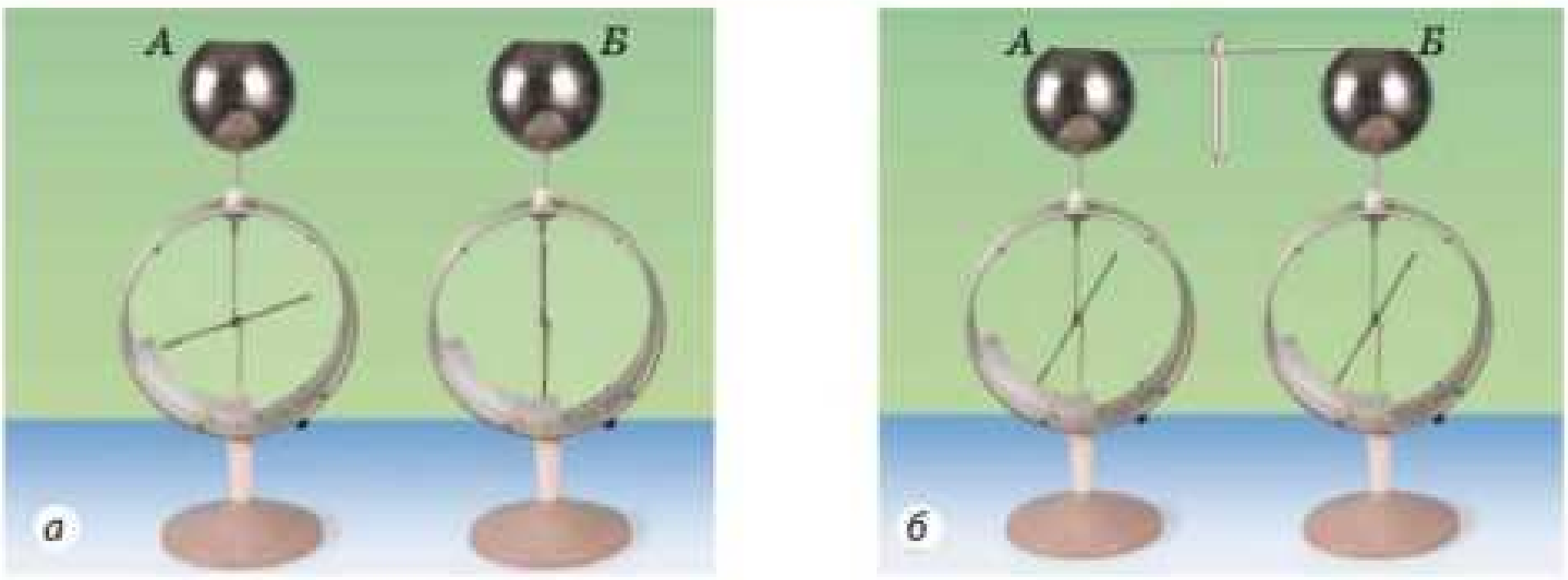


Рис. 31.1. Якщо заряджений електрометр з'єднати з незарядженим за допомогою провідника, частина заряду перейде на незаряджений електрометр

А ЯК НАСПРАВДІ?

Часто для візуалізації теми «Електричний струм» використовують зображення, що подано на рисунку. А як насправді рухаються вільні заряджені частинки, коли вони своїм рухом створюють електричний струм?

2. За яких умов можливі виникнення та існування електричного струму?

З огляду на означення електричного струму сформулюємо першу умову для його виникнення та існування в середовищі: *у середовищі мають бути заряджені частинки, які можуть вільно переміщатися.* Такі частинки ще називають *носіями струму.*

Однак цієї умови недостатньо для того, щоб у середовищі існував електричний струм. Для створення та підтримування напрямленого руху вільних заряджених частинок необхідна також *наявність електричного поля.* Саме завдяки дії сили з боку електричного поля рух заряджених частинок набуде впорядкованого (напрямленого) характеру, що й означатиме появу в даному середовищі електричного струму.

3. Які речовини найкраще проводять електричний струм?

Знаючи умови виникнення та існування електричного струму, неважко здогадатися, що *електрична провідність* — здатність проводити електричний струм — у різних речовин є різною. Залежно від цієї здатності всі речовини й матеріали поділяють на *провідники*, *діелектрики* та *напівпровідники* (про провідники та діелектрики вже йшлося в § 29).

Провідники — речовини та матеріали, які добре проводять електричний струм.

Провідниками є метали (як у твердому, так і в рідкому станах), графіт, водні розчини солей (наприклад, кухонної солі), кислот і лугів, плазма. Висока електрична провідність провідників пояснюється наявністю в них великої кількості вільних заряджених частинок. Так, у металевому провіднику частина електронів, залишивши атоми, вільно «мандрує» по всьому його об'єму, і кількість таких електронів сягає 10^{23} в кубічному сантиметрі.

Вологa земля, тіло людини або тварини добре проводять електричний струм, бо містять речовини, що є провідниками.

Видавництво «Ранок»

Діелектрики — речовини та матеріали, які погано проводять електричний струм.

Діелектриками є багато твердих речовин (ебоніт, порцеляна, гума, скло та ін.), рідин (дистильована вода, гас, спирт, бензин та ін.), газів (кисень, водень, азот, вуглекислий газ та ін.). У діелектриках майже відсутні вільні заряджені частинки.

Провідники й діелектрики широко застосовують у промисловості, побуті, техніці. Так, проводи, якими підводять електричний струм від електростанцій до споживачів, виготовляють із металів — чудових провідників. При цьому на опорах проводи розташовують на ізоляторах, — це запобігає стіканню електричного заряду в землю (рис. 31.2).

Як ви вважаєте, чому проводи, які прокладають у землі, вкривають шаром діелектрика?

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...

Справжнім чемпіоном серед провідників є срібло. Воно в десятки разів краще проводить електричний струм у порівнянні з іншими металами, наприклад сплавами нікелю та хрому. Срібло тримало лідерство більше ніж 100 років! Аж поки не були відкриті наноматеріали, з якими ви познайомилися в § 18. Уже є наукові підтвердження, що суміш міді з наноматеріалом графен проводить електричний струм краще, ніж срібло.

Існує багато речовин (наприклад, германій, кремній, арсен), які називають **напівпровідниками**. Зазвичай вони погано проводять електричний струм, і їх можна віднести до діелектриків. Однак якщо підвищити температуру, або збільшити освітленість, або додати домішки, у напівпровідниках з'являється достатня кількість вільних заряджених частинок і напівпровідники стають провідниками. Напівпровідники використовують для виготовлення радіоелектронної апаратури, сонячних батарей (рис. 31.3) тощо.

Рис. 31.2. Створення ліній електропередавання неможливе без використання провідників (1) і діелектриків (2)

Рис. 31.3. Напівпровідникові кристали використовують для виготовлення сонячних батарей

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Електричний струм — це напрямлений рух заряджених частинок.

Провідники — речовини, які добре проводять електричний струм *(метали, графіт, водні розчини солей, кислот і лугів, плазма)*.

Діелектрики — речовини, які погано проводять електричний струм *(порцеляна, гума, гас, кисень)*.

Вільні заряджені частинки

Електричне поле

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що таке електричний струм? 2. Сформулюйте умови виникнення та існування електричного струму. 3. Які речовини відносять до провідників, діелектриків, напівпровідників? Наведіть приклади. 4. Чому метали добре проводять електричний струм? 5. Наведіть приклади використання провідників і діелектриків.

Видавництво «Ранок»

ВПРАВА № 31

1. Запишіть назви кількох предметів, виготовлених із речовин, які є: а) провідниками; б) діелектриками.

2. Яким вимогам має відповідати матеріал для виготовлення корпусів розеток і вимикачів?

3. Чому важко, а іноді практично неможливо зарядити електроскоп у приміщенні з високою вологістю повітря?

4. Чому в досліді, описаному в п. 1 § 31, кондуктори електрометрів з'єднували металевим стрижнем (див. рис. 31.1)? Для чого стрижень був закріплений на пластмасовій ручці? Як зміняться результати досліду, якщо: а) замість металевого стрижня скористатися пластмасовим; б) зарядити електрометр A позитивно?

5. Чи рухаються вільні заряджені частинки в провіднику, коли в ньому немає струму? Поясніть свою відповідь.

6. Скористайтеся додатковими джерелами інформації та дізнайтеся, які речовини є найкращими діелектриками і де їх застосовують.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

Виготовте тестер електричної провідності й експериментально перевірте інформацію, що міститься в п. 3 цього параграфа.

Вам знадобиться: невелика батарея, на якій має бути надпис «4,5 В» або «9 В», ізольований дріт, лампочка від ялинкової гірлянди з дротами, пластмасовий корпус кулькової ручки, скотч та ножиці.

Зробіть петлю з ізольованого дроту та просуньте його кінці крізь корпус ручки. Акуратно звільніть кінці дроту від ізоляції і зав'яжіть їх у вузол, щоб вони не витягалися. На іншій частині петлі утворіть два розриви й також звільніть кожний кінець дроту від ізоляції. У перший розрив вмістіть звільнені від ізоляції кінці дротів від лампочки і скрутіть їх між собою. Кінці другого розриву приєднайте до контактів батареї і закріпіть скотчем (див. рисунок).

Перевірте роботу тестера: на короткий час з'єднайте кінці дротів, що виходять із корпуса ручки. Лампочка має засвітитися.

Перевірте електричну провідність різних речовин і складіть відповідні переліки. Не забудьте перевірити електропровідність води, водних розчинів солі та цукру.

Ключові терміни

Електричний струм · Провідники · Діелектрики · Напівпровідники

§ 32. ДІЇ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Ви вже знаєте, що електричним струмом називають процес напрямленого руху частинок, які мають електричний заряд. А як з'ясувати, чи тече в провіднику електричний струм?

1. Чому корпус ноутбука нагрівається під час роботи?

Теплова дія електричного струму виявляється в нагріванні провідника, у якому тече струм. Так, коли ви прасуєте, припаюєте деталь електричним паяльником, готуєте на електричній плиті або кип'ятите воду в електрочайнику, обігріваєте кімнату електричним нагрівником, то використовуєте побутові прилади, функціонування яких ґрунтується на тепловій дії електричного струму (рис. 32.1).

Теплову дію електричного струму широко використовують також у промисловості (зварювання, різання, плавлення металів) і сільському господарстві (обігрів теплиць та інкубаторів, сушіння зерна, сінажу).

Прояв теплової дії струму можна спостерігати й у природі: енергія, що виділяється під час спалаху блискавки, може спричинити лісову пожежу (рис. 32.2).

Пожежа внаслідок удару блискавки є прикладом, коли теплова дія струму виявляється шкідливою. Спробуйте навести інші приклади шкідливої теплової дії струму.

Рис. 32.1. Функціонування багатьох побутових приладів ґрунтується на тепловій дії електричного струму

Рис. 32.2. Досить часто лісові пожежі спричиняються блискавкою

Видавництво «Ранок»

Рис. 32.3. Електричні лампи — пристрої, у яких електрична енергія частково перетворюється на енергію світла: *а* — лампа розжарення (ККД — 5 %); *б* — люмінесцентна лампа (ККД — 10–20 %); *в* — світлодіодна лампа (ККД — 50 %)

Якщо в коло ввімкнути лампу розжарення, її нитка нагріється і почне випромінювати світло. У цьому випадку водночас із тепловою дією ми спостерігаємо *світлову дію електричного струму*. До речі, в лампі розжарення на світло перетворюється лише 5 % електричної енергії (рис. 32.3, *а*), тоді як в енергоощадних лампах — до 50 % електричної енергії (рис. 32.3, *б*, *в*).

Наведіть приклади світлової дії струму в природі.

2. Як отримати чистий метал за допомогою електричного струму?

Коли крізь розчини солей, кислот, лугів проходить струм, то на електродах, занурених у розчин, відбуваються хімічні реакції. У такому випадку ми маємо справу з *хімічною дією електричного струму*.

Так, якщо в посудину з водним розчином сульфату міді ($CuSO_4$) опустити два вугільні електроди й пропустити крізь розчин електричний струм (рис. 32.4, *а*), через деякий час один з електродів вкриється тонким шаром чистої міді (рис. 32.4, *б*).

На початку наступного року ви ознайомитеся з різними випадками хімічного розкладення речовин унаслідок дії електричного струму, а також дізнаєтеся про застосування цього явища.

Слід зазначити, що *хімічна дія струму виявляється не завжди*. Пропустивши струм, наприклад, через метали, ми не виявимо жодних хімічних змін.

Рис. 32.4. Дослід, який демонструє хімічну дію електричного струму: якщо протягом деякого часу пропускати струм крізь водний розчин сульфату міді (*а*), на одному з електродів з'явиться тонкий шар міді (*б*)

3. Як перетворити звичайний цвях на магніт?

Провідник, у якому тече електричний струм, набуває магнітних властивостей.

ДОСЛІДЖЕННЯ

Вам знадобиться: залізний цвях, ізольований дріт, скоби для степлера або залізні ошурки, батарейка, на якій має бути надпис «4,5 В» або «9 В».

Намотайте на цвях ізольований дріт і під'єднайте його до контактів батарейки. Піднесіть до кінців цвяха скоби для степлера або залізні ошурки і спостерігайте за їхньою поведінкою (див. рисунок).

Робота різноманітних електродвигунів, електровимірювальних приладів можлива тільки завдяки *магнітній дії електричного струму* (рис. 32.5). Докладніше про магнітну дію струму ви дізнаєтесь у 9 класі, вивчаючи магнітні явища.

Розглядаючи різні дії електричного струму, слід звернути увагу на те, що найчастіше кілька дій виявляються одночасно. Наприклад, під час досліду щодо спостереження хімічної дії струму (див. рис. 32.4) температура розчину сульфату міді, крізь який пропускають струм, поступово збільшується, а якщо біля посудини з розчином помістити магнітну стрілку, вона відхилиться.

Рис. 32.5. Робота більшості електровимірювальних приладів і електричних двигунів ґрунтується на магнітній дії струму

Видавництво «Ранок»

4. Дізнаємося про дію електричного струму на організми

Електричний струм чинить теплову, хімічну, магнітну дії на живі організми, у тому числі на людину. Напевно, деякі з вас відвідували в поліклініці кабінет фізіотерапії. Багато приладів, що є в цьому кабінеті, призначені для *електролікування*: теплову дію електричного струму використовують для прогрівання частин тіла, хімічну й магнітну — для стимулювання діяльності органів, поліпшення обміну речовин тощо (рис. 32.6, 32.7).

Слід, однак, пам'ятати, що далеко не завжди електричний струм діє на організм людини цілюще. Струм може викликати опік, судоми й навіть спричинити смерть. Тому перед тим, як користуватися будь-яким електроприладом чи пристроєм, слід уважно вивчити інструкцію до нього та неухильно її дотримуватися.

Об'єднайтеся в групи. Створіть опорний конспект (на папері або в електронному вигляді) за матеріалом параграфа, додавши власні приклади.

Оцініть опорний конспект за такими критеріями: лаконічність; повнота; структурованість; наочність; асоціативність.

Максимальний бал, який ви можете поставити за відповідність кожному критерію, — 12. Максимальний бал за конспект — 60.

Порівняйте результати роботи різних груп і оберіть найкращий варіант.

Рис. 32.6. Мікрострумова терапія — косметологічна процедура для відновлення шкіряного покриву та м'язів

Рис. 32.7. Електроміостимуляція — метод стимуляції нервових тканин для відновлення рухової активності м'язів

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...

Слово «маглев» не має відношення до царя звірів. Цей термін з'явився в результаті об'єднання частин двох слів «магніт» та «левітація» і означає паріння в повітрі завдяки дії магніту. Найвідоміший маглев — це китайський поїзд, який вже 20 років курсує між аеропортом Шанхая та центром міста, долаючи відстань 30 км за 8 хв 01 с. Саме він показаний на заставці до цього параграфа. Перед початком руху поїзд завдяки магнітній дії електричного струму піднімається над монорейкою і далі рухається із шаленою швидкістю, не торкаючись поверхні. Максимальна швидкість маглева справді вражає — 431 км/год, а це приблизно швидкість винищувачів часів Другої світової війни. Ще більш амбітний проєкт розробляється в Японії. Там планується до 2037 року з'єднати маглевом Токіо та Осаку (дистанція ~ 500 км), тим самим скоротивши час подорожі до години з теперішніх чотирьох.

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Як дізнатися, чи проходить у провіднику струм? 2. Перелічіть дії електричного струму. 3. Доведіть, що електричний струм чинить теплову дію; може чинити світлову дію. 4. Опишіть дослід, який підтверджує, що електричний струм чинить хімічну дію. 5. Чи завжди виявляється хімічна дія струму? 6. Що слід зробити, щоб намагнітити залізний цвях? 7. Наведіть приклади на підтвердження того, що електричний струм діє на організм людини. Як ця дія виявляється? Де її використовують?

Видавництво «Ранок»

ВПРАВА № 32

1. Наведіть не згадані в параграфі приклади побутових технічних пристроїв, робота яких ґрунтується на тепловій дії струму.
2. Чому користування електричними приладами та пристроями вимагає особливої обережності?
3. Чому спалах блискавки супроводжується громом?
4. Деякі риби, наприклад електричний скат і електричний вугор, використовують дію електричного струму для захисту, полювання, орієнтації в просторі. Скористайтеся додатковими джерелами інформації та дізнайтеся про таких риб більше.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

За допомогою тестеру провідності (див. завдання до § 31, с. 196) експериментально підтвердьте, що струм чинить теплову, хімічну і магнітну дії.

Приготуйте графітовий стрижень від олівця, компас, 2 шматки ізольованого дроту завдовжки 30–50 см, стаканчик із розчином харчової соди.

Звільнивши кінці двох дротів від ізоляції, примотайте кожен із дротів до графітового стрижня. Вільні кінці дротів під'єднайте до вільних кінців дротин тестера провідності. Лампочка тестера має загорітися. Торкніться тестером графітового стрижня і переконайтеся, що температура стрижня підвищується.

Від'єднайте дроти від стрижня і вмістіть вільні кінці дротин у стаканчик із розчином харчової соди. Спостерігайте, як біля кінців дротин будуть виділятися пухирці газу.

Візьміть компас та обмотайте його одним із дротів. Покладіть компас на стіл та зачекайте, поки стрілка компаса не зорієнтується. З'єднайте кінці дроту, намотаного на компас, із тестером провідності. Спостерігайте за поведінкою стрілки.

Ключові терміни

Дії електричного струму: теплова, світлова, хімічна, магнітна

Видавництво «Ранок»

§ 33. ДЖЕРЕЛА ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Згадайте умови існування електричного струму і сформулюйте гіпотезу щодо пристроїв, які можуть «відповідати» за наявність електричного поля.

1. Які пристрої називають джерелами струму?

За створення електричного поля «відповідають» *джерела струму*.

У джерелах електричного струму електричне поле створюється й підтримується завдяки розділенню різнойменних електричних зарядів. У результаті на одному полюсі джерела накопичуються частинки, що мають позитивний заряд, а на іншому — частинки, що мають негативний заряд. Між полюсами виникає електричне поле.

Однак розділити різнойменні заряди не так просто, адже між ними існують сили притягання. Для розділення різнойменних зарядів, а отже, для створення електричного поля необхідно виконати роботу. І виконати її можна, використовуючи механічну, хімічну, теплову та інші види енергії.

Джерела електричного струму — пристрої, які перетворюють різні види енергії на електричну енергію.

2. Чим фізичні джерела струму відрізняються від хімічних?

Усі джерела електричного струму можна умовно розділити на фізичні і хімічні.

До *фізичних джерел електричного струму* прийнято відносити пристрої, у яких розділення зарядів відбувається завдяки механічній, світловій або тепловій енергії. Прикладами таких джерел струму можуть бути турбогенератори електростанцій (рис. 33.1),

Рис. 33.1. Турбогенератори, що перетворюють механічну енергію обертання турбін на енергію електричного струму, виробляють значну долю споживаної у світі електроенергії

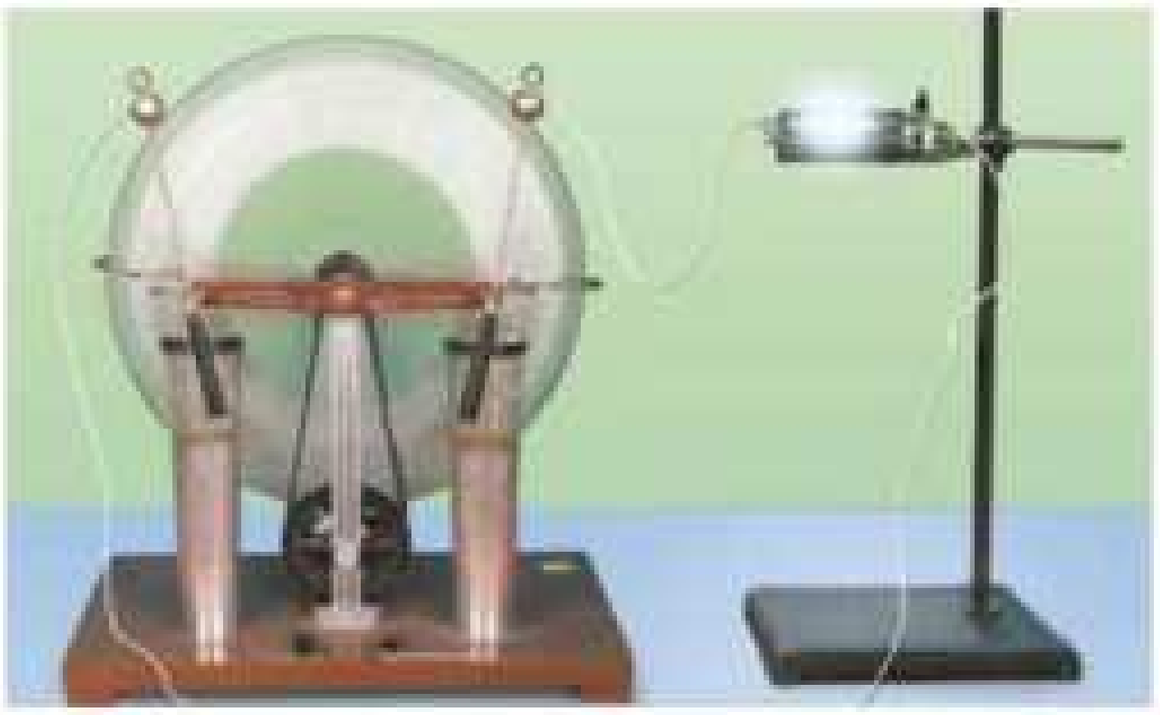


Рис. 33.2. Якщо різнойменно заряджені кондуктори електрофорної машини з'єднати з електричною лампою, у лампі виникне електричний струм. Лампа світитиметься, поки обертаються диски машини, — у цьому випадку механічна енергія перетворюється на електричну

Рис. 33.3. Сонячні батареї супутника дистанційного зондування Землі постачають електроенергію для всієї дослідницької апаратури. Сонячні батареї перетворюють енергію світла на електричну енергію

електрофорна машина (рис. 33.2), фото- і термоелементи (рис. 33.3, 33.4), вітроелектростанції тощо.

Хімічними джерелами електричного струму називають пристрої, у яких розподіл зарядів відбувається завдяки енергії, що виділяється внаслідок хімічних реакцій. До хімічних джерел струму належать *гальванічні елементи й акумулятори.*

Який вид енергії перетворюється на електричну енергію в динамо-генераторі велосипеда? у вітровому генераторі?

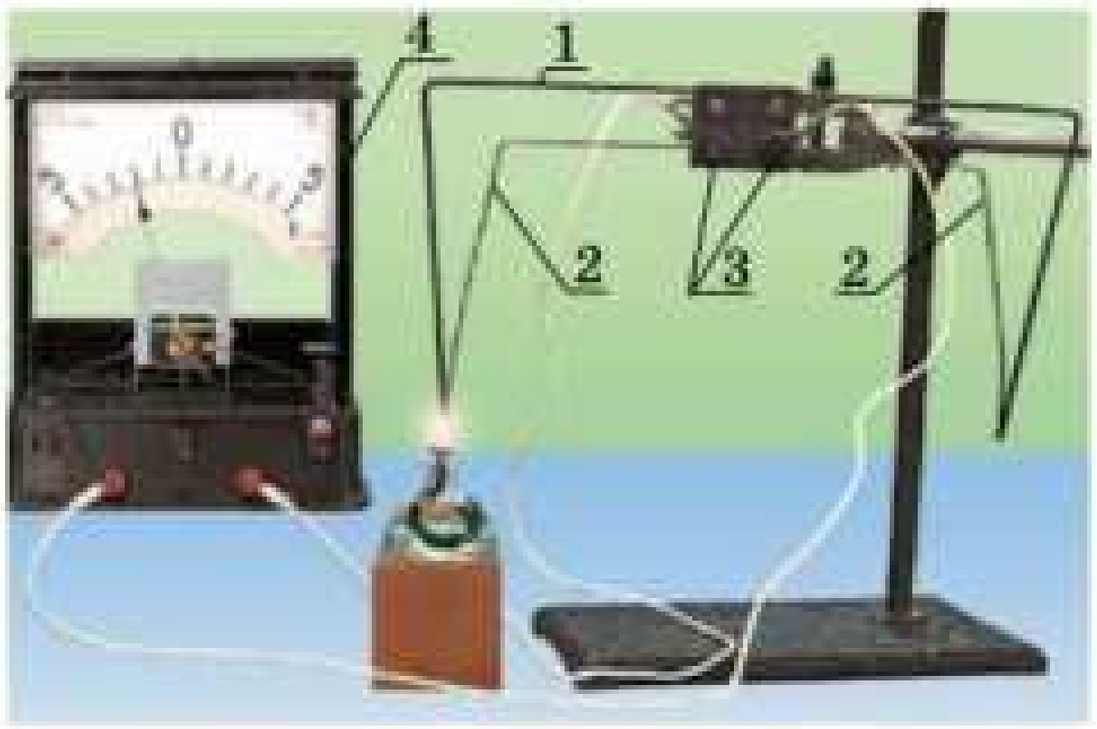


Рис. 33.4. Термопара — пристрій для перетворення теплової енергії на електричну. До кінців константанового дроту (1) припаяно два залізні дроти (2), вільні кінці яких (3) з'єднані з гальванометром* (4). Якщо нагріти місце спаю, гальванометр зафіксує наявність струму

3. Як створити гальванічний елемент?

Візьмемо мідну й цинкову пластинки та очистимо їхні поверхні. Між пластинками покладемо тканину, змочену в слабкому розчині сульфатної кислоти. Виготовлений пристрій являє собою найпростіший *гальванічний елемент* (рис. 33.5). Якщо з'єднати пластинки через *гальванометр**, то прилад зафіксує наявність струму.

Гальванічний елемент створив італійський учений *А. Вольта*

* *Гальванометр* — чутливий електровимірювальний прилад, який часто використовують як індикатор наявності слабкого електричного струму.

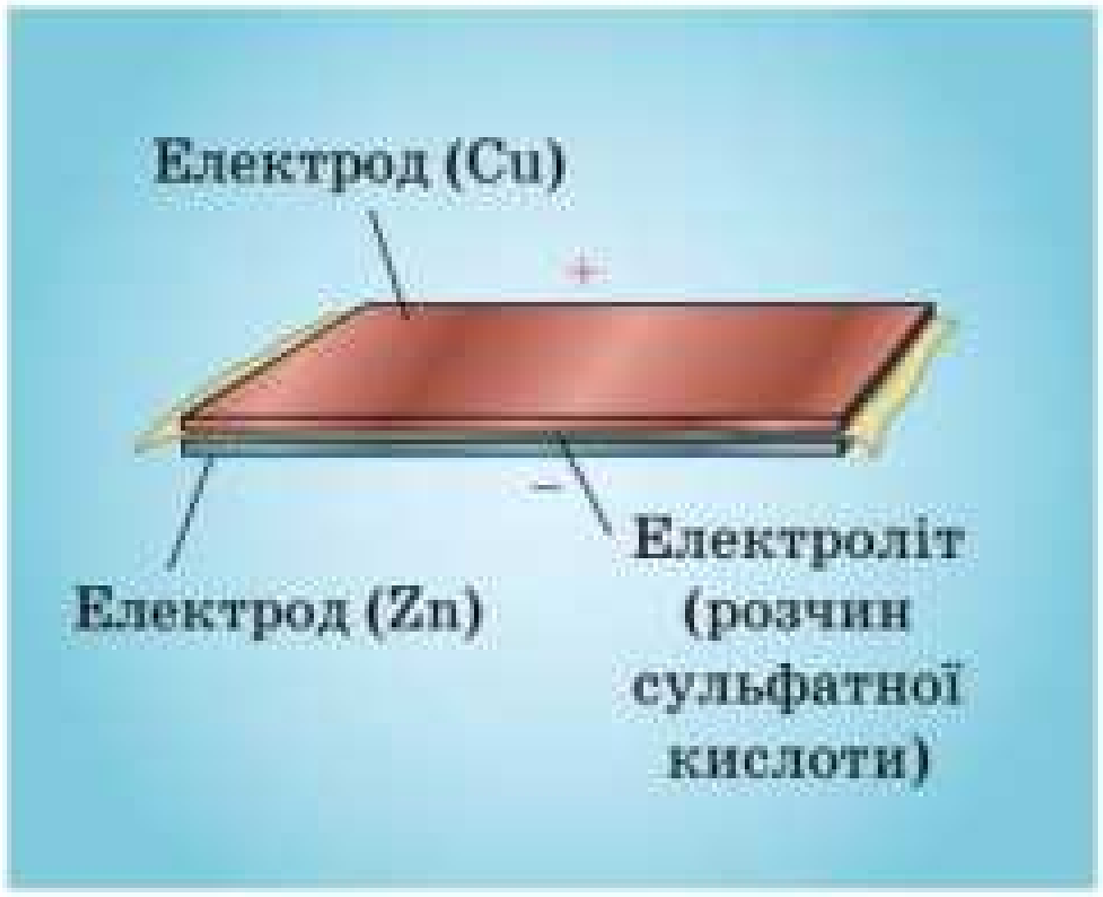


Рис. 33.5. Найпростіший гальванічний елемент

Рис. 33.6. Алессандро Во́льта (1745–1827) — італійський фізик, винахідник батареї гальванічних елементів («вольтів стовп»)

(рис. 33.6); він назвав його на честь свого співвітчизника — анатома і фізіолога *Луїджі Гальва́ні* (1737–1798). Досліди, описані Гальвані, підказали А. Вольті ідею створення хімічного джерела струму.

Будь-який гальванічний елемент складається з *двох електродів* та *електроліту*.

Між електродами й електролітом відбуваються хімічні реакції, в результаті яких один з електродів набуває позитивного заряду, а інший електрод — негативного заряду. Коли запас речовин, що беруть участь у реакціях, вичерпується, гальванічний елемент припиняє роботу.

4. Чи відрізняются акумулятори від гальванічних елементів?

Із часом гальванічні елементи стають непридатними до роботи, і їх не можна використати вдруге. А от інший вид хімічних джерел електричного струму — *електричні акумулятори* — можна використовувати багаторазово.

Акумулятори, як і гальванічні елементи, складаються з двох електродів, поміщених в електроліт. Так, свинцевий акумулятор, використовуваний в автомобілях, має електрод зі свинцю, а інший — з оксиду свинцю; електролітом слугує водний розчин сульфатної кислоти.

Якщо електроди (полюси) зарядженого акумулятора під'єднати, наприклад, до електричної лампи розжарення, то в її нитці потече струм. Усередині ж акумулятора відбуватимуться хімічні реакції, у результаті яких електрод зі свинцю весь час буде заряджений негативно, а електрод з оксиду свинцю — позитивно. При цьому сульфатна кислота перетворюватиметься на воду. Коли концентрація сульфатної кислоти зменшиться до певного граничного значення, акумулятор розрядиться — припинить

Видавництво «Ранок»

роботу. Однак його можна знову зарядити. Під час заряджання акумулятора хімічні реакції йдуть у зворотному напрямку і концентрація сульфатної кислоти відновлюється.

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...

Паливні елементи є одним із перспективних мобільних джерел електричної енергії. Вони знаходяться, так би мовити, посередині між традиційними джерелами, які перетворюють теплову енергію на електрику, та акумуляторами. З обох видів джерел енергії паливні елементи «взяли» найкраще. Вони позбавлені недоліка акумуляторів — періодичного розряджання, і в них немає важкого генератора. Ще одна перевага — паливом слугує водень (гідроген), результатом згоряння якого є вода. Тобто паливні елементи не створюють шкідливих викидів в атмосферу. На жаль, ціна цих елементів є дуже високою. Тому у світі загальна кількість транспортних засобів — автомобілів, автобусів, літаків, поїздів, кораблів, які використовують паливні елементи, ще незначна, хоча вже існують заправні станції (див. рисунок).

5. Де і як застосовують хімічні джерела електричного струму?

Акумулятори, як і гальванічні елементи, зазвичай об'єднують й одержують відповідно *акумуляторну батарею* і *батарею гальванічних елементів* (рис. 33.7).

Рис. 33.7. Широко використовувані хімічні джерела електричного струму: батарея гальванічних елементів (*а*); акумуляторні батареї (*б*, *в*)

За принципом дії сучасні хімічні джерела струму майже не відрізняються від тих, що були створені близько двох століть тому. При цьому нині існує велика кількість різноманітних видів гальванічних елементів і акумуляторів та здійснюється активна розробка нових. Один від одного вони відрізняються розмірами, масою, енергоємністю, терміном роботи, надійністю, безпекою, вартістю тощо.

Вибір того чи іншого хімічного джерела струму зумовлений сферою його застосування. Так, в автомобілях з бензиновими двигунами доцільно використовувати відносно дешеві кислотні акумуляторні батареї, і те, що вони досить важкі, не є вирішальним. А от джерела струму для мобільних телефонів мають бути легкими та безпечними, тому в них варто використовувати, наприклад, літій-йонні батареї, хоча вони є порівняно дорогими.

А ЯК НАСПРАВДІ?

Ведучий подкаста почав дискусію щодо альтернативних джерел електричної енергії. Як перший приклад він розмістив фото припливної електростанції (рис. 1). Вона дуже нагадує масив вітряних генераторів, тільки розміщена під водою. Коли починається приплив, підводні «вітряки» обертаються в один бік, під час відпливу — у протилежний.

З другим прикладом виникла проблема. Ведучий зазначив: «Я точно знаю, що існують хвильові генератори, які гойдаються на хвилях та виробляють електричну енергію. Я навіть отримав від одного зі слухачів схему такого генератора (рис. 2). На жаль, це схема, а не фото. До того ж без пояснень. Тому я не знаю, чи може працювати цей прилад, чи то чиїсь фантазії».

А як думаєте ви? Чи може прилад, схематично зображений на рис. 2, виробляти електричну енергію?

Рис. 1

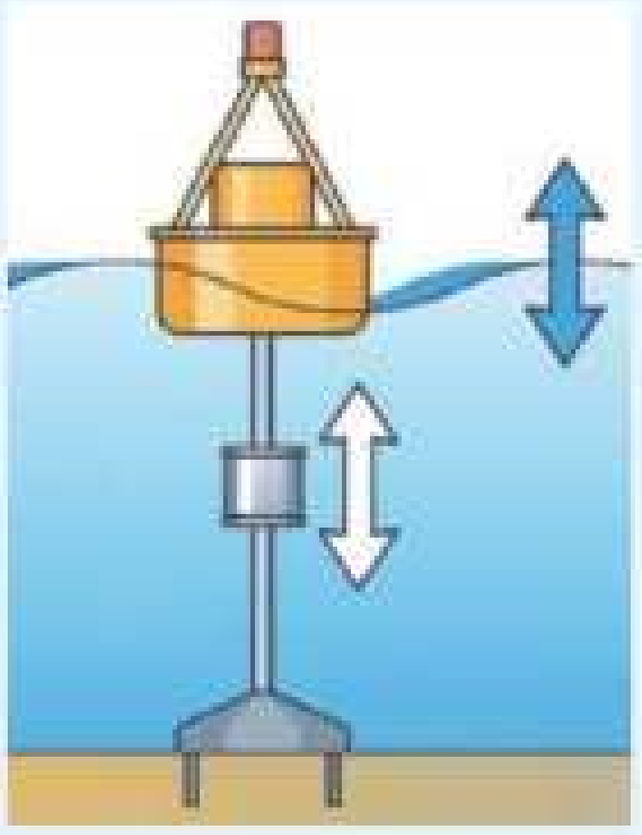


Рис. 2

Видавництво «Ранок»

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

ДЖЕРЕЛА ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ
пристрої, які перетворюють різні види енергії (механічну, теплову, хімічну тощо) на електричну енергію.

Відбувається розділення різнойменних електричних зарядів, у результаті чого на одному полюсі накопичуються позитивні заряди, на іншому — негативні, а отже, створюється електричне поле.

Хімічні джерела

Гальванічні елементи (*одноразово*)

Акумулятори (*багаторазово*)

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Які пристрої називають джерелами електричного струму? 2. Які процеси відбуваються в джерелах електричного струму? 3. Чому для розділення різнойменних зарядів необхідно виконати роботу? 4. Завдяки якій енергії може здійснюватися розділення різнойменних зарядів у джерелі електричного струму? 5. Які джерела електричного струму ви знаєте? Наведіть приклади їх використання в техніці.

ВПРАВА № 33

1. Які перетворення енергії відбуваються: а) під час заряджання акумулятора? б) під час роботи акумулятора?

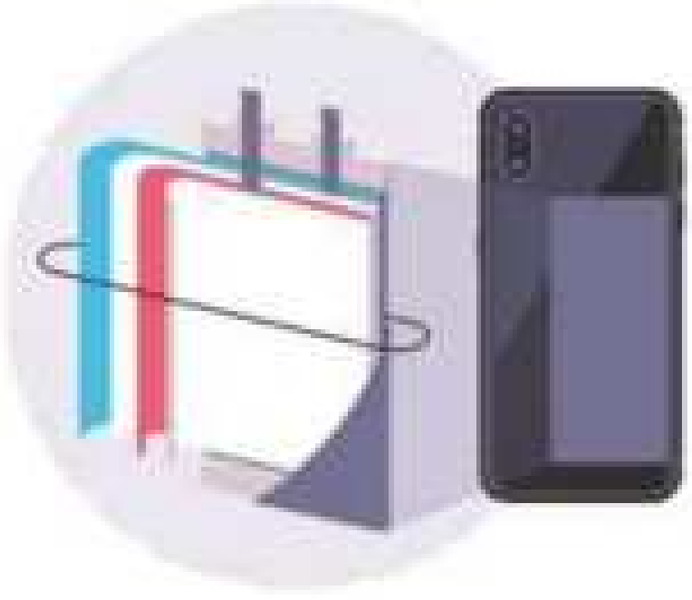
2. Як на двох електрометрах, з'єднаних металевим провідником (див. рис. 31.1, *б*), підтримувати протилежні за знаком електричні заряди?

3. Які перетворення енергії відбуваються під час роботи гідроелектростанції?

4. Чи працюватиме найпростіший гальванічний елемент (див. рис. 33.5), якщо для його виготовлення взяти пластинки з однакового металу?

5. На рисунку зображено структуру й основні складові гальванічного елемента (батарейки) типу АА і літій-йонного акумулятора. Визначте, де який пристрій, і коротко опишіть принцип роботи кожного з них.

а



б

6. Скористайтеся додатковими джерелами інформації та дізнайтеся, які спостереження та досліди Л. Гальвані підштовхнули А. Вольту до створення хімічного джерела електричного струму.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

«Фруктова батарейка». Візьміть лимон, мідну монету (або дріт), залізний цвях і виготовте із цих предметів гальванічний елемент. Намалюйте його будову, зазначте назви основних елементів. Якщо у вас є тестер (мультиметр), переконайтеся, що ваше джерело струму працює. Якщо тестера немає, принесіть ваш пристрій до школи та перевірте його за допомогою гальванометра. Поміркуйте, яким фруктом або овочем можна замінити лимон.

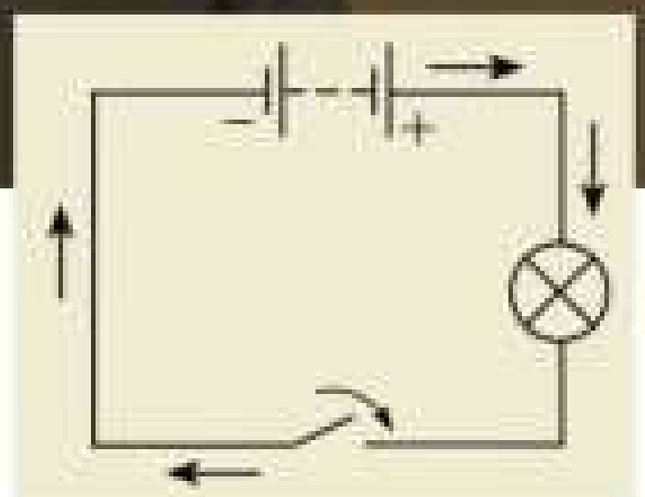
Ключові терміни

Джерела електричного струму • Гальванічні елементи • Акумулятори

Видавництво «Ранок»

mk.com.ua/
110507

§ 34. ЕЛЕКТРИЧНЕ КОЛО ТА ЙОГО ЕЛЕМЕНТИ



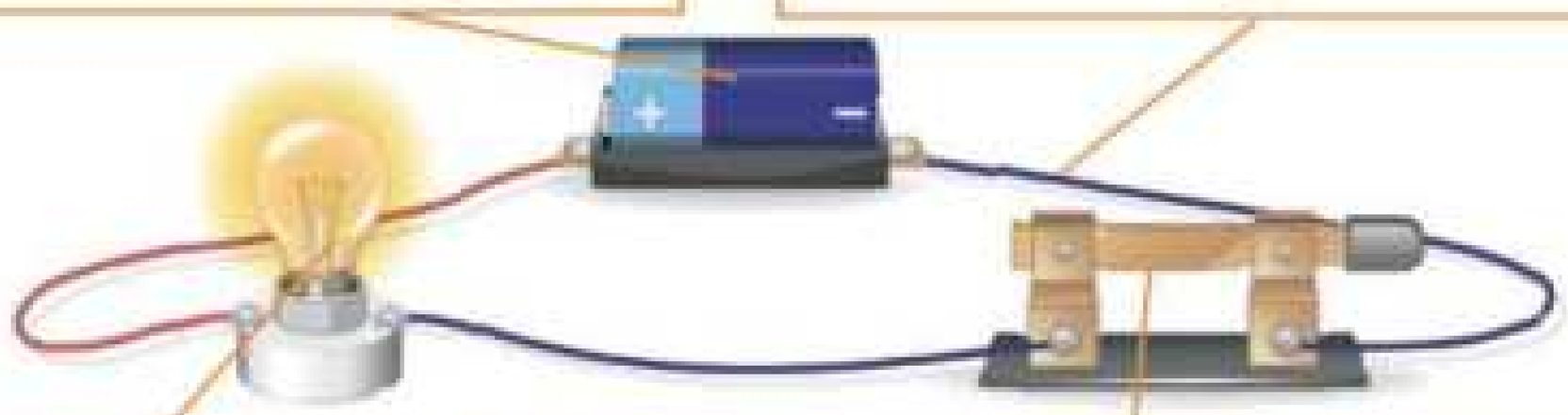
ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Що, на ваш погляд, зображено на рисунку? Які реальні об'єкти можуть «ховатися» за кожним позначенням?

1. Як скласти найпростіше електричне коло?

Будь-який електричний пристрій має певний набір обов'язкових елементів: джерело струму, споживач електричної енергії, з'єднувальні проводи, замикальний (розмикальний) пристрій. Щоб виділити ці елементи та зрозуміти їхнє призначення, створимо модель найпростішого електричного пристрою — кишенькового ліхтарика (рис. 34.1).

Джерело струму — батарея гальванічних / акумуляторних елементів. Батарея має два виводи (полюси): позитивний і негативний.

З'єднувальні елементи — проводи. Для кріплення проводів використовують спеціальні пристрої (рис. 34.2), паяння або зварювання*



Споживач електричної енергії — електрична лампа. Будь-який споживач має два виводи**

Замикальний (розмикальний) пристрій — ключ. Поряд із ключем використовують інші пристрої: рубильник, механічний або електронний вимикач, кнопку, розетку, реле тощо

Рис. 34.1. Модель найпростішого електричного пристрою (ліхтарика)

---

* У поданій моделі довжину з'єднувальних проводів штучно зроблено надмірною. На практиці конструктори максимально зменшують усі «зайві» елементи.

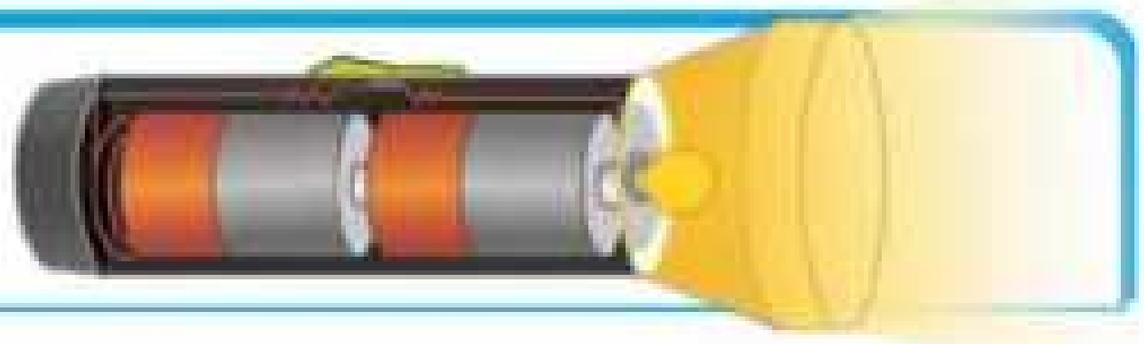
** У лампі виводи розташовані на цоколі — металевому циліндрі з нарізкою, що з'єднаний зі скляним балоном.

Видавництво «Ранок»

Рис. 34.2. Різні затискачі (клеми) для з'єднування проводів: акумуляторні (*а*); високовольтні (*б*); заземлення (*в*); ножові (*г*); приладні (*д*)

З'єднані провідниками в певному порядку джерело струму, споживачі, замикальні (розмикальні) пристрої складають **електричне коло.**

Знайдіть на рисунку всі обов'язкові елементи електричного кола ліхтарика.



Зверніть увагу: в реальному пристрої важливим є *певний порядок з'єднання елементів електричного кола.*

На рис. 34.3 зображено два найпростіші електричні кола, які містять однакові елементи. При цьому спосіб з'єднання деяких елементів (ламп) є різним. На рис. 34.3, *а* лампи з'єднані *послідовно*, на рис. 34.3, *б* — *паралельно.*

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...

Більша частина пасажирського міського транспорту, а також міжміські поїзди використовують електричну енергію для свого руху. Обов'язкові елементи електричного кола, без яких транспортний засіб не поїде, — це джерело струму (міська електростанція), споживач — елементи конструкції (двигун, освітлення тощо) та з'єднувальні проводи. Останні — це проводи електромережі, пантограф і рейки (див. рисунок).

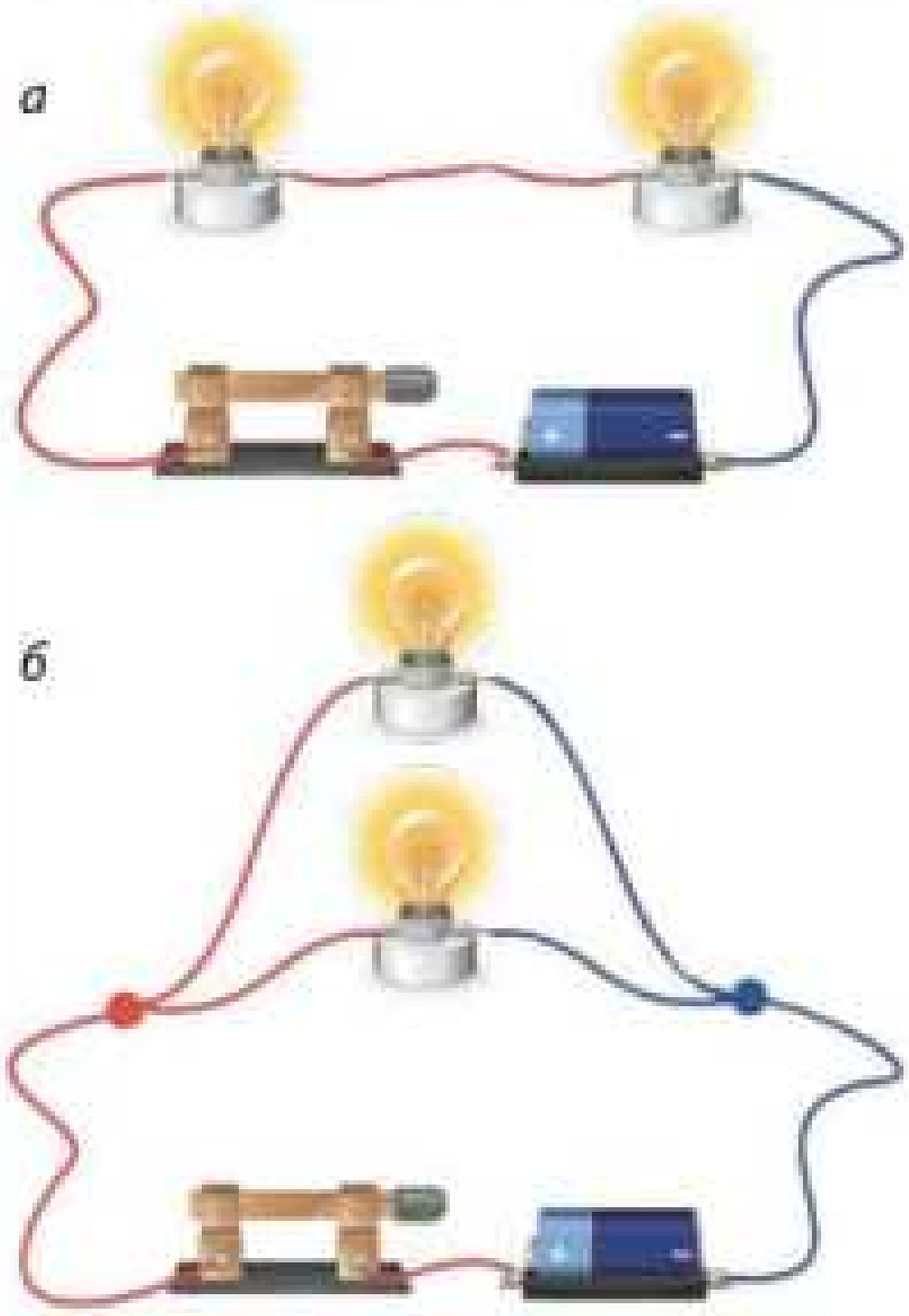
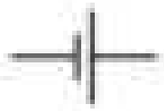
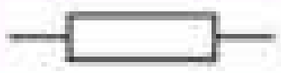
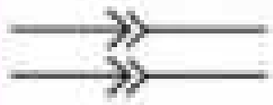
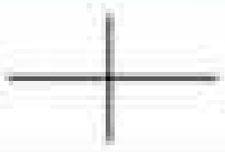


Рис. 34.3. Два способи з'єднання ламп в електричному колі: *а* — послідовне; *б* — паралельне

Деякі умовні позначення, застосовувані на схемах

Елемент електричного кола	Умовне позначення
Гальванічний елемент або акумулятор	
Батарея гальванічних елементів або акумуляторів	
Резистор	
Електричний дзвінок	
Штепсельна розетка	
З'єднання проводів	
Перетин проводів (без з'єднання)	
Затискачі для під'єднання	
Ключ	
Електрична лампа	
Нагрівальний елемент	
Запобіжник	

2. Як накреслити електричну схему?

Щоб показати, які саме електричні пристрої необхідні для одержання певного електричного кола і як їх потрібно з'єднувати, використовують *електричні схеми* (часто їх називають просто *схемами*).

Електрична схема — це креслення, на якому умовними позначеннями показано, з яких елементів складається електричне коло і в який спосіб ці елементи з'єднані між собою.

Умовні позначення деяких елементів електричного кола наведено в таблиці.

Зверніть увагу на позначення джерел струму (гальванічного елемента або акумулятора та батареї гальванічних елементів або акумуляторів): прийнято, що довга риска позначає позитивний полюс джерела струму, а коротка — негативний. Напрямок струму показують на схемах стрілкою.

За напрямок струму в колі прийнято напрямок, у якому рухалися б по колу частинки, що мають позитивний заряд, тобто напрямок від позитивного полюса джерела струму до негативного.

Зверніть увагу: в металевому провіднику електрони під дією електричного поля джерела струму рухаються від негативного полюса до позитивного, тобто *напрямок руху електронів є протилежним прийнятому напрямку струму.*

На рисунку до питання для обговорення та рис. 34.4 наведено схеми електричних кіл, зображених на рис. 34.1 і 34.3 відповідно, та показано напрямок струму в колах.

Видавництво «Ранок»

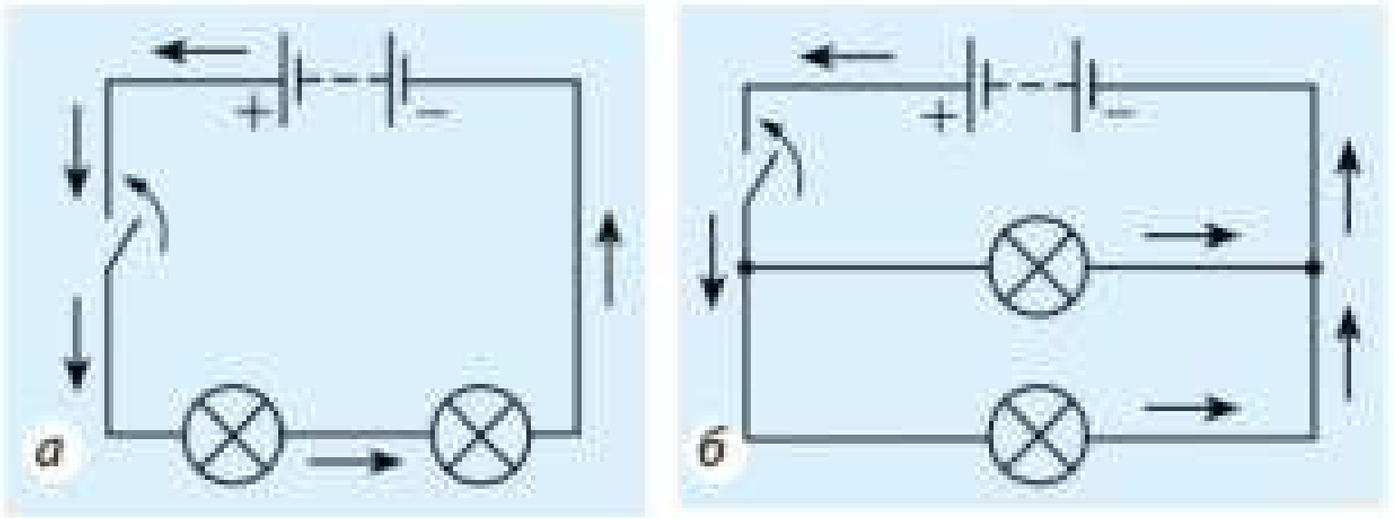


Рис. 34.4. Схеми деяких електричних кіл: *а* — схема послідовного з'єднання двох ламп (див. рис. 34.3, *а*); *б* — схема паралельного з'єднання двох ламп (див. рис. 34.3, *б*). Стрілками позначено напрямок струму в разі замкнення ключа

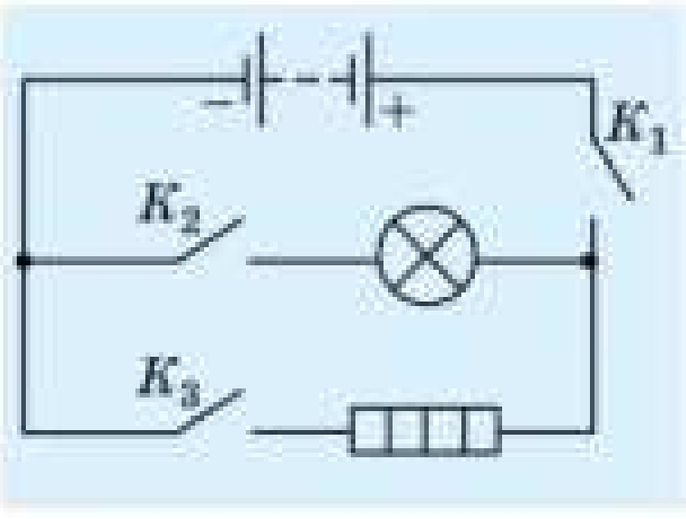


Рис. 34.5. Схема вмикання електричної лампи та обігрівача

Розглянемо схему складнішого електричного кола (рис. 34.5).

Коло має три замикальні пристрої (ключі), два споживачі струму (електричну лампу та електрообігрівач) і джерело струму (акумуляторну батарею).

Якщо замкнути ключі K_1 і K_2, а ключ K_3 розімкнути, то коло, споживачем у якому є лампа, буде замкнене на джерело струму — і лампа світитиметься. Якщо замкнути ключі K_1 і K_3, а ключ K_2 розімкнути, то працюватиме електрообігрівач, а лампа світитися не буде. Якщо ж замкнути всі три ключі, то одночасно світитиметься лампа і працюватиме електрообігрівач.

Чи буде працювати хоча б один споживач, якщо розімкнути тільки ключ K_1? якщо замкнути тільки ключ K_1? Якщо буде, то який?

А ЯК НАСПРАВДІ?

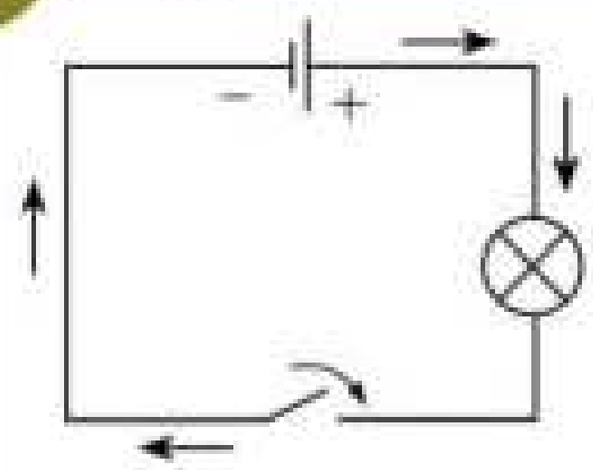
Блогер на своєму каналі ініціював обговорення власної ідеї: замінити сталеві рейки для поїздів на бетонні. На його думку, це дозволить у стислі строки подвоїти довжину «залізничної» колії. Блогер навів такі аргументи: а) Україна виготовляє бетону більше, ніж сталі; б) бетон значно дешевший.

У ході обговорення практично всі опоненти сумнівалися в тому, що бетон витримає тиск важких залізничних вагонів. Дехто навіть припустив думку, що новітні рейки будуть зруйновані вже при першому проїзді поїзда.

Як ви вважаєте, можливе руйнування бетону під час руху поїздів — це єдиний аргумент «проти» запропонованої ідеї? Чи існують більш переконливі?

Видавництво «Ранок»

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ



За напрямок струму в колі умовно прийнято напрямок від позитивного полюса джерела струму до негативного.

Електричне коло

- джерело струму
- споживач електричної енергії
- замикальний (розмикальний) пристрій
- з'єднувальні проводи

Електрична схема — креслення, на якому умовними позначеннями показано, з яких елементів складається електричне коло і в який спосіб ці елементи з'єднані між собою.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Назвіть основні елементи електричного кола. 2. Наведіть приклади споживачів електричної енергії. 3. З якою метою в електричних колах використовують ключ? 4. Що називають електричною схемою? 5. Як на електричних схемах зображують гальванічний елемент? батарею гальванічних елементів? електричний дзвінок? ключ? 6. Який напрямок прийнято за напрямок струму в електричному колі?

ВПРАВА № 34

1. На рис. 1 зображено схему електричного кола. Перенесіть схему до зошита, знаками «+» і «−» позначте полюси джерела струму, стрілками покажіть напрямок електричного струму. Підпишіть назву кожного елемента кола.

Видавництво «Ранок»

2. Накресліть схему електричного кола, зображеного на рис. 2, стрілками покажіть напрямок струму в колі.

Рис. 1

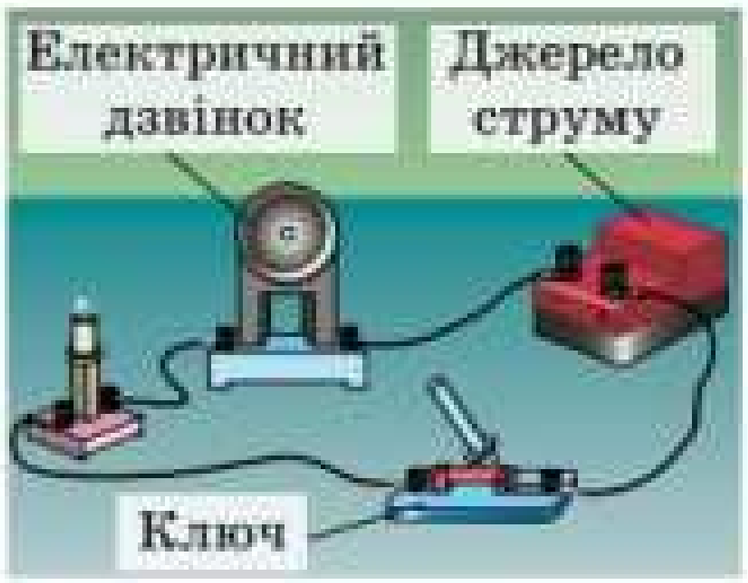


Рис. 2

3. Накресліть схеми електричних кіл, зображених на рис. 3, *а–в*, стрілками покажіть напрямок струму в колах.

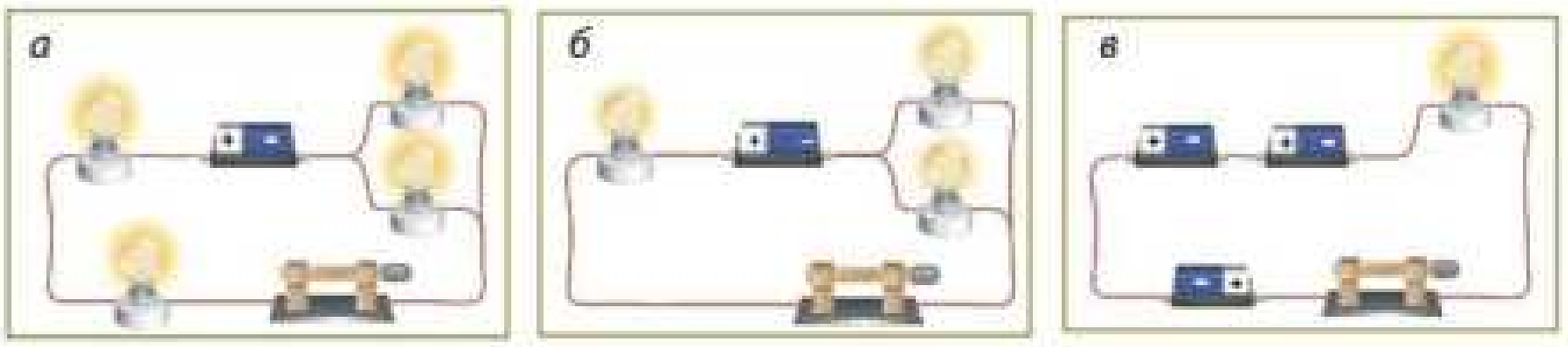


Рис. 3

4. Електричне коло складається з батареї акумуляторів, двох ключів, дзвінка та лампи. Один ключ може вмикати тільки лампу, а другий — тільки дзвінок. Накресліть схему електричного кола.

5. Накресліть схему електричного кола, яке містить два дзвінки, що вмикаються одночасно одним ключем, і батарею гальванічних елементів. (*Зверніть увагу:* завдання можна виконати двома способами.) Де можна застосувати таке з'єднання?

6. Електричне коло складається з батареї акумуляторів, дзвінка, ключа та лампи, причому лампа світиться весь час, а дзвінок вмикається тільки в разі замкнення ключа. Накресліть схему електричного кола.

7. Ознайомтеся з матеріалом «Механічний аналог електричного кола» (див. інтерактивний електронний додаток) і дайте відповіді на такі запитання: а) механічним аналогом якого елемента електричного кола є трубка з водою? б) як пояснити роль джерела струму, використовуючи механічну аналогію?

Ключові терміни

Електричне коло • Електрична схема

§ 35. СИЛА СТРУМУ

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Чому блискавку вважають дуже небезпечним природним явищем? Що відрізняє її від іскорок, які ми бачимо, коли знімаємо взимку светр?

1. Що називають силою струму?

У металевому стрижні (металевому провіднику) є велика кількість носіїв струму — вільних заряджених частинок, а саме електронів.

Коли в стрижні не тече струм, рух електронів у ньому хаотичний. Тому можна вважати, що кількість електронів, які за одну секунду проходять через поперечний переріз стрижня (рис. 35.1) зліва направо, дорівнює кількості електронів, що проходять через нього справа наліво.

Рис. 35.1. Уявно розрізавши стрижень, одержуємо його поперечний переріз

Якщо приєднати стрижень до джерела струму, в провіднику виникне електричне поле, внаслідок дії якого електрони почнуть рухатися напрямлено і кількість електронів, які проходять за певний час через поперечний переріз в одному напрямку, істотно збільшиться. Отже, у цьому напрямку через поперечний переріз стрижня буде перенесено певний заряд q.

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

Силу струму позначають символом I та визначають за формулою:

$$I = \frac{q}{t},$$

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

Видавництво «Ранок»

2. Яка сила струму вже є небезпечною для людини?

Одиниця сили струму в СІ — **ампер**:

$$[I] = \text{А}.$$

Ця одиниця названа на честь французького вченого *А. Ампера* (рис. 35.2).

Ампер — одна з основних одиниць СІ (рис. 35.3). Крім ампера, на практиці часто застосовують кратні й частинні одиниці сили струму. Так, для вимірювання малої сили струму використовують *міліампери* (мА) і *мікроампери* (мкА), великої сили струму — *кілоампери* (кА).

Щоб уявити, що означає велика та мала сила струму, розглянемо декілька прикладів. Сила струму в каналі блискавки сягає 50 кА, сила струму в аксоні під час передавання нервового імпульсу становить лише 0,004 мкА, а середня сила струму під час лікування електрофорезом — 0,8 мА.

Рис. 35.2. Андре-Марі Ампер (1775–1836) — французький фізик, математик і хімік, один із засновників учення про електромагнітні явища. Ампер першим увів у фізику поняття електричного струму

Згадайте, яким множникам відповідають префікси кіло-, мікро-, мілі- та подайте наведені значення сили струму в амперах.

Значення сили струму в деяких електротехнічних пристроях наведено на рис. 35.4.

Струм силою 1 мА, якщо він проходить крізь тіло людини, вже небезпечний для неї. Струм силою 100 мА може призвести до серйозних уражень. Тому, щоб не наражатися на смертельну небезпеку під час роботи з електротехнічними приладами й пристроями, необхідно суворо дотримуватися правил безпеки. Загальну інструкцію з безпеки подано на форзаці. Ми ж зупинимося на головних моментах, які необхідно пам'ятати всім, хто має справу з електрикою.

Рис. 35.3. Основні одиниці фізичних величин Міжнародної системи одиниць (СІ)

НЕ МОЖНА:

- торкатись оголеного проводу, особливо стоячи на землі, сирій підлозі тощо;
- користуватися несправними електротехнічними пристроями;
- збирати, розбирати, ремонтувати електротехнічні пристрої, не від'єднавши їх від джерела струму.

Видавництво «Ранок»

Рис. 35.4. Значення сили струму в деяких електротехнічних пристроях

А ЯК НАСПРАВДІ?

На одній із сторінок соціальних мереж під відповідним відео розгорілася дискусія. Дописувач стверджував, що вільному електрону в провіднику необхідно кілька десятків хвилин, щоб подолати відстань близько метра. А інший йому заперечував і як аргумент наводив факт майже миттєвого загоряння лампочки в люстрі після включення вмикача, який розташований за декілька метрів від люстри. Хто, на вашу думку, є правим у цій дискусії?

3. Що називають 1 кулоном?

Знаючи одиницю сили струму, легко одержати означення одиниці електричного заряду в СІ. Оскільки $I = \frac{q}{t}$, то $q = It$. Отже:

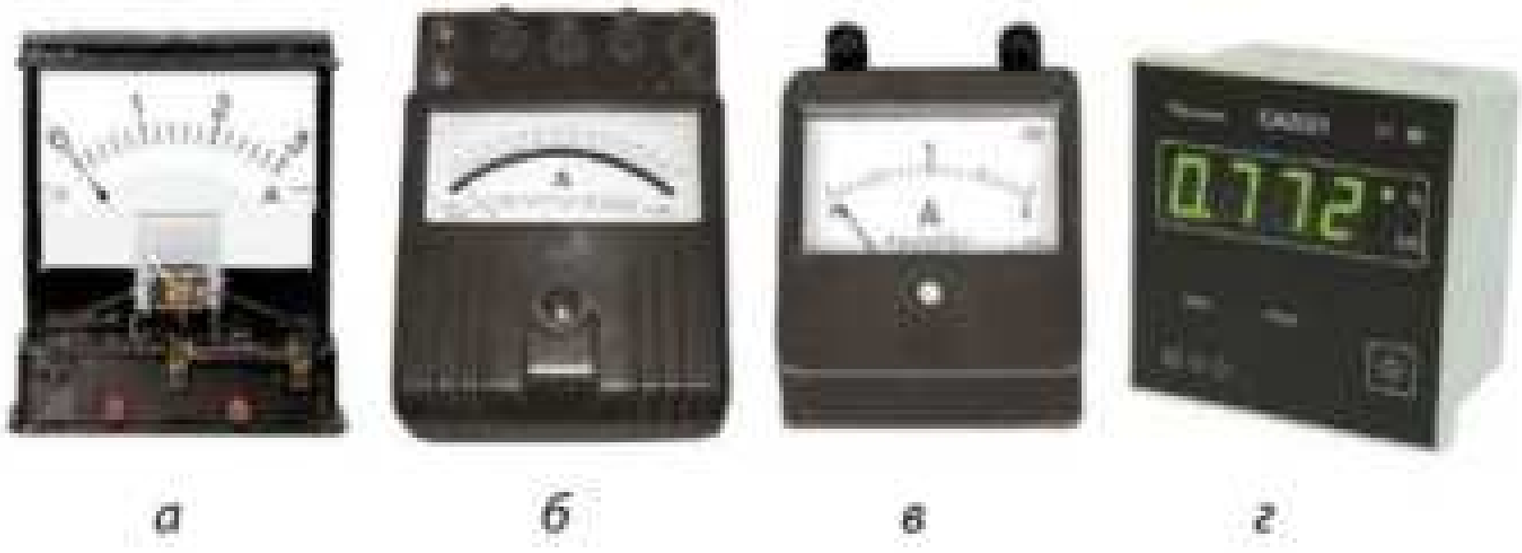
$$1\,\text{Кл} = 1\,\text{А} \cdot \text{с}.$$

1 Кл — *це заряд, який проходить через поперечний переріз провідника за* 1 с *при силі струму в провіднику* 1 А.

4. Як вимірювати силу струму?

Для вимірювання сили струму використовують прилад, який називається **амперметр** (рис. 35.5, 35.6).

(A) — умовне позначення амперметра на електричних схемах.



а *б* *в* *г*

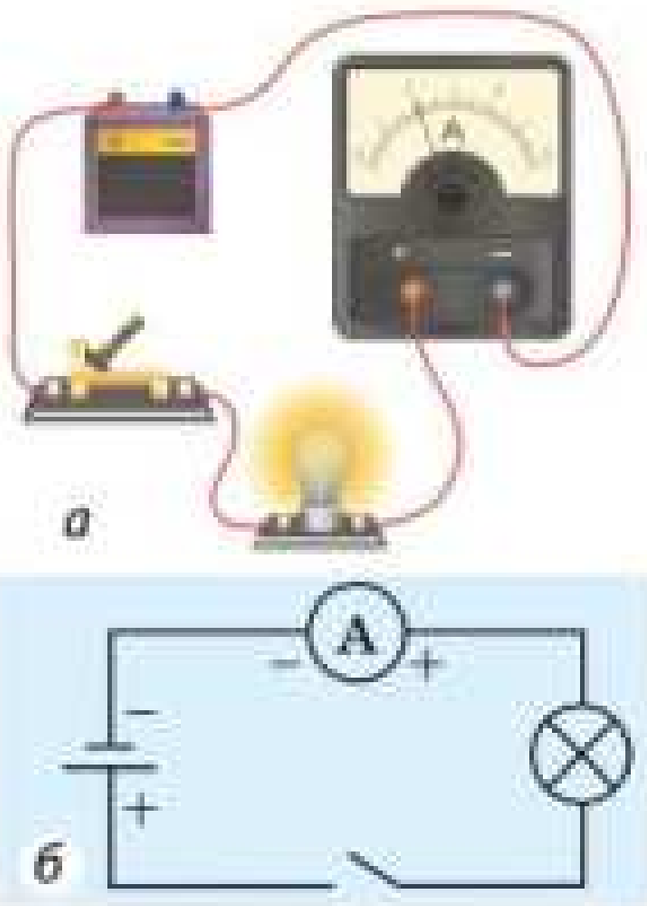
Рис. 35.5. Деякі види амперметрів: *а* — демонстраційний; *б* — лабораторний із дзеркальною шкалою; *в* — шкільний лабораторний; *г* — електронний

Рис. 35.6. Мультиметр, складовою частиною якого є амперметр

Як і будь-який вимірювальний прилад, амперметр не має впливати на значення вимірюваної величини. Тому амперметр сконструйований таким чином, що в разі приєднання його до електричного кола значення сили струму в колі практично не змінюється.

Правила вимірювання сили струму амперметром

1. Амперметр вмикають у коло послідовно з тим споживачем, у якому необхідно виміряти силу струму (рис. 35.7).
2. Клему амперметра, біля якої стоїть знак «+», потрібно з'єднувати з проводом, що йде від позитивного полюса джерела струму, клему зі знаком «−» — із проводом, що йде від негативного полюса.
3. Не можна приєднувати амперметр до кола, в якому відсутній споживач струму, — це може призвести до псування обладнання або пожежі.



а *б*

Рис. 35.7. Вимірювання амперметром сили струму, який проходить через нитку розжарення лампи: *а* — загальний вигляд електричного кола; *б* — схема

5. Учимося розв'язувати задачі

■ Задача. Скільки електронів пройде через поперечний переріз нитки розжарення лампи за 2 с, якщо сила струму в нитці становить 0,32 А? ■

Аналіз фізичної проблеми. Щоб визначити кількість N електронів, необхідно знати загальний заряд q, перенесений за 2 с, і заряд e одного електрона. Загальний заряд знайдемо з означення сили струму; заряд одного електрона дорівнює $-1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Дано:

$t = 2$ с

$I = 0{,}32$ А

$e = -1{,}6 \cdot 10^{-19}$ Кл

Знайти:

N — ?

Пошук математичної моделі, розв'язання

За означенням сили струму: $I = \frac{q}{t}$, тому $q = It$. Знаючи загальний заряд, знайдемо кількість електронів:

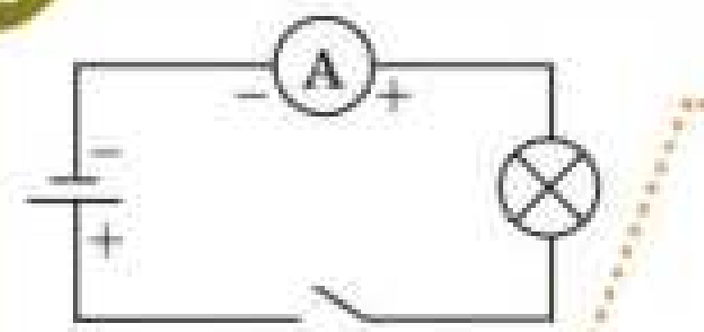
$$N = \frac{q}{|e|} = \frac{It}{|e|}.$$

Перевіримо одиницю, знайдемо значення шуканої величини:

$$[N] = \frac{\text{А} \cdot \text{с}}{\text{Кл}} = \frac{\text{Кл}}{\text{Кл}} = 1;\ N = \frac{0{,}32 \cdot 2}{1{,}6 \cdot 10^{-19}} = 4 \cdot 10^{18}.$$

Відповідь: $N = 4 \cdot 10^{18}$ електронів.

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ



Сила струму

- Символ: I
- Означення: Фізична величина, що характеризує електричний струм і чисельно дорівнює заряду, який проходить через поперечний переріз провідника за одиницю часу
- Формула: $I = \frac{q}{t}$ — q — заряд, який проходить через поперечний переріз провідника за час t
- Одиниця: $[I] = \text{А}$ — ампер
- Прилад: Амперметр (A)

(A)

- Вмикаємо в коло послідовно зі споживачем струму
- Клему «+» амперметра з'єднуємо з полюсом «+» джерела струму
- Не можна приєднувати амперметр до кола, у якому відсутній споживач струму.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Що називають силою струму? 2. За якою формулою визначають силу струму? 3. Яка одиниця сили струму? На честь кого її названо? 4. Яке значення сили струму безпечне для людини? 5. Яких основних правил безпеки необхідно дотримуватися під час роботи з електротехнічними пристроями? 6. Дайте означення кулона. 7. Яким приладом вимірюють силу струму? 8. Які правила необхідно виконувати, вимірюючи силу струму?

ВПРАВА № 35

1. Перенесіть схему електричного кола (рис. 1) до зошита. Покажіть на схемі, де можна приєднати амперметр, щоб виміряти силу струму в лампах. Знаками «+» і «–» позначте полярність клем амперметра.

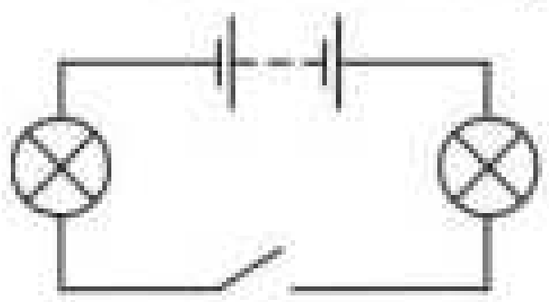


Рис. 1

2. Сила струму в провіднику 200 мА. Протягом якого часу через поперечний переріз провідника проходить заряд, що дорівнює 24 Кл?
3. Накресліть схему електричного кола (рис. 2), позначте на ній полярність клем амперметра. Як, на вашу думку, зміниться показ амперметра, якщо одна з ламп перегорить?
4. На рис. 3 показано вимірювання сили струму в електричному колі. Накресліть схему електричного кола, позначте полярність клем амперметра. Визначте заряд, який проходить через поперечний переріз нитки розжарення лампи за 10 хв.
5. Чому дорівнює сила струму в провіднику, якщо за 10 с через його поперечний переріз проходить $2 \cdot 10^{20}$ електронів?

Рис. 2

Рис. 3

Ключові терміни

Сила струму · Ампер · Кулон · Амперметр

Видавництво «Ранок»

§ 36. ЕЛЕКТРИЧНА НАПРУГА

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. У періоди, коли системно виникають проблеми з електрикою, досить часто можна почути про вихід з ладу телевізорів, телефонів, побутової техніки і навіть зумовлену цим пожежу. Що, на вашу думку, в таких випадках є причиною псування пристроїв?

1. Що називають електричною напругою?

У § 31 було доведено, що напрямлений рух вільних заряджених частинок (електричний струм) можливий завдяки дії на ці частинки сили з боку електричного поля. А з курсу фізики 7 класу вам відомо, що коли тіло рухається внаслідок дії певної сили і напрямок руху тіла збігається з напрямком дії цієї сили, то сила виконує роботу. Отже, коли в певній ділянці кола існує струм, то електричне поле виконує роботу. Цю роботу прийнято називати *роботою струму*.

Робота, яку може виконати або виконує електричне поле, переміщуючи заряд по даній ділянці кола, визначається *електричною напругою*.

Електрична напруга на ділянці кола — це фізична величина, яка чисельно дорівнює роботі електричного поля з переміщення одиничного позитивного заряду по цій ділянці.

Напругу позначають символом U і в загальному випадку визначають за формулою:

$$U = \frac{A}{q},$$

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

Одиниця напруги в СІ — **вольт** (названа на честь італійського вченого А. Вольти):

$$[U] = \text{В}.$$

1 В — *це така напруга на ділянці кола, за якої електричне поле виконує роботу* 1 Дж, *переміщуючи по цій ділянці заряд, що дорівнює* 1 Кл:

$$1\ \text{В} = 1\ \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}}.$$

Видавництво «Ранок»

Крім вольта, на практиці часто застосовують кратні й частинні одиниці напруги: *мікровольт* (мкВ), *мілівольт* (мВ), *кіловольт* (кВ).

$$1\,\text{мкВ} = 10^{-6}\,\text{В};\ 1\,\text{мВ} = 10^{-3}\,\text{В};\ 1\,\text{кВ} = 10^{3}\,\text{В}.$$

Так, електрична напруга на клітинній мембрані або мікрочипі становить кілька мікровольтів, а між хмарами під час грози — сотні кіловольтів.

А чи знаєте ви, яка напруга подається у ваш будинок? на акумулятор вашого мобільного телефону під час його заряджання?

а *б*

Рис. 36.1. Деякі види вольтметрів: *а* — демонстраційний; *б* — цифровий автомобільний

2. Як вимірюють напругу?

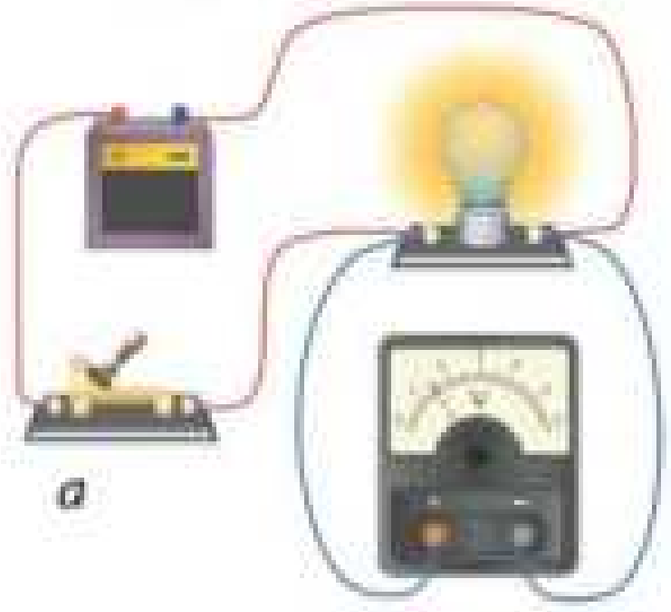
Для вимірювання напруги використовують прилад, який називається **вольтметр** (рис. 36.1). Вольтметр дуже схожий на амперметр — і зовні, і за принципом дії.

(V) — умовне позначення вольтметра на електричних схемах.

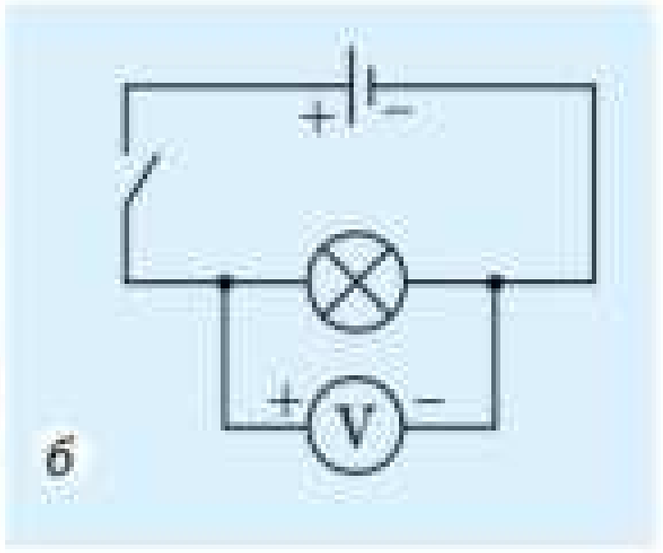
Як і будь-який вимірювальний прилад, вольтметр не має впливати на значення вимірюваної величини. У разі паралельного приєднання вольтметра до певної ділянки кола значення напруги на цій ділянці практично не змінюється.

Правила, яких необхідно дотримуватися під час вимірювання напруги вольтметром

1. Вольтметр приєднують паралельно тій ділянці кола, на якій необхідно виміряти напругу (рис. 36.2).
2. Клему вольтметра, біля якої стоїть знак «+», слід з'єднувати з проводом, який іде від позитивного полюса джерела струму; клему зі знаком «−» — із проводом, який іде від негативного полюса.
3. Для вимірювання напруги на виході джерела струму вольтметр приєднують безпосередньо до полюсів джерела (рис. 36.3).



а



б

Рис. 36.2. Вимірювання вольтметром напруги на лампі: *а* — загальний вигляд; *б* — схема електричного кола

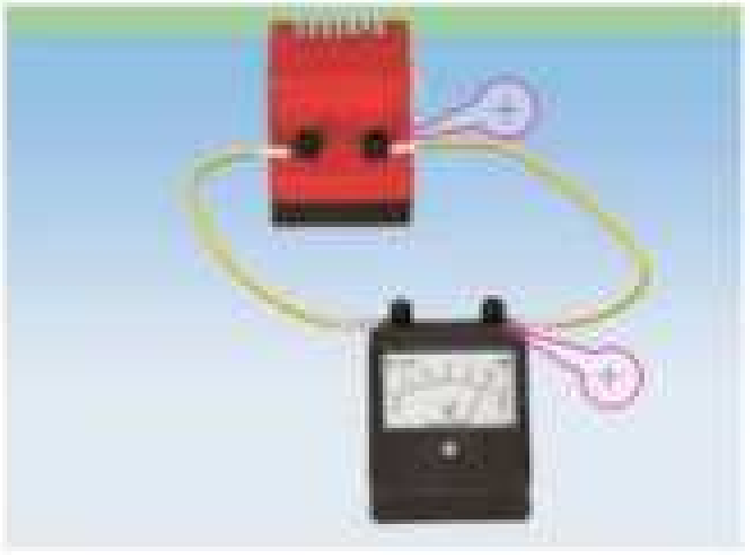


Рис. 36.3. Вимірювання вольтметром напруги на виході джерела струму

Видавництво «Ранок»

3. Учимося розв'язувати задачі

Задача. Напруга на клемах автомобільного акумулятора становить 12 В. З якої висоти має впасти вантаж масою 36 кг, щоб сила тяжіння виконала ту саму роботу, яку виконує електричне поле, переміщуючи заряд 300 Кл по одному з електричних кіл автомобіля?

Аналіз фізичної проблеми. За умовою задачі робота сили тяжіння дорівнює роботі електричного струму: $A = A_{струму}$. Записавши формулу для визначення роботи сили тяжіння та формулу роботи струму, визначимо висоту падіння вантажу.

Дано:
$U = 12$ В
$m = 36$ кг
$A = A_{струму}$
$q = 300$ Кл
$g = 10 \frac{Н}{кг}$

Знайти:
h — ?

Пошук математичної моделі, розв'язання

За означенням напруги $U = \frac{A_{струму}}{q}$, отже, $A_{струму} = Uq$.

За означенням механічної роботи $A = Fl$, де $F = F_{тяж} = mg$, а $l = h$. Отже, $A = mgh$.

Оскільки $A_{струму} = A$, то $Uq = mgh$; звідси $h = \frac{Uq}{mg}$.

Перевіримо одиницю, знайдемо значення шуканої величини:

$$[h] = \frac{В \cdot Кл}{кг \cdot \frac{Н}{кг}} = \frac{\frac{Дж}{Кл} \cdot Кл}{Н} = \frac{Дж}{Н} = \frac{Н \cdot м}{Н} = м; \quad h = \frac{12 \cdot 300}{36 \cdot 10} = 10 \text{ (м)}.$$

Відповідь: $h = 10$ м.

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...

Прізвище італійського вченого Луїджі Гальвані відомо світу завдяки терміну «гальванічний елемент» (див. § 33). Хоча власне наукове відкриття Гальвані зовсім інше. Він першим у світі встановив, що електричний струм може активувати м'язи. З часом це привело до створення електростимуляторів, які використовують для лікування пацієнтів з атрофованими або пошкодженими м'язами. Ці прилади вміють передавати м'язам сигнали, повертаючи їм «пам'ять» про правильне функціонування.

Неможливо обминути ще один «наслідок» відкриття Гальвані — прилад під назвою дефібрилятор. У разі раптової зупинки серця у лікарів є тільки декілька хвилин, щоб повернути людину до життя. Найкращий їхній помічник — це саме дефібрилятор (див. рисунок).

Щоб миттєво розгорнути дефібрилятор та ефективно його застосувати, потрібні постійні тренування з манекеном

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Символ	U
Означення	Фізична величина, яка чисельно дорівнює роботі електричного поля з переміщення одиничного позитивного заряду по певній ділянці кола
Формула	$U = \frac{A}{q}$ — A — робота, яку виконує (або може виконати) електричне поле для переміщення заряду q по даній ділянці кола
Одиниця	$[U]$ = В — вольт, $1\,\text{В} = 1\,\frac{\text{Дж}}{\text{Кл}}$
Прилад	Вольтметр (V)

(V)

- Приєднуємо паралельно тій ділянці кола, напругу на якій необхідно виміряти
- Клему «+» вольтметра з'єднуємо з полюсом «+» джерела струму

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Доведіть, що, коли в провіднику тече струм, електричне поле виконує роботу. 2. Що називають напругою на деякій ділянці кола? 3. За якою формулою визначають електричну напругу? 4. У яких одиницях вимірюють напругу? 5. Дайте означення одиниці напруги. 6. Який прилад використовують для вимірювання напруги? Яких правил необхідно дотримуватися під час вимірювання напруги?

ВПРАВА № 36

1. На рис. 1 зображено шкали різних вольтметрів. Визначте ціну поділки кожної шкали і напругу на кожному вольтметрі.

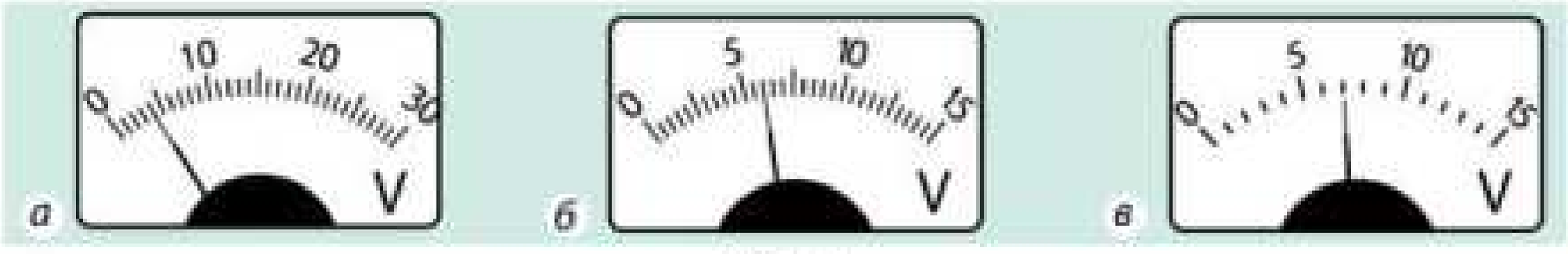


Рис. 1

Видавництво «Ранок»

2. На рис. 2 зображено схему електричного кола. Перенесіть схему до зошита і покажіть на ній, де потрібно приєднати вольтметр, щоб виміряти напругу на лампі. Позначте полярність клем вольтметра.

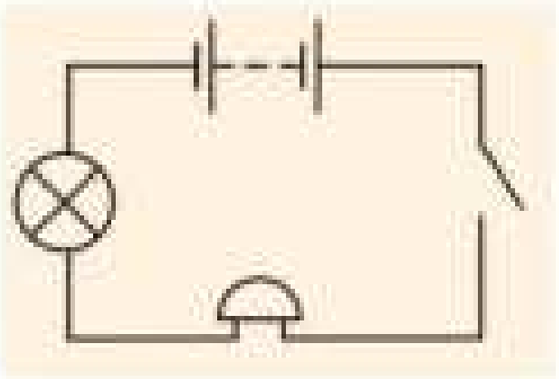


Рис. 2

3. Під час переміщення по ділянці кола заряду 3 Кл електричне поле виконало роботу 0,12 кДж. Визначте напругу на ділянці кола.

4. Електричне поле, переміщуючи ділянкою кола заряд 60 Кл, виконує ту саму роботу, яку виконує сила тяжіння під час падіння тіла масою 200 г з висоти 360 м. Чому дорівнює напруга на ділянці?

5. На рис. 3 зображено схему електричного кола. Визначте роботу електричного струму в лампі за 1 год, якщо покази амперметра і вольтметра становлять 0,5 А і 220 В відповідно.

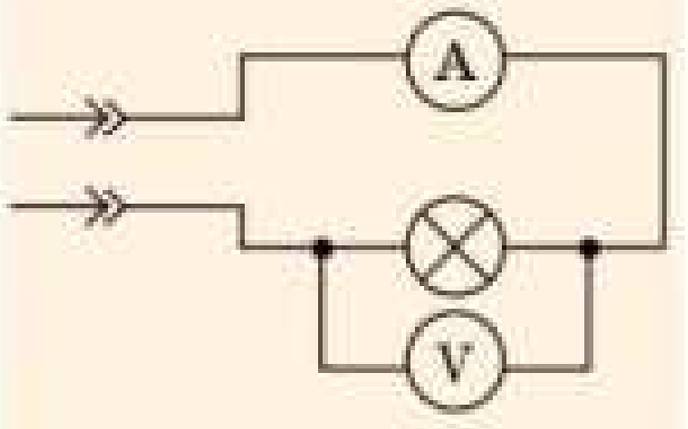


Рис. 3

6. Скориставшись додатковими джерелами інформації, складіть задачу на визначення роботи електричного струму в певному електротехнічному пристрої.

Ключові терміни

Електрична напруга · Вольт · Вольтметр

ФІЗИКА І ТЕХНІКА В УКРАЇНІ

Інститут електродинаміки НАН України (Київ) — провідний науковий заклад у галузі енергетики, електротехніки й енергетичного машинобудування України.

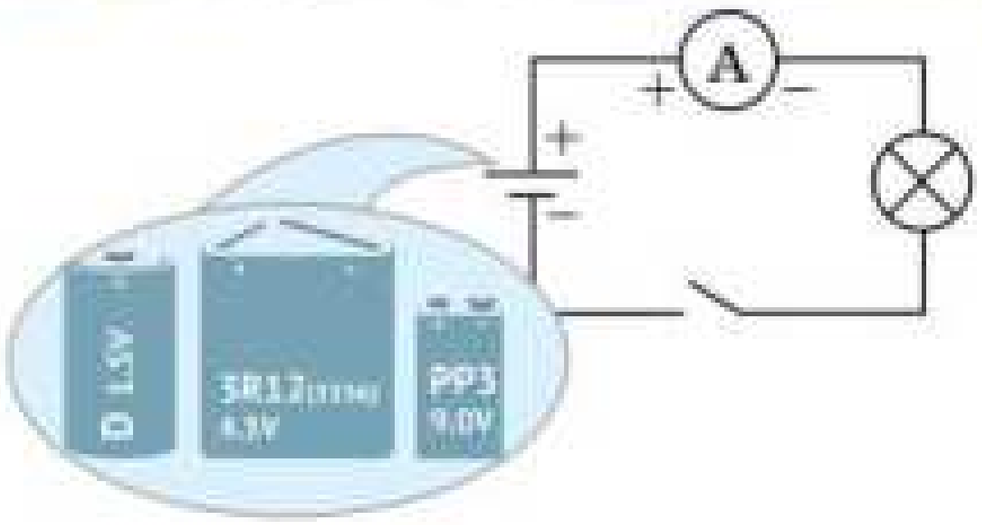
Фундатором і першим директором інституту був академік *Сергій Олексійович Лебедєв*, під керівництвом якого в 1950 р. було створено першу на євразійському континенті *Малу електронно-обчислювальну машину* («МЕОМ»).

Основні наукові напрями роботи Інституту електродинаміки: перетворення і стабілізація параметрів електромагнітної енергії; аналіз, оптимізація й автоматизація режимів електроенергетичних систем; інформаційно-вимірювальні системи і метрологічне забезпечення в електроенергетиці; комплексні енергетичні системи з відновлювальними джерелами енергії.

У різні роки Інститут електродинаміки очолювали видатні вчені: члени-кореспонденти АН УРСР *А. Д. Нестеренко* і *О. М. Мілях*, академік НАН України *А. К. Шидловський*.

§ 37. ЕЛЕКТРИЧНИЙ ОПІР. ЗАКОН ОМА

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Уявіть, що у вас наявні три джерела струму (див. рисунок) і лампа розжарення, що розрахована на напругу 4,5 В. Яке з джерел струму ви доберете для складання електричного кола? Що і як зміниться, якщо це джерело замінити на інше з наявних?



1. Як залежить сила струму в провіднику від напруги на його кінцях?

Складемо електричне коло (рис. 37.1, *а*). Будемо змінювати вхідну напругу і спостерігати за показами приладів (рис. 37.1, *б*, *в*).

Для фіксації результатів дослідження складіть і заповніть таблицю. Проаналізуйте її і зробіть висновок.

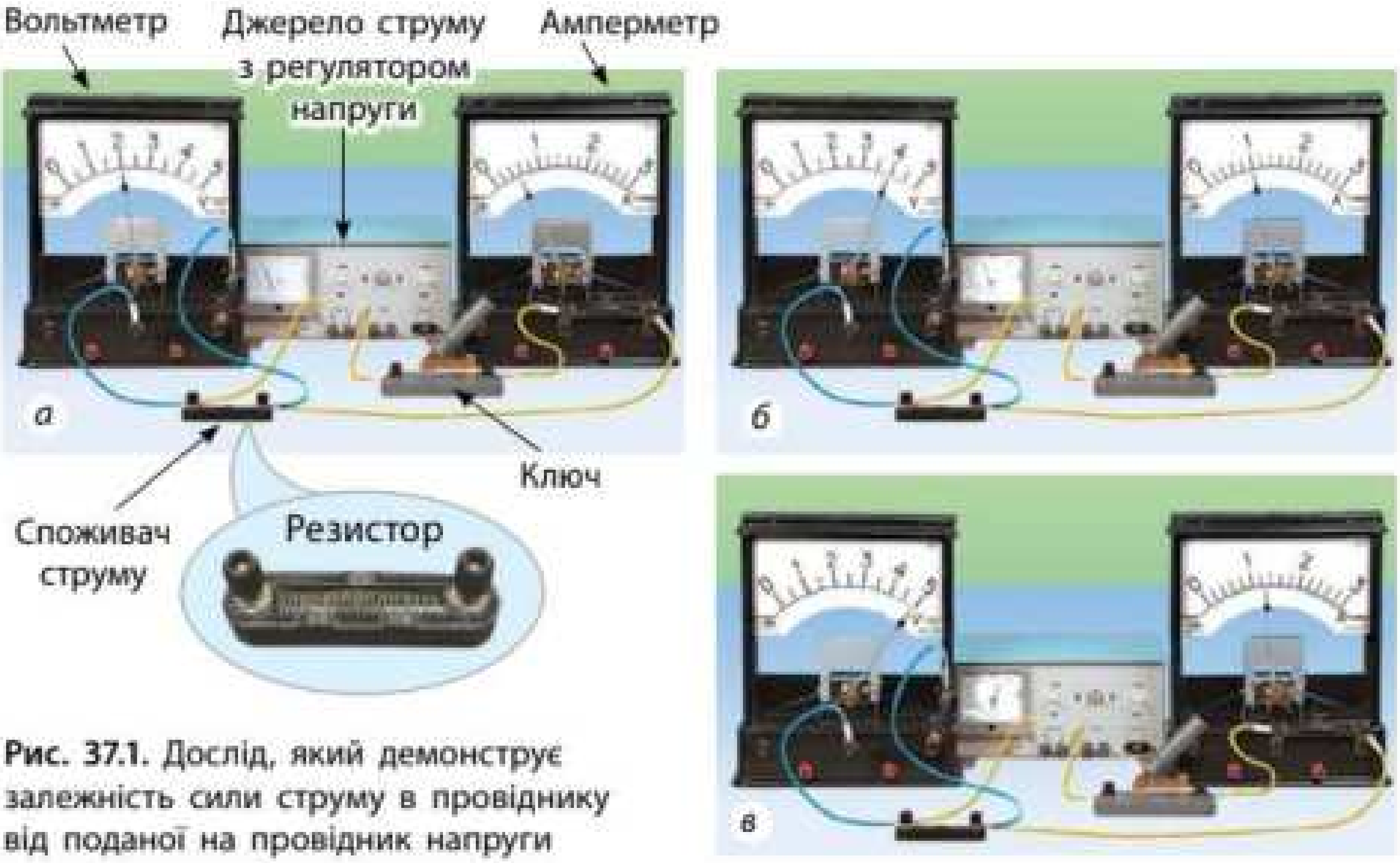


Рис. 37.1. Дослід, який демонструє залежність сили струму в провіднику від поданої на провідник напруги

Рис. 37.2. Георг Сімон Ом (1787–1854) — німецький фізик, у 1826 р. експериментально відкрив закон, який був згодом названий його ім'ям

Сподіваємось, що ваш висновок виглядає орієнтовно так: у скільки разів збільшується напруга на кінцях провідника, у стільки ж разів зростає в провіднику сила струму. Інакше кажучи, *сила струму в провіднику прямо пропорційна напрузі на кінцях провідника.* Цю залежність першим експериментально встановив німецький учений *Г. Ом* (рис. 37.2).

З курсу математики вам відомо, що таку залежність можна передати формулою $I = kU$, де k — коефіцієнт пропорційності, а також у вигляді графіка, який являє собою пряму, що проходить через початок координат (рис. 37.3).

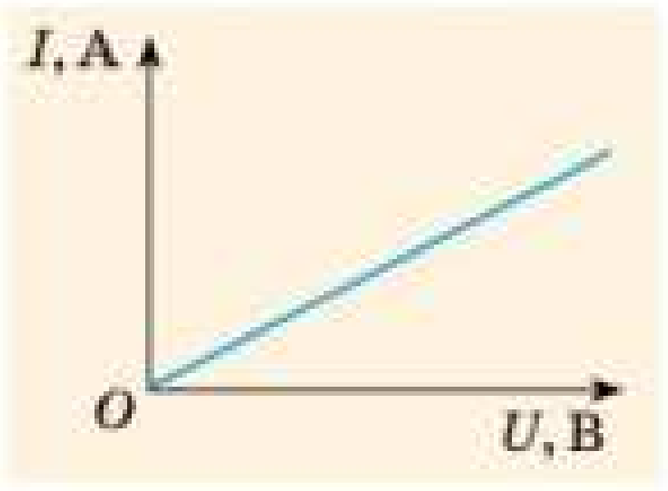


Рис. 37.3. Графік залежності сили струму в провіднику від напруги на його кінцях — пряма лінія

2. Що називають електричним опором?

На практиці залежність $I = kU$ записують у вигляді $I = \frac{1}{R} \cdot U$ або $I = \frac{U}{R}$, де R — *електричний опір провідника.*

Сила струму менша в тому провіднику, який має більший опір. Тобто чим більшим є опір провідника, тим сильніше провідник протидіє проходженню струму — *створює йому опір.* (При цьому частина електричної енергії перетворюється на внутрішню енергію провідника.)

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

Одиниця електричного опору в СІ — **ом**: $[R] = \text{Ом}$.

1 Ом — *це опір такого провідника, в якому за напруги на кінцях* 1 В *сила струму дорівнює* 1 А:

$$1\ \text{Ом} = 1\ \frac{\text{В}}{\text{А}}.$$

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...

Величину $\frac{1}{R}$ у фізиці називають *провідністю*. Одиниця провідності в СІ — *сименс* (См), названа так на честь німецького фізика й електротехніка *Ернста Вернера фон Сіменса* (1816–1892), засновника відомого концерну «Siemens». 1 См — електрична провідність провідника, який має опір 1 Ом.

Більшість радіоелектронних пристроїв неможливо уявити без *резисторів* — деталей, що забезпечують певні о́пори (рис. 37.4).

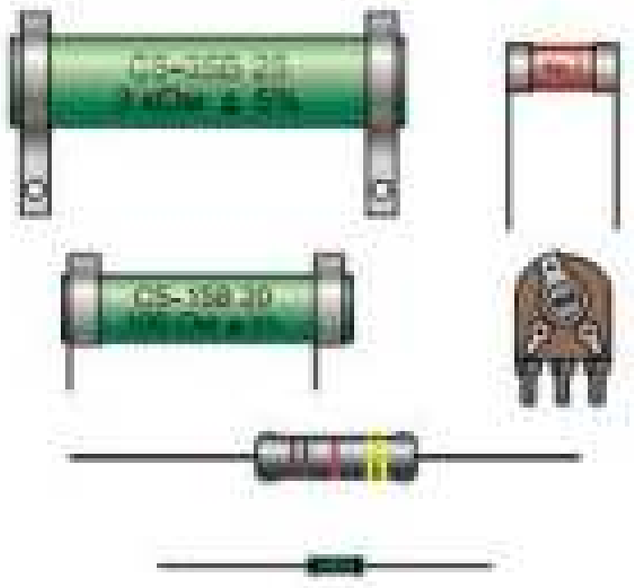


Рис. 37.4. Різні типи резисторів, які використовують в електротехніці. Опір резистора позначено на його корпусі

3. Як формулюється відомий закон Ома для ділянки кола?

Усе те, що ви дізналися про залежність сили струму в провіднику від напруги на його кінцях, справджується і для ділянки кола, яка містить будь-яку кількість провідників. Отже, **закон Ома для ділянки кола:**

> Сила струму в ділянці кола прямо пропорційна напрузі на кінцях цієї ділянки та обернено пропорційна електричному опору цієї ділянки кола.

Математичним записом закону Ома є формула:

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

де R — опір ділянки кола; він залежить тільки від властивостей провідників, що складають ділянку.

Гумористична візуалізація закону Ома подана на рис. 37.5.

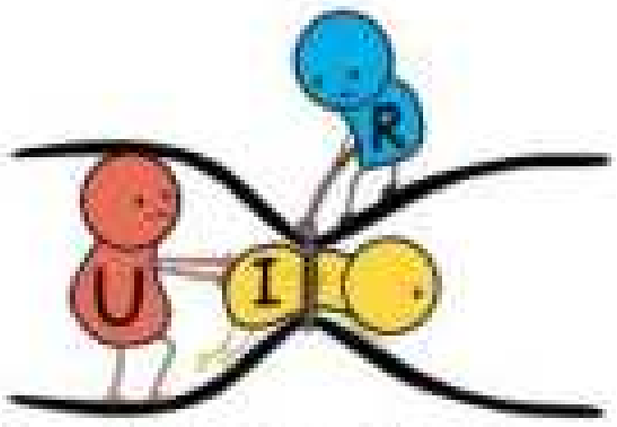


Рис. 37.5. Візуалізація закону Ома

Закон Ома — один із найважливіших фізичних законів, і переважна більшість розрахунків електричних кіл ґрунтується саме на ньому.

Скориставшись законом Ома, отримайте формулу для розрахунку опору провідника; для розрахунку напруги на кінцях провідника.

А ЯК НАСПРАВДІ?

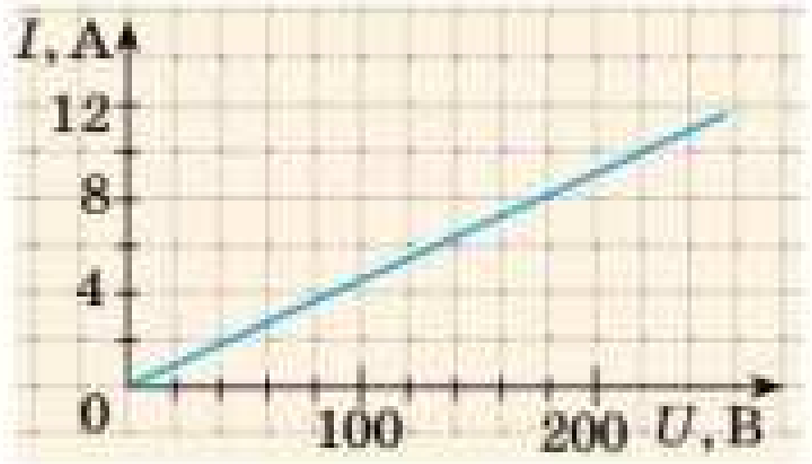
Блогерка запропонувала обговорити, як швидко збільшити виробництво електроенергії в країні. Після презентацій експертів посипалися коментарі підписників. Один із них заявив: «Значні втрати в лініях електропередавання пов'язані з опором провідників. Тож треба зобов'язати Академію наук розробити нові проводи з нульовим опором. Після заміни старих проводів додаткові потужності з'являться автоматично. Не треба будувати нових електростанцій, краще суттєво зменшити втрати». Опоненти відповіли: «Матеріали з нульовим опором уже створені. На жаль, вони дуже обмежені в застосуванні: не підтримують великі струми, працюють тільки за дуже низьких температур».

А як на вашу думку: є сенс працювати над удосконаленням матеріалів із нульовим опором чи краще шукати інші варіанти вирішення проблеми?

Видавництво «Ранок»

4. Учимося розв'язувати задачі

Задача. На рисунку подано графік залежності сили струму в провіднику від напруги на його кінцях (вольт-амперну характеристику провідника). Визначте опір цього провідника.



Дано:

$I = 10$ А

$U = 220$ В

Знайти:

R — ?

Аналіз фізичної проблеми. Графік залежності сили струму від напруги — пряма, тому для визначення опору скористаємося координатами будь-якої точки графіка та законом Ома.

Пошук математичної моделі, розв'язання

Із графіка бачимо, що, наприклад, за напруги 220 В сила струму в провіднику дорівнює 10 А.

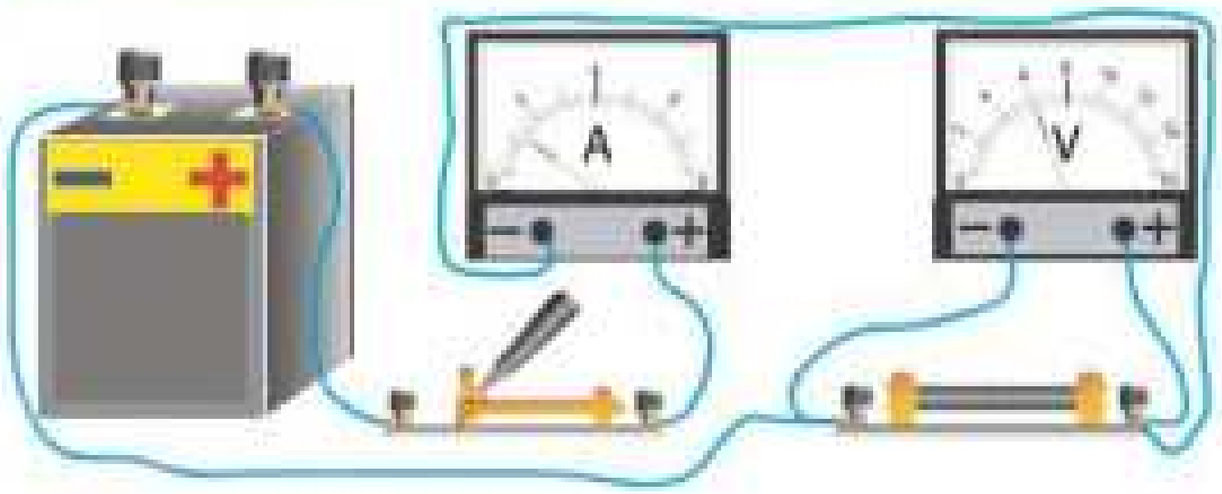
Відповідно до закону Ома $I = \frac{U}{R}$, отже, $R = \frac{U}{I}$.

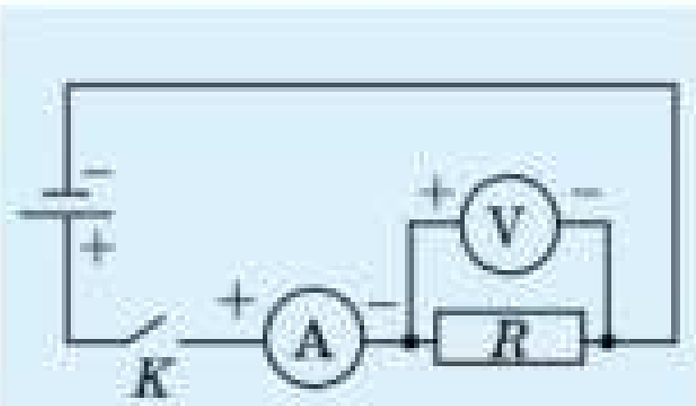
Перевіримо одиницю, визначимо значення шуканої величини:

$$[R] = \frac{\text{В}}{\text{А}} = \text{Ом}; \quad R = \frac{220}{10} = 22 \text{ (Ом)}.$$

Відповідь: $R = 22$ Ом.

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ





Закон Ома

Сила струму I в ділянці кола прямо пропорційна напрузі U на кінцях цієї ділянки та обернено пропорційна електричному опору R цієї ділянки кола.

$[R] = \text{Ом}$

$1 \text{ Ом} = 1 \frac{\text{В}}{\text{А}}$

$U = IR$

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

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

Видавництво «Ранок»

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Опишіть дослід, який демонструє, що сила струму в провіднику прямо пропорційна напрузі на його кінцях. 2. Дайте означення опору провідника. 3. Що таке 1 Ом? 4. Сформулюйте закон Ома для ділянки кола.

ВПРАВА № 37

1. На рис. 1 зображено електричне коло і його схему. Визначте опір резистора.

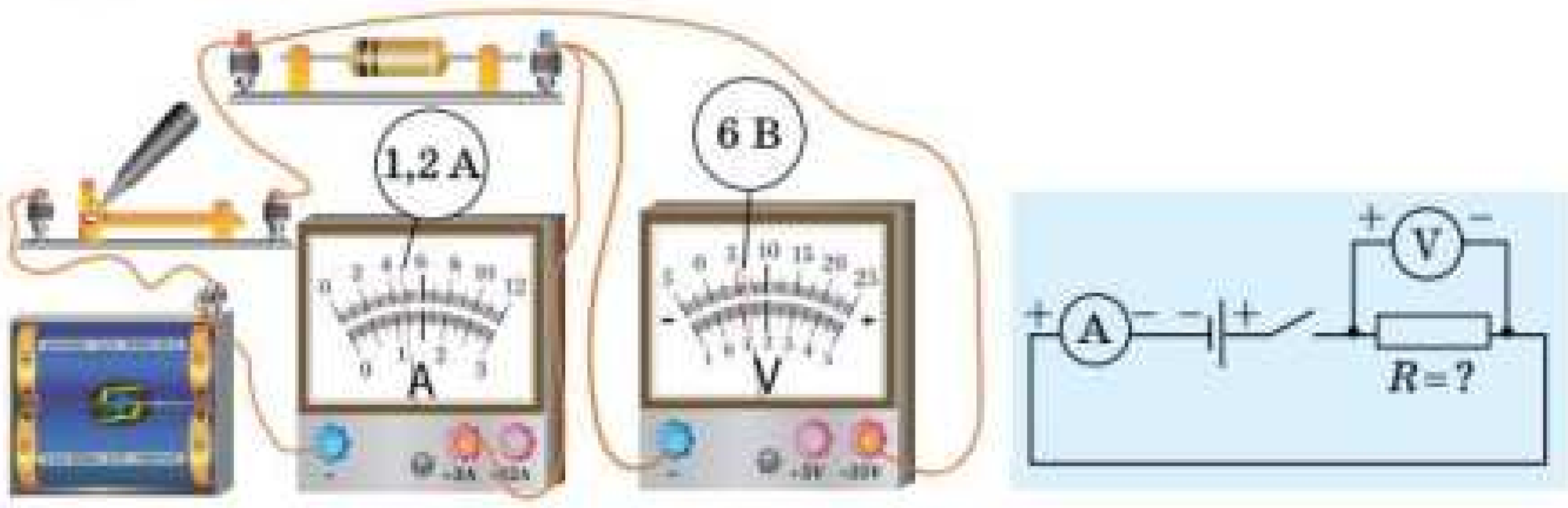


Рис. 1

2. Користуючись показами приладів (рис. 2), визначте опір електричної лампи.

3. Сила струму, який тече в спіралі кип'ятильника, дорівнює 1,5 А. Визначте напругу на спіралі, якщо її опір становить 150 Ом.

4. У провіднику, до кінців якого прикладено напругу 12 В, протягом 5 хв пройшов заряд 60 Кл. Визначте опір провідника.

5. Якщо в електричному колі (рис. 3) замкнути ключ, то стрілка амперметра розміститься так, як показано на рисунку. Визначте ціну поділки шкали амперметра.

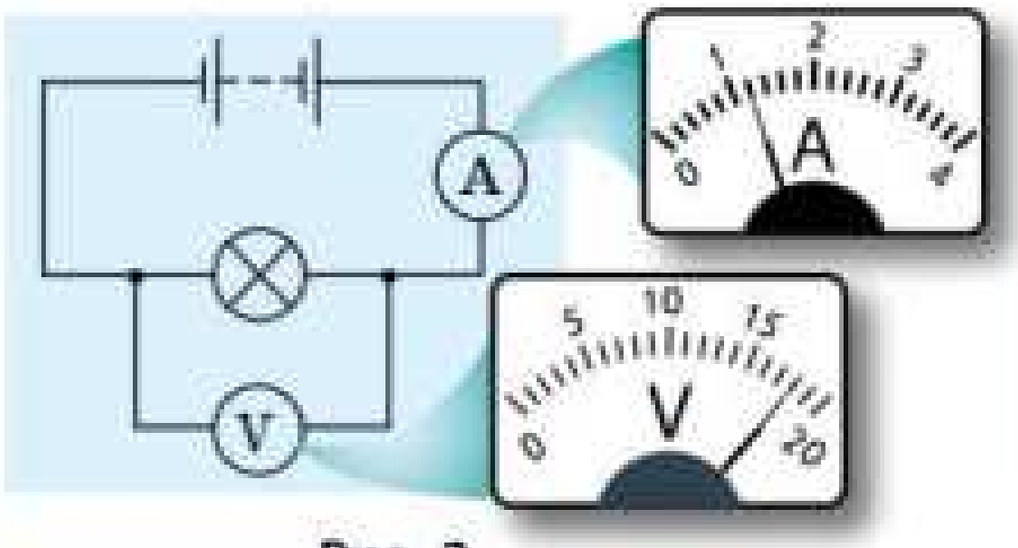


Рис. 2

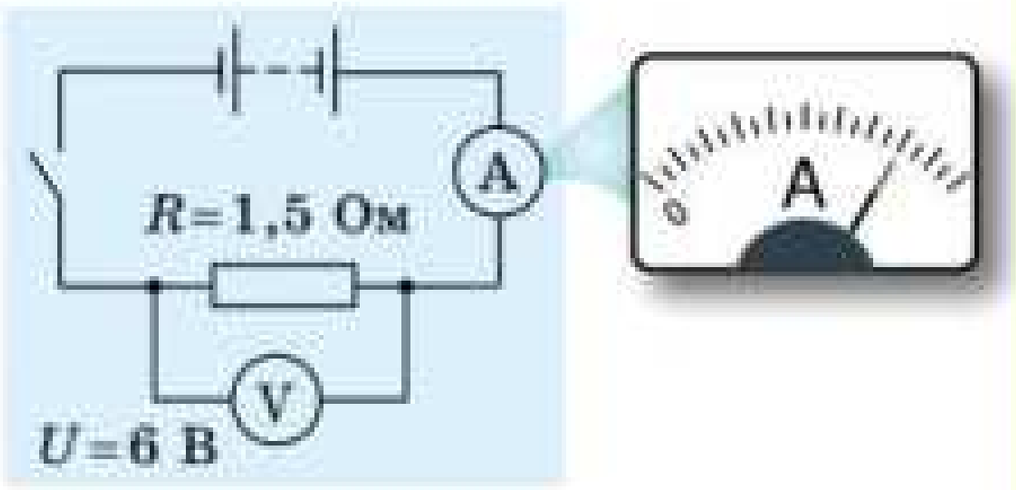
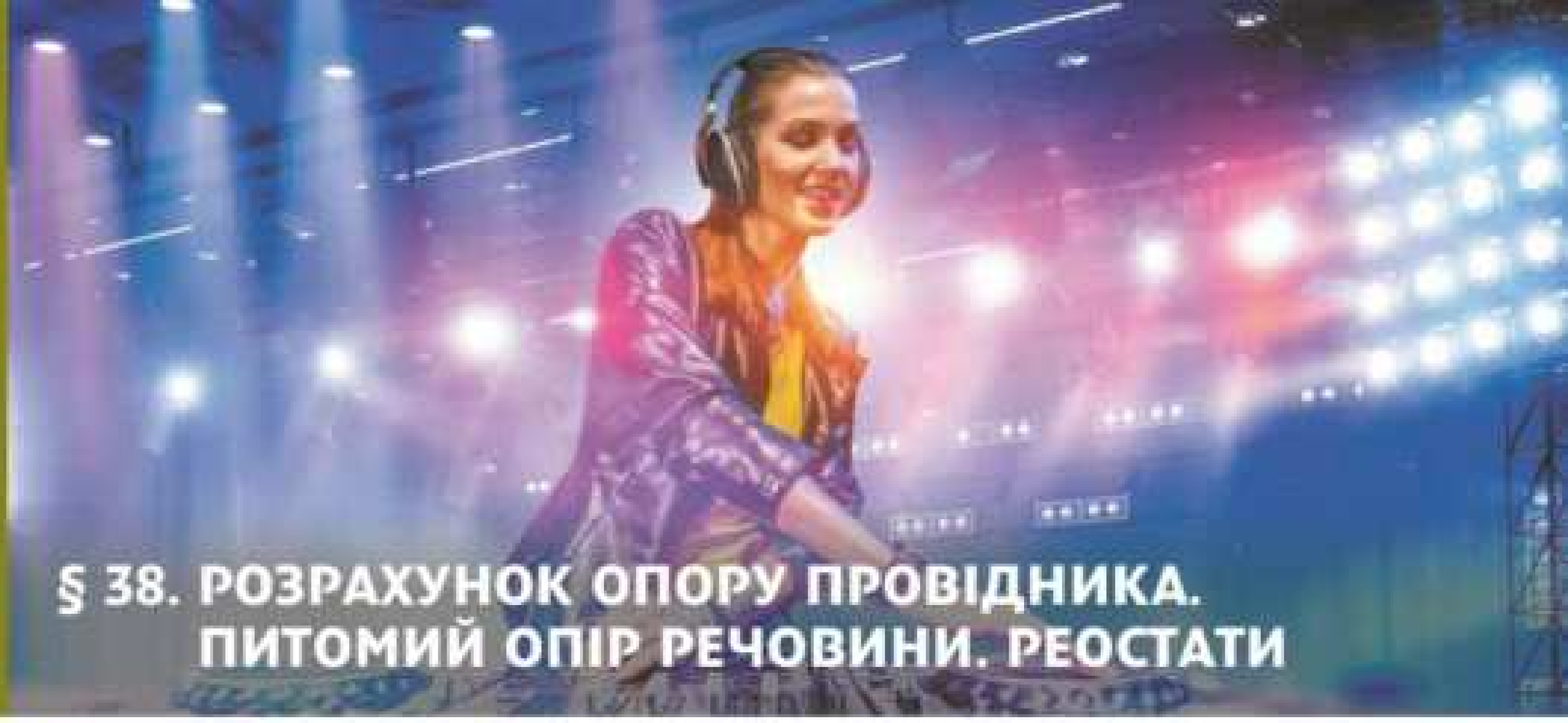


Рис. 3

Ключові терміни

Електричний опір · Закон Ома · Ом

Видавництво «Ранок»



§ 38. РОЗРАХУНОК ОПОРУ ПРОВІДНИКА. ПИТОМИЙ ОПІР РЕЧОВИНИ. РЕОСТАТИ

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. З'ясувати характеристики, від яких залежить опір провідника, можна за допомогою дослідів, що продемонстровано на рис. 38.1 і 38.2. Об'єднайтеся в групи. Уважно розгляньте рисунки, обговоріть і складіть план можливого дослідження. Презентуйте план своєї групи іншим групам. Наприкінці уроку оберіть групу, яка краще за всіх впоралась із завданням.

1. Які параметри провідника необхідно знати, щоб розрахувати його опір?

Коли в металевому провіднику йде струм, вільні електрони, рухаючись напрямлено, зіштовхуються з йонами кристалічної ґратки металу — провідник чинить опір електричному струмові.

Опір провідника залежить від його довжини, площі поперечного перерізу, а також від речовини, з якої виготовлений провідник:

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

де R — опір провідника; l — довжина провідника; S — площа поперечного перерізу провідника; ρ — коефіцієнт пропорційності, що залежить від речовини (матеріалу), з якої виготовлений провідник. Цей коефіцієнт називають *питомим опором речовини*.

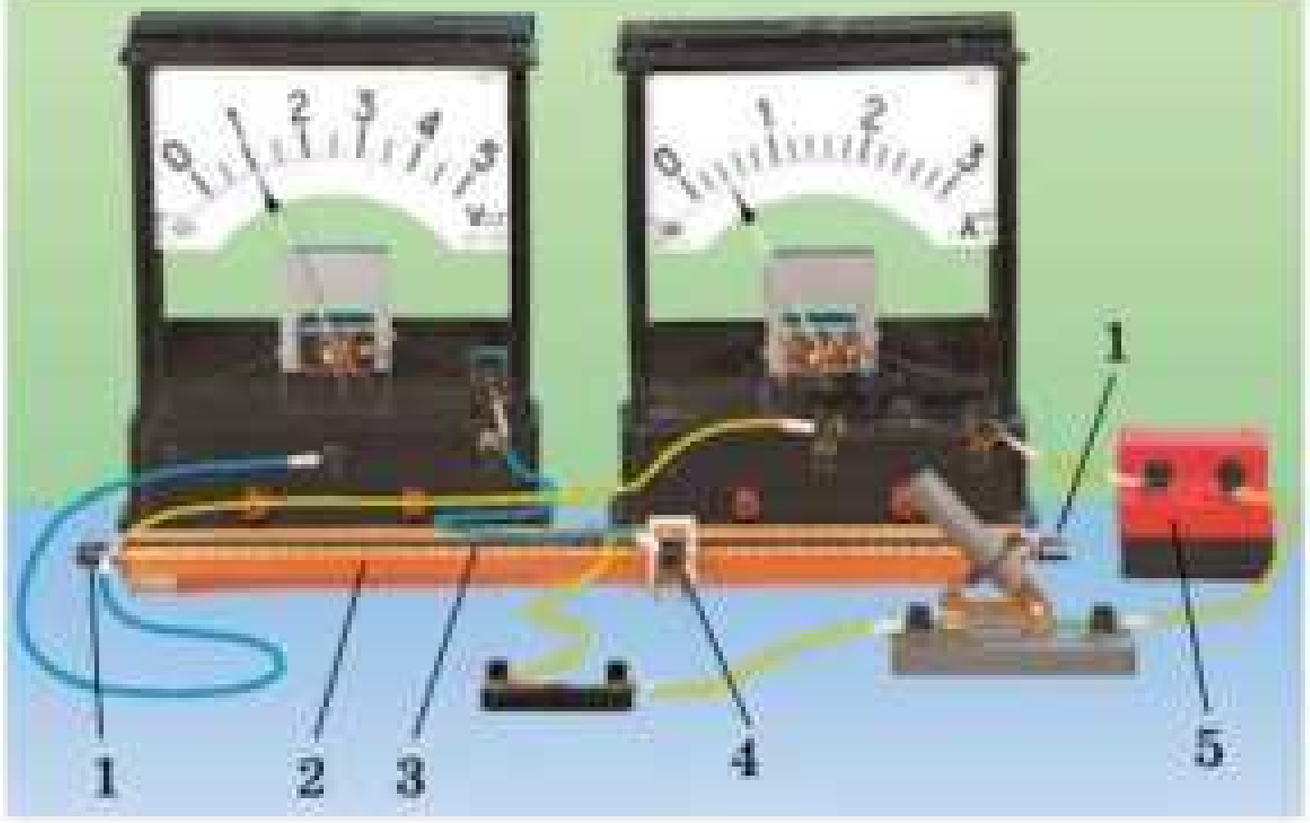


Рис. 38.1. Дослід, який доводить, що опір провідника прямо пропорційний його довжині. На рисунку:
1 — клеми;
2 — лінійка;
3 — ніхромовий дріт (провідник);
4 — повзунок;
5 — джерело струму

2. Що називають питомим опором речовини?

Звернемося до формули для обчислення опору провідника: $R=\rho\frac{l}{S}$. Із формули випливає, що $\rho=\frac{RS}{l}$. Якщо $l=1\,\text{м}$, а $S=1\,\text{м}^2$, то ρ чисельно дорівнює R.

Питомий опір речовини — це фізична величина, яка характеризує електричні властивості даної речовини й чисельно дорівнює опору виготовленого з неї провідника завдовжки 1 м і площею поперечного перерізу 1 м^2.

Одиниця питомого опору в СІ — **ом-метр**:

$$[\rho]=\text{Ом}\cdot\text{м}.$$

На практиці здебільшого мають справу з провідниками, площі поперечних перерізів яких досить малі. Тому часто як одиницю питомого опору речовини використовують $\frac{\text{Ом}\cdot\text{мм}^2}{\text{м}}$. Оскільки $1\,\text{мм}^2=1\cdot10^{-6}\,\text{м}^2$, то

$$1\,\frac{\text{Ом}\cdot\text{мм}^2}{\text{м}}=1\cdot10^{-6}\,\text{Ом}\cdot\text{м}$$

Питомі опори речовин визначають дослідним шляхом і заносять у таблиці (див. табл. 7 Додатка 1). Значення питомого опору істотно залежить від температури речовини, тому в таблицях обов'язково зазначають температуру, за якої подані значення стають дійсними.

Скориставшись даними табл. 7 Додатка 1, поясніть, чому для виготовлення електропроводки в приміщеннях зазвичай використовують алюміній і мідь, а не значно дешевшу сталь. Чому гуму, склопластик, кераміку застосовують в електротехніці як ізолятори?

Панель з ніхромовими провідниками, які мають однакову довжину і різну площу поперечного перерізу ($S_1=2S_2=4S_3$)

Рис. 38.2. Дослід, який доводить, що опір провідника обернено пропорційний площі його поперечного перерізу

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...

Властивість матеріалів змінювати свій опір під впливом зовнішніх факторів широко застосовують у техніці. Наприклад, фоторезистори, які змінюють опір при зміні освітлення, допомагають автоматично вмикати вуличне освітлення.

Є й інший приклад. Ідеться про детектор брехні, або поліграф. Цей прилад вимірює опір шкіри, який змінюється, коли людина нервує. Поки розробники методу не довели, що оператор може на 100 % ідентифікувати саме брехню. У більшості європейських країн поліграф використовують як допоміжний засіб збирання доказової бази.

3. Для чого використовують реостати?

На тому факті, що опір провідника прямо пропорційний його довжині, базується принцип дії *реостатів*.

Реостат — це пристрій зі змінним опором, призначений для регулювання сили струму в електричному колі.

Якщо реостат ввести в електричне коло, то, змінюючи опір реостата, можна відповідно змінювати силу струму в колі $\left(I = \frac{U}{R}\right)$, а отже, настроювати гучність звуку, що лунає з динаміків (див. рисунок на заставці до параграфа), регулювати яскравість світіння лампи тощо.

З найпростішим реостатом ви вже зустрічалися, коли з'ясовували залежність опору провідника від його довжини (див. рис. 38.1). Звичайно, реостати, які застосовують на практиці, зручніші. Розглянемо *двоконтактний повзунковий реостат* (рис. 38.3). Металевий дріт (3) намотують на керамічний циліндр (2) і таким чином зменшують габарити реостата. Над обмоткою закріпляють металевий стрижень (5), на якому

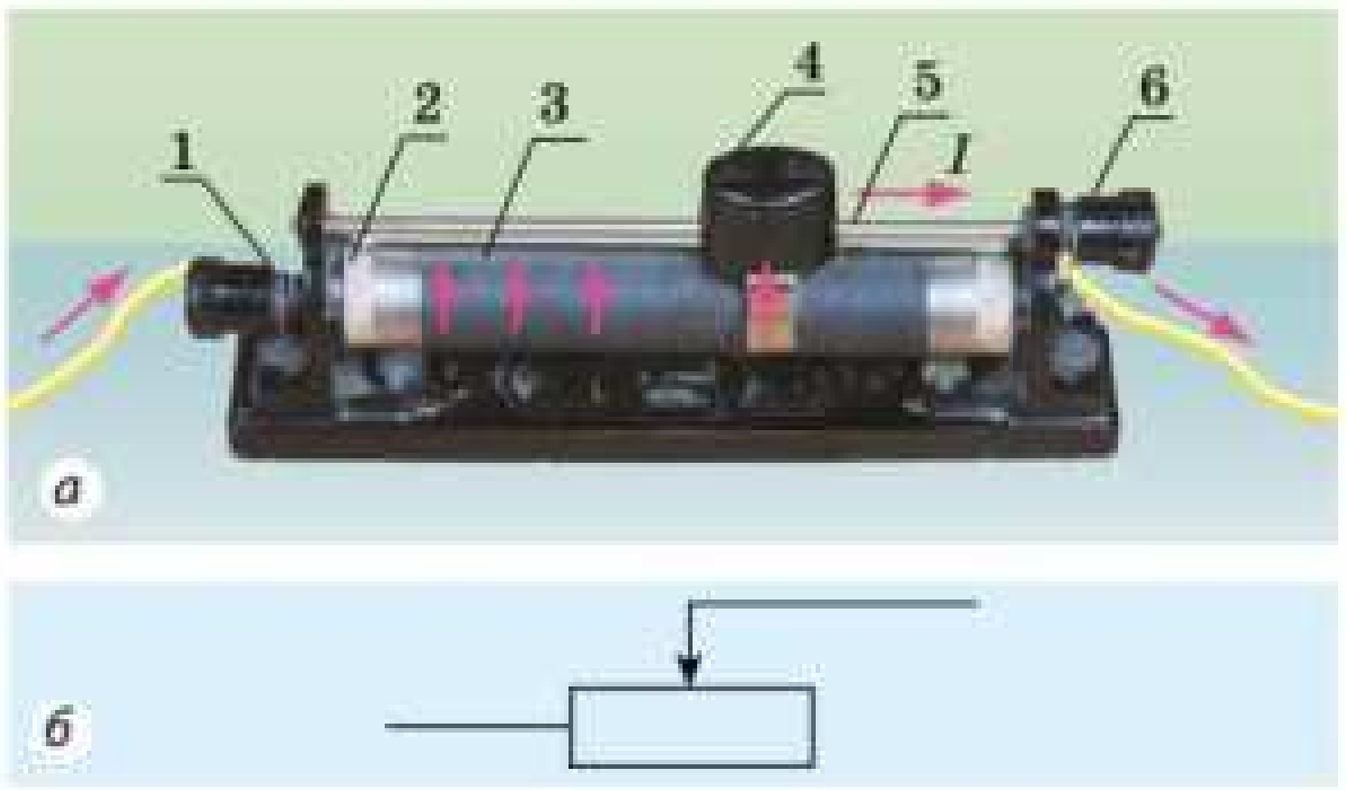


Рис. 38.3. Двоконтактний повзунковий реостат:
а — загальний вигляд:
1, 6 — клеми; 2 — керамічний циліндр; 3 — металевий дріт (обмотка); 4 — повзунок;
5 — металевий стрижень;
б — умовне позначення на схемах

розташовують повзунок (4). Реостат має дві клеми (два контакти), одна з яких (1) з'єднана з обмоткою, а інша (6) — зі стрижнем. Коли реостат приєднаний до кола, електричний струм проходить від однієї клеми до іншої (у даному випадку — від клеми (1) до клеми (6), тобто спочатку у витках обмотки до повзунка, а потім у стрижні).

Пересуваючи повзунок уздовж стрижня, збільшують або зменшують довжину l ділянки обмотки, в якій проходить струм. Оскільки $R = \rho\frac{l}{S}$, то опір реостата так само збільшується або зменшується, а це призводить до зміни сили струму.

На практиці крім повзункових реостатів використовують й інші типи реостатів, наприклад *важільні (секційні) реостати* (рис. 38.4). На відміну від повзункових, опір важільних реостатів змінюється стрибками, відповідно стрибками змінюється й сила струму. Важільні реостати застосовують для вмикання і вимикання електродвигунів.

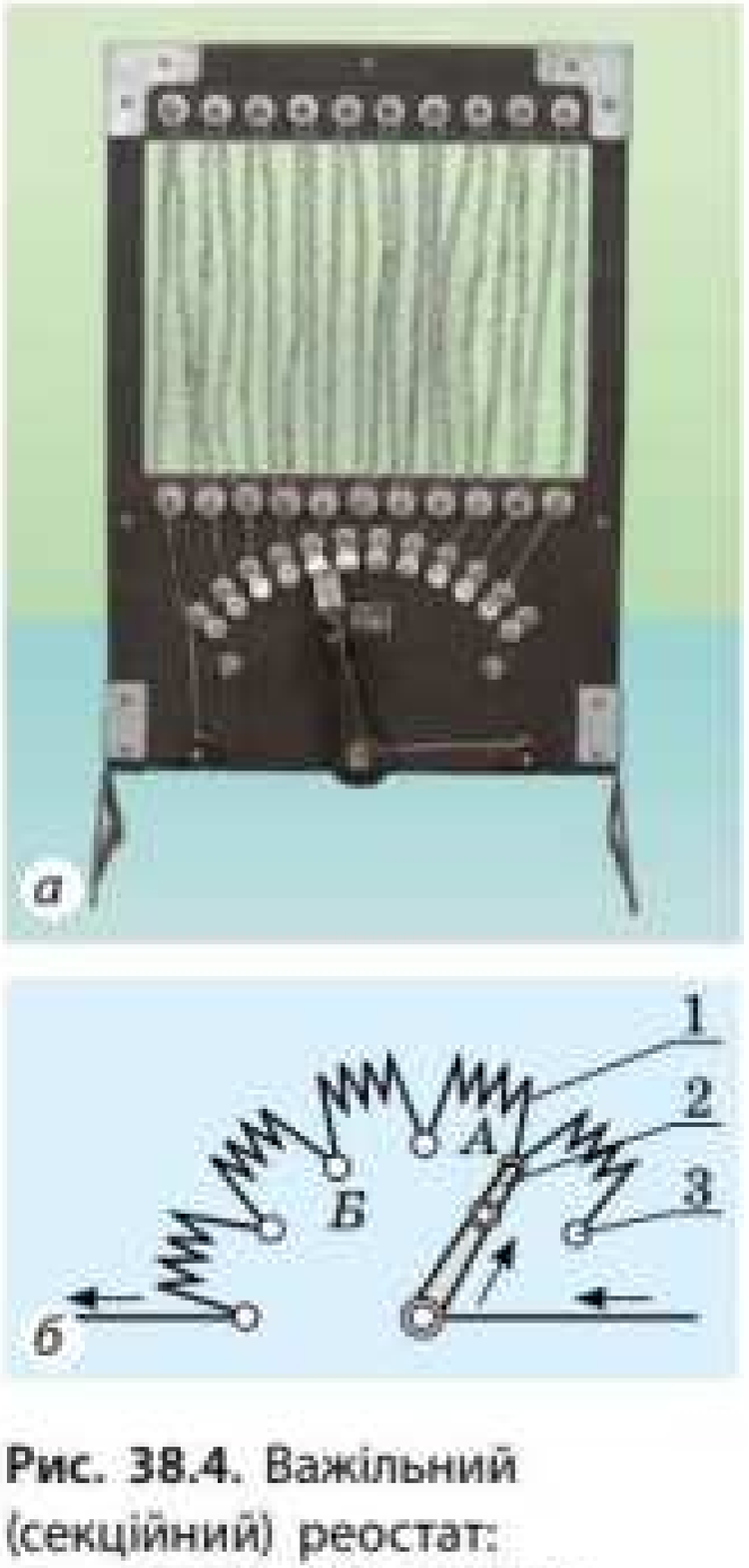


Рис. 38.4. Важільний (секційний) реостат:
а — загальний вигляд;
б — схема:
1 — металевий дріт;
2 — важіль;
3 — контакт;
стрілками показано напрямок струму

Розгляньте рис. 38.4, *б*. У скільки разів зменшиться опір секційного реостата, якщо важіль перемкнути з контакту *А* на контакт *Б*?

Кожний реостат розрахований на певну напругу. Максимальний опір реостата й найбільша можлива напруга на ньому зазначені в спеціальній таблиці на корпусі пристрою. Обмотки реостатів зазвичай виготовляють із металів (сплавів) із високим питомим опором (константан, манганін, ніхром, фехраль).

А ЯК НАСПРАВДІ?

На презентації свого проєкту восьмикласниця Ірина надала перелік провідників у порядку зростання їхнього питомого електричного опору: срібло, платина, нікелін, порцеляна, ніхром, графіт. А потім запитала: «Чи все правильно я зробила?». Більшість однокласників порівняли перелік з табл. 7 Додатка 1 і відповіли: «Так!».

А яка ваша думка щодо цього?

Видавництво «Ранок»

4. Учимося розв'язувати задачі

■ **Задача 1.** Обчисліть силу струму в мідному дроті, який має довжину 10 м і площу поперечного перерізу 0,5 мм^2; напруга на кінцях дроту становить 34 мВ. ■

Дано:

$l = 10$ м

$S = 0{,}5$ мм^2

$U = 0{,}034$ В

$\rho = 0{,}017 \dfrac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$

Знайти:

I — ?

Аналіз фізичної проблеми. Силу струму можна визначити за законом Ома. А для цього необхідно обчислити опір провідника. Скористаємося формулою для розрахунку опору провідника; питомий опір міді знайдемо у відповідній таблиці.

Пошук математичної моделі, розв'язання

Відповідно до закону Ома: $I = \dfrac{U}{R} \Rightarrow R = \dfrac{U}{I}$.

Опір дроту визначимо за формулою $R = \dfrac{\rho l}{S}$.

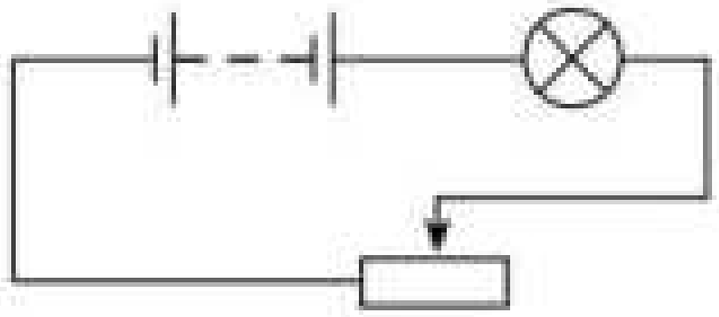
Отже, маємо: $\dfrac{U}{I} = \dfrac{\rho l}{S} \Rightarrow US = I\rho l \Rightarrow I = \dfrac{US}{\rho l}$.

Перевіримо одиницю, визначимо значення шуканої величини:

$$[I] = \frac{\text{В} \cdot \text{мм}^2}{\dfrac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}} \cdot \text{м}} = \frac{\text{В} \cdot \text{мм}^2}{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2} = \frac{\text{В}}{\dfrac{\text{В}}{\text{А}}} = \frac{\text{В} \cdot \text{А}}{\text{В}} = \text{А}; \quad I = \frac{0{,}034 \cdot 0{,}5}{0{,}017 \cdot 10} = 0{,}1 \ (\text{А}).$$

Відповідь: $I = 0{,}1$ А.

■ **Задача 2.** На рисунку зображено схему електричного кола, яке складається з джерела струму, електричної лампи та реостата. Як зміниться сила струму в лампі, якщо повзунок реостата пересунути праворуч? ■



Аналіз фізичної проблеми, розв'язання. Якщо пересунути повзунок реостата праворуч, то довжина обмотки, в якій тече струм, збільшиться $(l \uparrow)$. Опір реостата теж збільшиться $(R_{\text{реост}} \uparrow)$. Відповідно збільшиться і загальний опір ділянки кола $(R \uparrow)$.

За законом Ома $I = \dfrac{U}{R}$. Напруга на ділянці кола не змінюється ($U = \text{const}$), а опір ділянки збільшиться, тому сила струму в ділянці, а отже, і в лампі, зменшиться $(I \downarrow)$.

Відповідь: сила струму в лампі зменшиться.

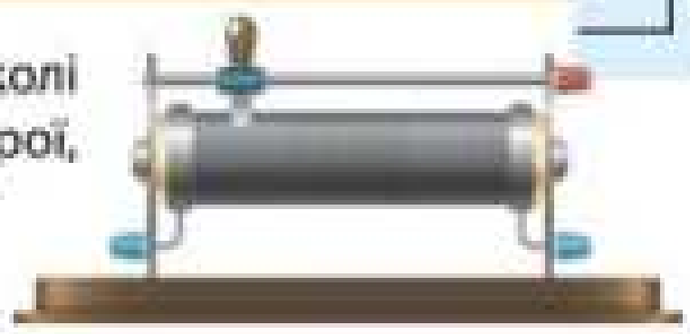
ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

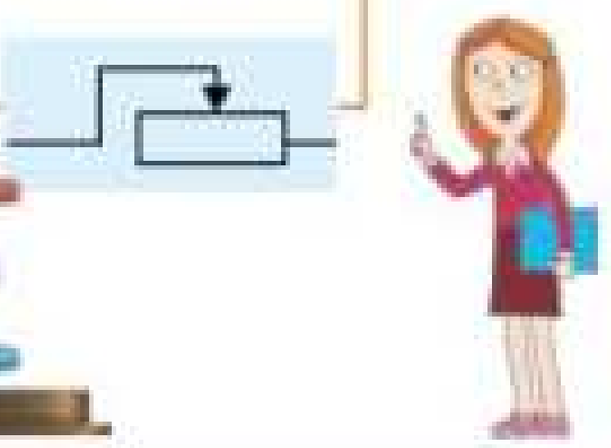
Опір R провідника прямо пропорційний його довжині l, обернено пропорційний площі S його поперечного перерізу й залежить від речовини, з якої виготовлений провідник.

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

Питомий опір речовини (ρ) — це фізична величина, яка характеризує електричні властивості даної речовини й чисельно дорівнює опору виготовленого з неї провідника завдовжки 1 м і площею поперечного перерізу 1 м^2. $[\rho] = \text{Ом} \cdot \text{м}$; $[\rho] = \dfrac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$

Для регулювання сили струму в колі застосовують **реостати** — пристрої, опір яких можна змінювати.





КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Доведіть, що провідник чинить опір електричному струмові. 2. За якою формулою обчислюють опір провідника? 3. Що таке питомий опір речовини? 4. Якими властивостями речовини визначається можливість її використання для виготовлення електропроводки? 5. Що таке реостат? 6. Які типи реостатів ви знаєте? 7. Опишіть будову та принцип дії повзункового реостата. 8. Як позначають повзунковий реостат на схемі?

ВПРАВА № 38

1. На рис. 1 зображено провідники, що мають однакову площу поперечного перерізу, але виготовлені з різних речовин (заліза, міді, свинцю). Визначте, з якої речовини виготовлений кожний провідник, якщо відомо, що їхні опори однакові.

2. Обчисліть опір мідного дроту завдовжки 2 м, якщо площа його поперечного перерізу становить 6,8 мм^2.

3. Як зміняться опір реостата і сила струму в колі (рис. 2), якщо повзунок реостата пересунути праворуч?

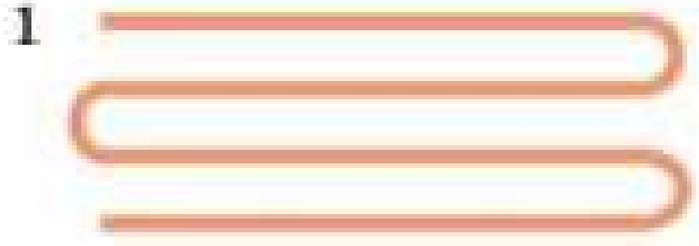


Рис. 1

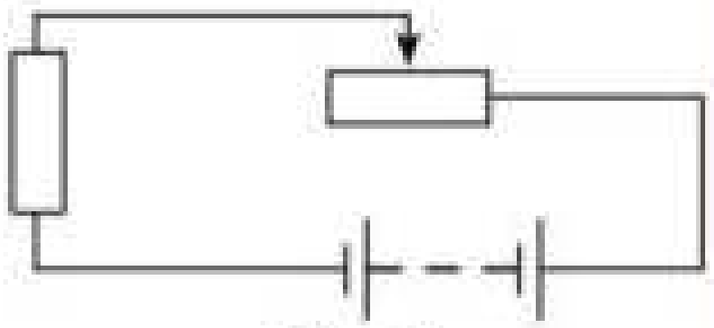


Рис. 2

Видавництво «Ранок»

4. Накресліть схему кола, що подано на рис. 3. Як зміняться покази амперметра і яскравість світла від лампочки, якщо повзунок реостата пересунути праворуч?

5. Яким має бути завдовжки ніхромовий дріт із площею поперечного перерізу 0,2 мм^2, щоб за напруги на його кінцях 4,4 В сила струму в ньому становила 0,4 А?

6. Дріт, що має опір 25 Ом, розрізали навпіл і половини звили. Як і в скільки разів змінився опір дроту? Поясніть свою відповідь.

7. Під час проходження електричного струму в алюмінієвому дроті завдовжки 100 м напруга на кінцях дроту становить 7 В. Чому дорівнює маса дроту, якщо сила струму в ньому 10 А?

8. Скориставшись рис. 4, опишіть принцип дії штепсельного реостата.

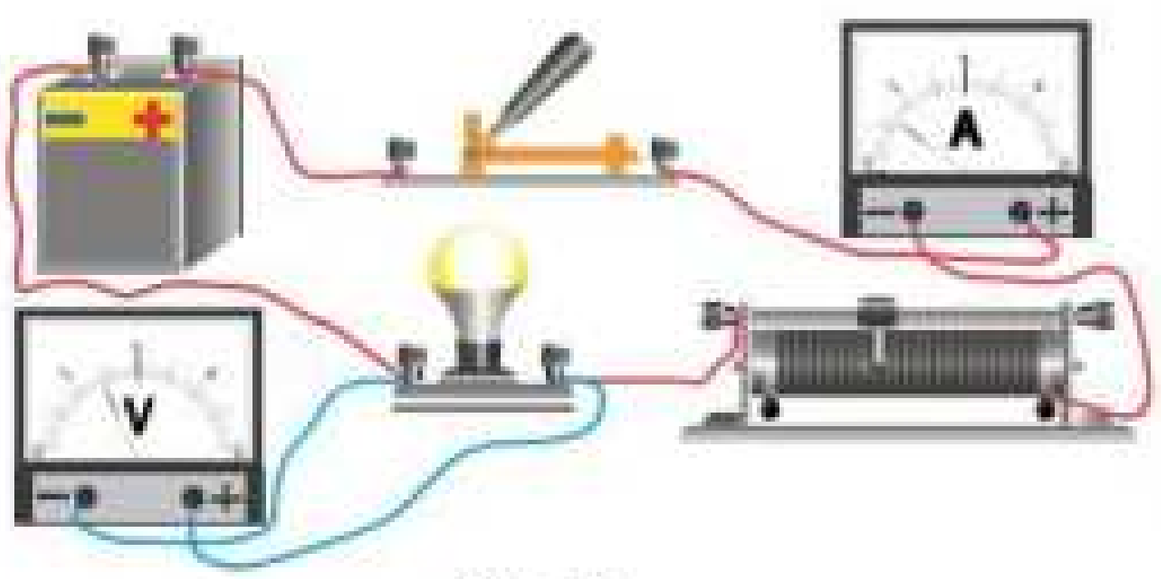


Рис. 3

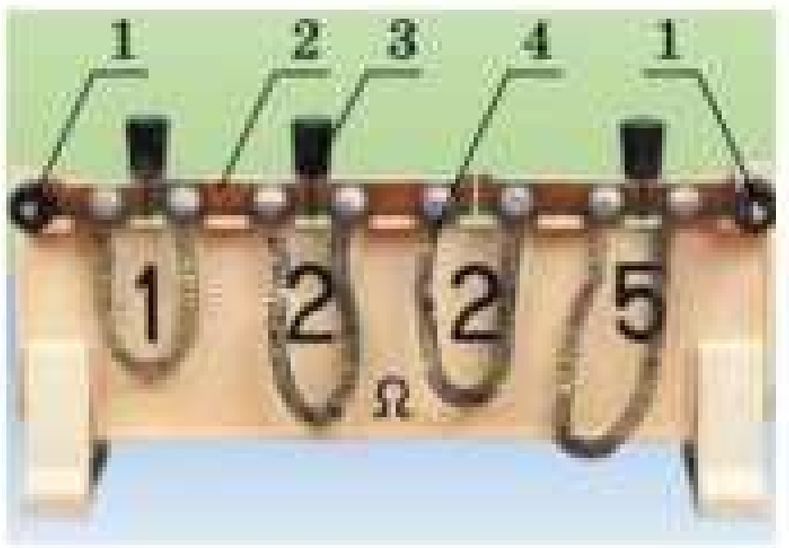


Рис. 4. Штепсельний реостат (магазин опорів): 1 — затискачі; 2 — мідна пластина; 3 — штепсель; 4 — спіраль

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

Виготовте з металевого дроту резистор, що має опір 0,2 Ом. Опишіть свої дії. Зазначте діаметр і довжину використаного дроту, метал, з якого він виготовлений.

Ключові терміни

Питомий опір речовини · Ом-метр · Реостат

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

rnk.com.ua/110508

Тема. Вимірювання опору провідника за допомогою амперметра та вольтметра.

Мета: навчитися визначати опір провідника за допомогою амперметра та вольтметра; переконатися на досліді в тому, що опір провідника не залежить від сили струму в ньому та напруги на його кінцях.

Обладнання: джерело струму, резистор, повзунковий реостат, амперметр, вольтметр, ключ, з'єднувальні проводи.

ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ

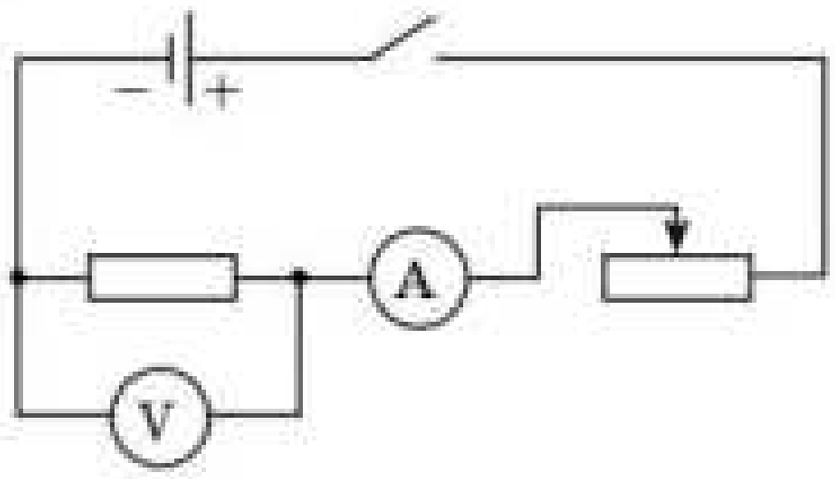
Підготовка до експерименту

1. Перш ніж виконувати роботу, переконайтеся, що ви знаєте:
   1) вимоги безпеки під час роботи з електричними колами;
   2) правила, яких необхідно дотримуватися, здійснюючи вимірювання за допомогою амперметра та вольтметра.
2. Визначте ціну поділки шкал амперметра та вольтметра.

Експеримент

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

1. Складіть електричне коло за поданою схемою.



2. Розташуйте повзунок реостата на середині обмотки.
3. Замкніть коло і виміряйте напругу на резисторі та силу струму в ньому.
4. Плавно пересуваючи повзунок реостата, збільште силу струму в резисторі. Запишіть покази вольтметра та амперметра.
5. Пересуваючи повзунок реостата у протилежний бік, ще двічі вимірюйте напругу на резисторі та силу струму в ньому.

Видавництво «Ранок»

Опрацювання результатів експерименту

1. Обчисліть опір резистора для кожного випадку.
2. Результати обчислень занесіть до таблиці.

Номер досліду	Сила струму I, A	Напруга U, B	Опір R, Ом
1			

Аналіз експерименту та його результатів

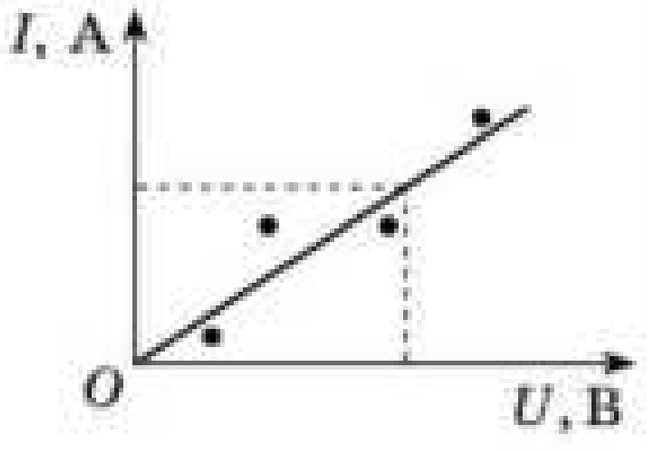
Проаналізувавши експеримент і його результати, зробіть висновок, у якому зазначте:

1) яку фізичну величину і за допомогою яких приладів ви навчилися вимірювати;
2) чи залежить вимірювана величина від сили струму в резисторі та напруги на ньому;
3) які чинники вплинули на точність вимірювання.

Творче завдання

За отриманими в процесі експерименту даними побудуйте графік залежності сили струму в резисторі від напруги на його кінцях (вольт-амперну характеристику резистора). За графіком визначте значення опору резистора.

Зверніть увагу: через похибку вимірювання точки можуть не належати одній прямій, що проходить через початок координат ($U=0$, $I=0$). У цьому випадку будуйте графік так, щоб він проходив через точку (0, 0) і щоб з обох боків від графіка була приблизно однакова кількість експериментальних точок. Для знаходження опору резистора використайте будь-яку точку отриманого графіка (див. рисунок).



Видавництво «Ранок»

§ 39. ПОСЛІДОВНЕ З'ЄДНАННЯ ПРОВІДНИКІВ

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Фото на заставці ілюструє так званий принцип доміно. Після опрацювання параграфа прокоментуйте зв'язок між послідовним з'єднанням провідників і цим принципом. Чи доречна така аналогія?

1. Яке з'єднання провідників називають послідовним?

Електричне коло, подане на рис. 39.1, не має розгалужень: елементи кола розташовані послідовно один за одним. Таке з'єднання провідників називають *послідовним*.

Зверніть увагу: якщо один із послідовно з'єднаних провідників вийде з ладу, то в решті струм теж іти не буде, бо *коло буде розімкненим*.

Оскільки коло з послідовним з'єднанням провідників не має розгалужень, то заряд, який за певний час t проходить через поперечний переріз кожного з провідників, є однаковим:

$$q = q_1 = q_2,$$

де q — загальний заряд, який пройшов через коло; q_1 — заряд, який пройшов через поперечний переріз спіралі резистора; q_2 — заряд, який пройшов через поперечний переріз нитки розжарення лампи.

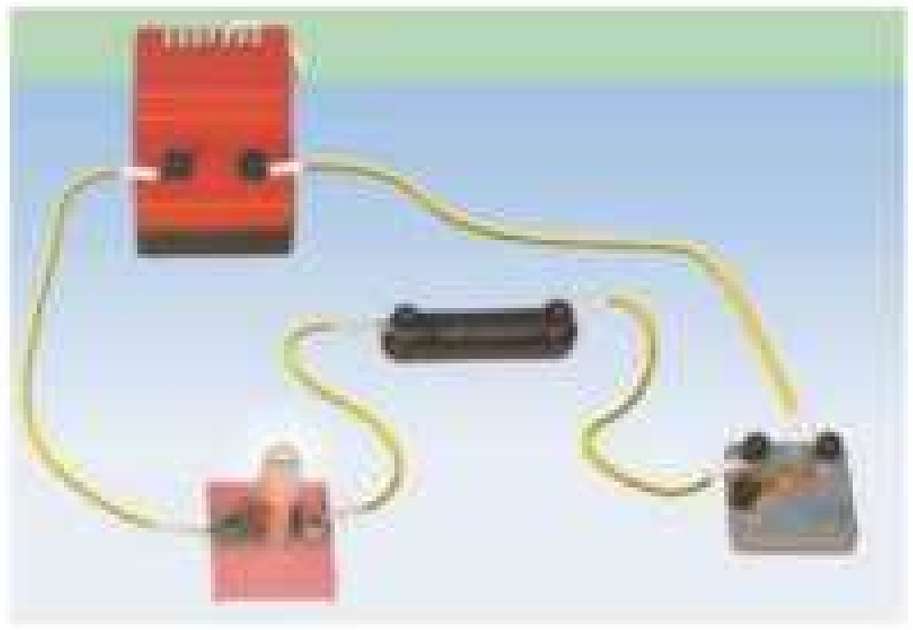


Рис. 39.1. Послідовне з'єднання кількох провідників

Поділивши цей вираз на t, отримаємо: $\frac{q}{t} = \frac{q_1}{t} = \frac{q_2}{t}$. За означенням сили струму: $\frac{q}{t} = I$, отже: $I = I_1 = I_2$.

У разі послідовного з'єднання провідників загальна сила струму в колі та сила струму в кожному провіднику однакові:

$$I = I_1 = I_2$$

Видавництво «Ранок»

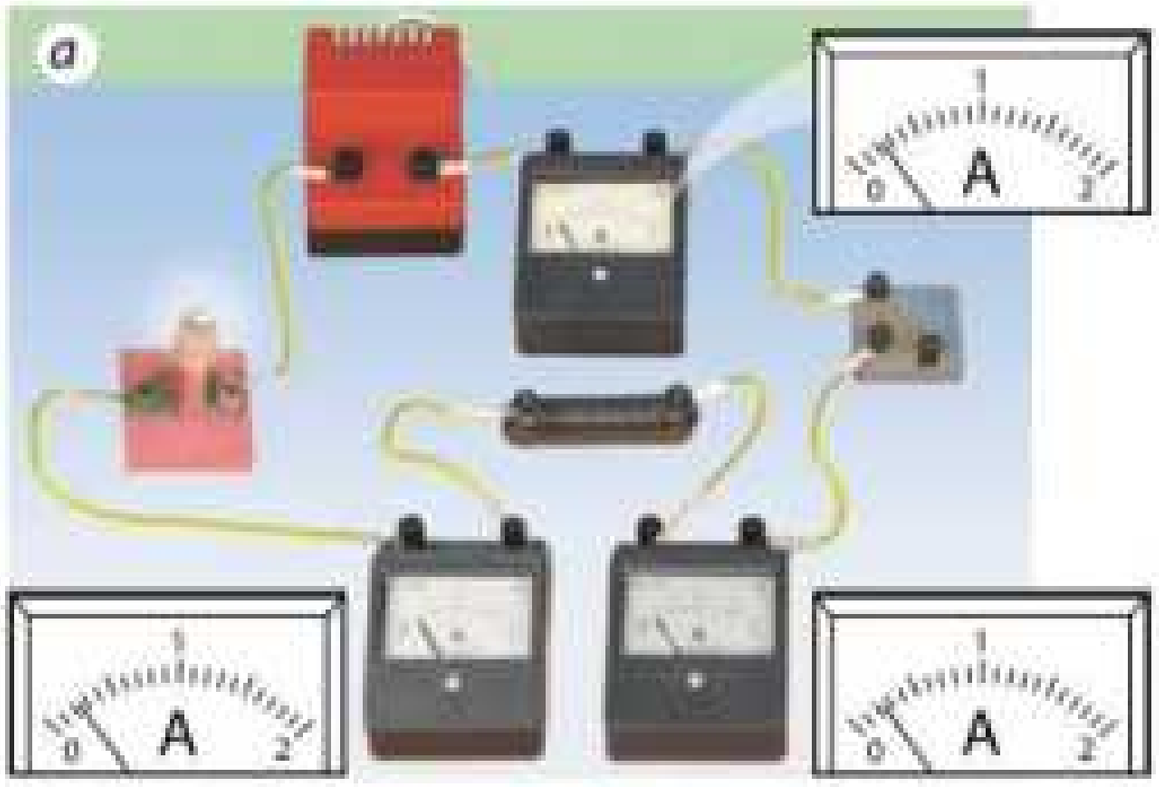


Рис. 39.2. Вимірювання сили струму в різних ділянках електричного кола, яке складене з послідовно з'єднаних провідників: *а* — загальний вигляд електричного кола; *б* — схема. Сила струму в усіх провідниках однакова

Наші теоретичні дослідження легко перевірити за допомогою експерименту (рис. 39.2).

Щоб з'ясувати, яким співвідношенням пов'язані загальна напруга U на двох послідовно з'єднаних провідниках та напруги U_1 і U_2 на першому та другому провідниках відповідно, згадаємо формулу для обчислення напруги: $U = \frac{A}{q}$.

Якщо електричне поле виконує роботу A_1 з переміщення заряду q в першому провіднику і роботу A_2 — у другому провіднику, то зрозуміло, що для переміщення заряду через обидва провідники має бути виконана робота $A = A_1 + A_2$. Поділивши обидві частини рівності на q, одержимо: $\frac{A}{q} = \frac{A_1}{q} + \frac{A_2}{q}$. За означенням напруги $\frac{A}{q} = U$, отже, $U = U_1 + U_2$.

Загальна напруга U на двох послідовно з'єднаних провідниках дорівнює сумі напруги U_1 на першому провіднику та напруги U_2 на другому провіднику:

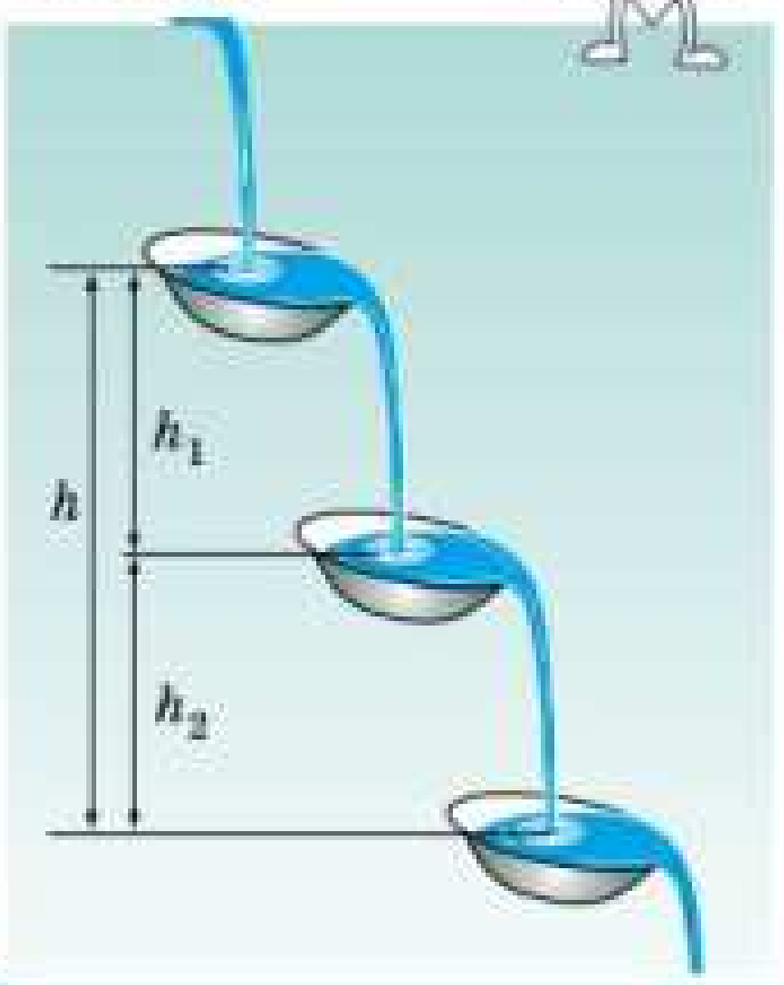
$$U = U_1 + U_2$$

Цей висновок можна перевірити експериментально (рис. 39.3).

Одержані співвідношення для сили струму та напруги справджуються для будь-якої кількості n послідовно з'єднаних провідників:

$$I = I_1 = I_2 = \ldots = I_n; \quad U = U_1 + U_2 + \ldots + U_n$$

Краще зрозуміти властивості послідовного з'єднання провідників допоможе механічна аналогія; відповідні паралелі проведіть самостійно.



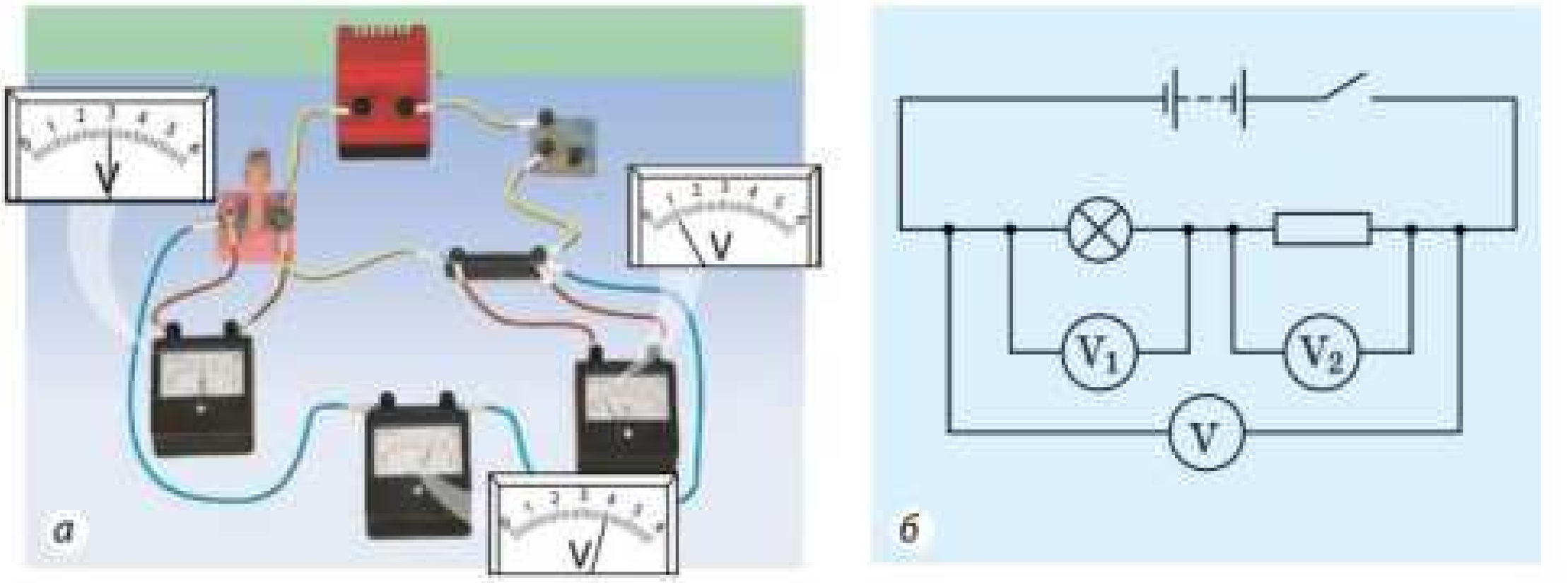


Рис. 39.3. Вимірювання напруги на різних ділянках електричного кола, яке складене з послідовно з'єднаних провідників: *а* — загальний вигляд електричного кола; *б* — схема. Загальна напруга на ділянці кола, яка містить послідовно з'єднані лампу та резистор, дорівнює сумі напруги на лампі та напруги на резисторі

2. Як розрахувати загальний опір ділянки кола?

Для обчислення загального опору R ділянки кола, яка складається з двох послідовно з'єднаних провідників опорами R_1 і R_2, скористаємося співвідношенням $U = U_1 + U_2$.

Застосувавши закон Ома, можемо переписати це співвідношення так: $IR = I_1R_1 + I_2R_2$.

Оскільки в разі послідовного з'єднання $I_1 = I_2 = I$, то одержимо: $IR = IR_1 + IR_2$, або $IR = I(R_1 + R_2)$. Після скорочення на I маємо:

$$R = R_1 + R_2$$

Якщо ділянка кола складається з кількох послідовно з'єднаних провідників, загальний опір ділянки дорівнює сумі опорів окремих провідників:

$$R = R_1 + R_2 + \ldots + R_n,$$

де n — кількість провідників.

Проаналізувавши останню формулу, можна зробити такі висновки:

- загальний опір послідовно з'єднаних провідників більший за опір кожного із 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.

Видавництво «Ранок»

3. Учимося розв'язувати задачі

■ Задача. Три резистори з опорами 2 Ом, 3 Ом і 7 Ом з'єднані послідовно. Яким є опір цієї ділянки кола? Визначте напругу на кожному резисторі та силу струму в ділянці, якщо на ділянку подано напругу 36 В. Опором проводів знехтуйте. ■

Аналіз фізичної проблеми. В умові задачі подано опір кожного резистора, тому можемо знайти загальний опір ділянки кола. Скориставшись законом Ома, знайдемо силу струму в колі. Знаючи, що сила струму в ділянці кола, яка складається з послідовно з'єднаних провідників, усюди однакова, обчислимо напругу на кожному резисторі.

Дано:

$R_1 = 2$ Ом

$R_2 = 3$ Ом

$R_3 = 7$ Ом

$U = 36$ В

Знайти:

R — ?

U_1 — ?

U_2 — ?

U_3 — ?

I — ?

Пошук математичної моделі, розв'язання

$R = R_1 + R_2 + R_3 = 2\,\text{Ом} + 3\,\text{Ом} + 7\,\text{Ом} = 12\,\text{Ом}.$

Відповідно до закону Ома: $I = \frac{U}{R} = \frac{36\,\text{В}}{12\,\text{Ом}} = 3\,\text{А}.$

$I_1 = I_2 = I_3 = I$, тому $I_1 = 3\,\text{А}$; $I_2 = 3\,\text{А}$; $I_3 = 3\,\text{А}$.

$U_1 = I_1 R_1 = 3\,\text{А} \cdot 2\,\text{Ом} = 6\,\text{В}$; $U_2 = I_2 R_2 = 3\,\text{А} \cdot 3\,\text{Ом} = 9\,\text{В}$;

$U_3 = I_3 R_3 = 3\,\text{А} \cdot 7\,\text{Ом} = 21\,\text{В}.$

Аналіз результатів. Загальна напруга на ділянці кола: $U = U_1 + U_2 + U_3 = 6\,\text{В} + 9\,\text{В} + 21\,\text{В} = 36\,\text{В}$. Одержаний результат збігається зі значенням напруги, поданим в умові задачі, отже, задачу розв'язано правильно.

Відповідь: $R = 12\,\text{Ом}$; $U_1 = 6\,\text{В}$; $U_2 = 9\,\text{В}$; $U_3 = 21\,\text{В}$; $I = 3\,\text{А}$.

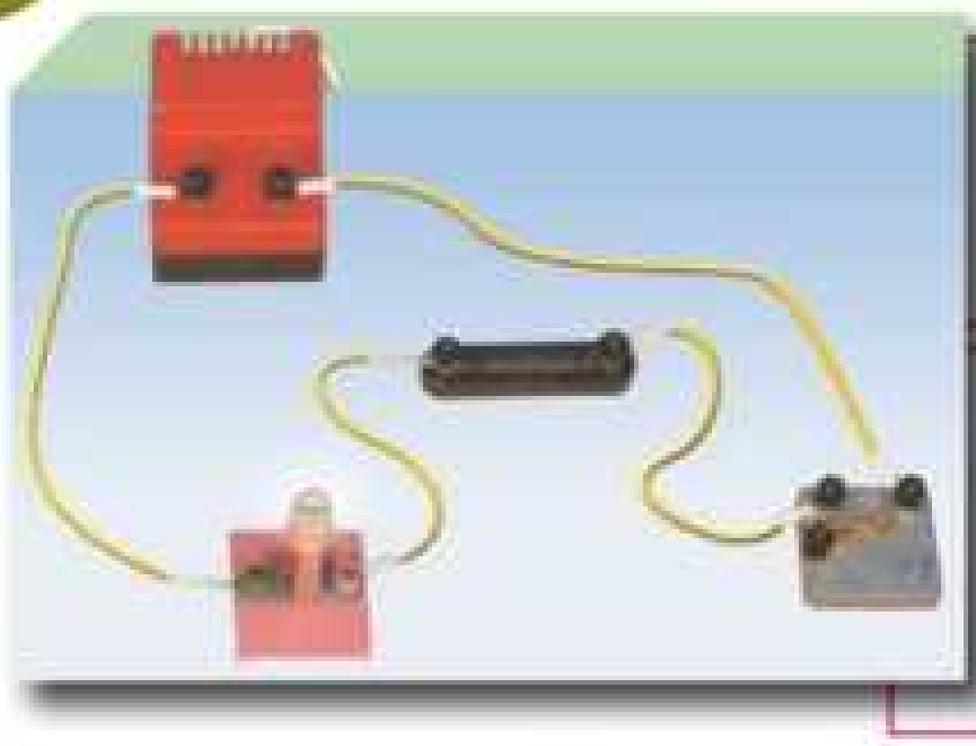
ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...

Для найточнішого вимірювання температури є спеціальний прилад, який у всьому світі має назву *еталонний платиновий термометр.*

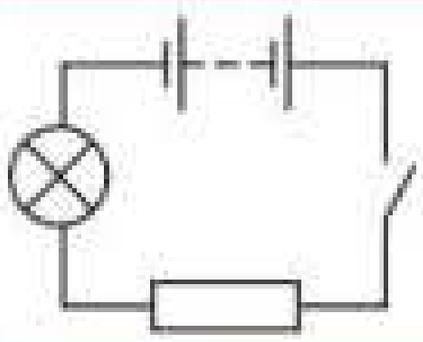
«Еталонний» означає, що цей термометр дає змогу перевірити точність будь-якого термометра. Зауважимо, що інтервал температур, на якому працюють різні типи термометрів, суттєво різниться. Наприклад, медичному термометру достатньо 42 °С, а от термометру для вимірювання температури розплавленого металу необхідно більш ніж 1000 °С. Еталонний термометр має надійно й точно працювати у величезному діапазоні температур. Тільки тоді його можна використовувати для перевірки всіх інших можливих термометрів.

Наявність слова «платиновий» для фахівця / фахівчині каже багато. Саме платина гарантує високу надійність вимірів. Інший метал з такими характеристиками знайти важко. Але платиновий датчик є тільки частиною еталона. А весь еталон — це електричне коло з послідовним з'єднанням елементів.

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ



Послідовне з'єднання — це таке з'єднання провідників, яке не має розгалужень. Провідники приєднуються до кола послідовно, один за одним.



Якщо споживачі з'єднані послідовно, вимкнення одного з них приведе до розмикання кола.

Закони послідовного з'єднання

Сила струму	Напруга	Опір
$I = I_1 = I_2 = \ldots = I_n$	$U = U_1 + U_2 + \ldots + U_n$	$R = R_1 + R_2 + \ldots + R_n$

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Яку особливість має електричне коло, що складається з послідовно з'єднаних провідників? 2. Чому вимикач завжди з'єднують зі споживачем послідовно? 3. Яким є співвідношення між загальною силою струму в ділянці кола з послідовно з'єднаними провідниками та силою струму в кожному провіднику? між загальною напругою на ділянці та напругою на кожному провіднику? 4. Як обчислити загальний опір кола, яке складається з послідовно з'єднаних провідників? 5. Як зміниться загальний опір ділянки кола, якщо до неї послідовно приєднати ще один провідник?

ВПРАВА № 39

Виконуючи завдання, опором проводів знехтуйте.

1. Ділянка кола містить два послідовно з'єднаних резистори з опором 2 Ом кожен. Який опір ділянки? Яка напруга на ділянці, якщо сила струму в ній 0,5 А? Яка напруга на кожному резисторі?
2. Загальний опір двох ламп і реостата, з'єднаних послідовно, дорівнює 65 Ом. Накресліть електричну схему цієї ділянки кола. Визначте опір реостата, якщо опір кожної лампи дорівнює 15 Ом.
3. Опір одного з двох послідовно з'єднаних резисторів становить 650 Ом. Знайдіть опір іншого резистора, якщо сила струму в ньому 80 мА, а загальна напруга на обох резисторах дорівнює 72 В.

Видавництво «Ранок»

4. Ділянка кола (рис. 1) містить дві послідовно з'єднані електричні лампи, опір яких становить: $R_1 = 120$ Ом; $R_2 = 130$ Ом. Яким є показ вольтметра, якщо напруга на ділянці дорівнює 100 В?

5. Ділянка кола (рис. 2) містить три резистори, опір яких становить: $R_1 = 5$ Ом; $R_2 = 8$ Ом; $R_3 = 15$ Ом. Яким є показ амперметра і чому дорівнює напруга між точками A і B, якщо вольтметр показує 1,6 В?

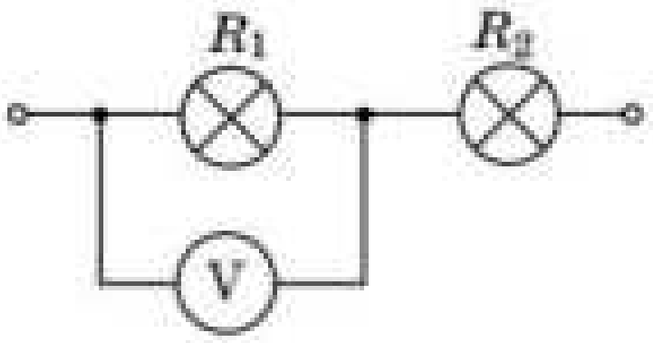


Рис. 1

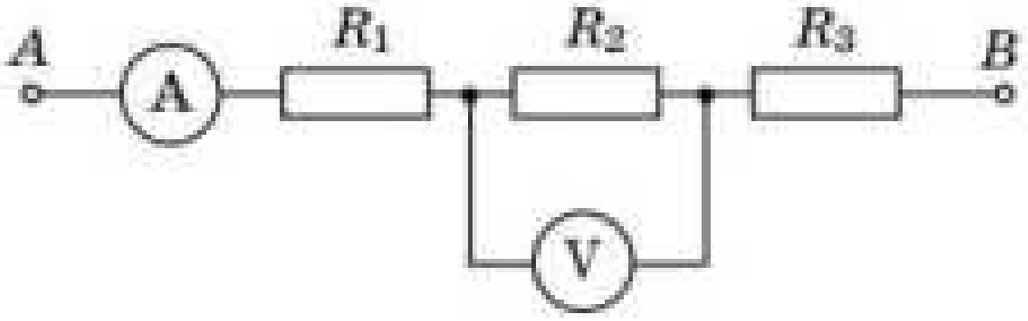


Рис. 2

6. Чи можна лампу для кишенькового ліхтарика, яка розрахована на силу струму 0,3 А, увімкнути в освітлювальну мережу послідовно з лампою, яка розрахована на напругу 220 В і має опір 1100 Ом?

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

Виготовте пристрій, призначений для перевірки знань (рис. 1). Для цього:

1. На аркуш цупкого картону наклейте у два стовпчики смужки з паперу.
2. На смужках, розташованих у лівому стовпчику, напишіть запитання.
3. На смужках у правому стовпчику напишіть відповіді так, щоб пара «запитання — правильна відповідь» не становила один рядок.
4. Поряд із кожним прямокутником устроміть кнопку з довгим вістрям.
5. З'єднайте проводами кнопки на звороті картону так, щоб утворилися пари «запитання — правильна відповідь» (рис. 2), складіть електричне коло.
6. Якщо доторкнутися вільними кінцями проводів до клеми із запитанням і клеми з правильною відповіддю, лампа має засвітитися. Перевірте свої знання в парах.

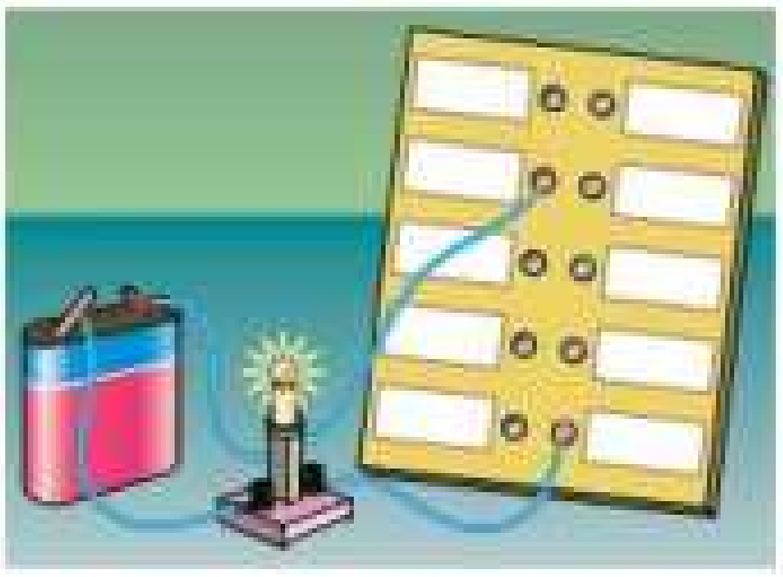


Рис. 1

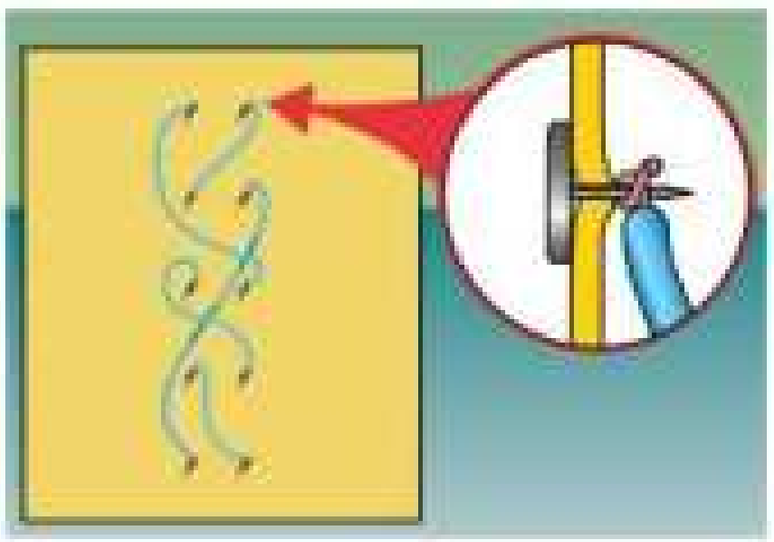


Рис. 2

Ключові терміни

Послідовне з'єднання • Закони послідовного з'єднання

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

rnk.com.ua/110509

Тема. Дослідження електричного кола з послідовним з'єднанням провідників.

Мета: експериментально перевірити, що в разі послідовного з'єднання двох провідників справджуються співвідношення: $I = I_1 = I_2$; $U = U_1 + U_2$; $R = R_1 + R_2$.

Обладнання: джерело струму, вольтметр, амперметр, ключ, два резистори, з'єднувальні проводи.

ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ

Підготовка до експерименту

1. Перш ніж виконувати роботу, переконайтеся, що ви знаєте вимоги безпеки під час роботи з електричними колами.
2. Накресліть схему електричного кола, яке складається із джерела струму, двох резисторів і ключа, з'єднаних послідовно.
3. Складіть і запишіть план проведення експерименту. Якщо вагаєтеся, то скористайтеся планом, наведеним нижче.

Експеримент

Дотримуйтесь інструкції з безпеки.

Дослід 1. Порівняння сили струму в різних ділянках кола, яке містить тільки послідовне з'єднання провідників.

1. Складіть електричне коло за накресленою вами схемою.
2. Вимірявши силу струму, увімкнувши амперметр спочатку між джерелом струму і першим резистором (I_1), потім між ключем і другим резистором (I_2), а потім між ключем і джерелом струму (I). Накресліть схеми відповідних електричних кіл.
3. Результати вимірювань занесіть до табл. 1 і зробіть висновок.

Таблиця 1

I_1, А	I_2, А	I, А	Висновок

Видавництво «Ранок»

Дослід 2. Порівняння загальної напруги на ділянці кола, яка складається з послідовно з'єднаних резисторів, і суми напруг на окремих резисторах.

1. У колі, складеному для проведення досліду 1, виміряйте напругу спочатку на першому резисторі (U_1), потім на другому резисторі (U_2), а потім на обох резисторах (U). Накресліть схеми відповідних електричних кіл.
2. Результати вимірювань занесіть до табл. 2. Закінчіть заповнення таблиці та зробіть висновок.

Таблиця 2

U_1, В	U_2, В	U, В	(U_1+U_2), В	Висновок

Опрацювання результатів експерименту

1. Використовуючи результати дослідів 1 і 2, обчисліть опір першого резистора (R_1), другого резистора (R_2) та опір ділянки кола, яка містить обидва резистори (R).
2. Результати обчислень занесіть до табл. 3. Закінчіть заповнення таблиці, зробіть висновок.

Таблиця 3

R_1, Ом	R_2, Ом	R, Ом	(R_1+R_2), Ом	Висновок

Аналіз експерименту та його результатів

Проаналізувавши експеримент і його результати, зробіть висновок, у якому зазначте:

1) які співвідношення для послідовно з'єднаних провідників ви перевіряли та які результати одержали;
2) які чинники могли вплинути на точність отриманих вами результатів.

Творче завдання

Запишіть план проведення експерименту, за допомогою якого можна визначити опір резистора, якщо ви маєте вольтметр, джерело струму, резистор відомого опору та з'єднувальні проводи. Проведіть відповідний експеримент.

Видавництво «Ранок»

§ 40. ПАРАЛЕЛЬНЕ З'ЄДНАННЯ ПРОВІДНИКІВ

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Розгляньте два електричних кола, поданих на рисунку праворуч. Що спільного мають ці кола? Чим вони відрізняються? Уявіть, що ваша люстра має лише дві лампи. Як би ви їх з'єднали? Чому саме так? Поверніться до обговорення цього питання після опрацювання параграфа та дізнайтеся, чи мали ви рацію.

1. Вивчаємо коло, яке містить паралельно з'єднані провідники

Розглянемо електричне коло, яке містить дві паралельно з'єднані лампи (рис. 40.1, *а*). Звернувшись до схеми цього кола (рис. 40.1, *б*), бачимо: по-перше, для проходження струму в колі є два шляхи — дві *вітки*, кожна з яких містить одну лампу; по-друге, обидві вітки мають спільну пару точок (*A* і *B*) — вузлів. У вузлах (вузлових точках) відбувається розгалуження кола (у кожному вузлі з'єднуються не менш ніж три проводи). *Розгалуження є характерною ознакою кола з паралельним з'єднанням провідників.*

Коло може містити не одну, а кілька пар вузлових точок. При цьому всі провідники, які приєднані до однієї пари вузлових точок, будуть з'єднані *паралельно* (рис. 40.2).

Рис. 40.1. Паралельне з'єднання двох споживачів струму: *а* — загальний вигляд; *б* — схема; стрілками показано напрямок струму

Рис. 40.2. Схема ділянки кола, яка містить паралельне з'єднання провідників. З'єднані паралельно: резистори 1 і 2 (вузли *A* і *B*), резистори 3, 4 і 5 (вузли *C* і *D*); резистор 6 приєднаний паралельно ділянці *AD* (вузли *A* і *D*)

Видавництво «Ранок»

2. Як визначити силу струму та напругу в разі паралельного з'єднання провідників?

Щоб визначити напругу на кожному з паралельно з'єднаних провідників, достатньо виміряти напругу між вузловими точками. Так, приєднавши вольтметр до пари вузлових точок *A* і *B* (рис. 40.3), одразу вимірюємо напругу і на ділянці *AB*, і на кожній лампі.

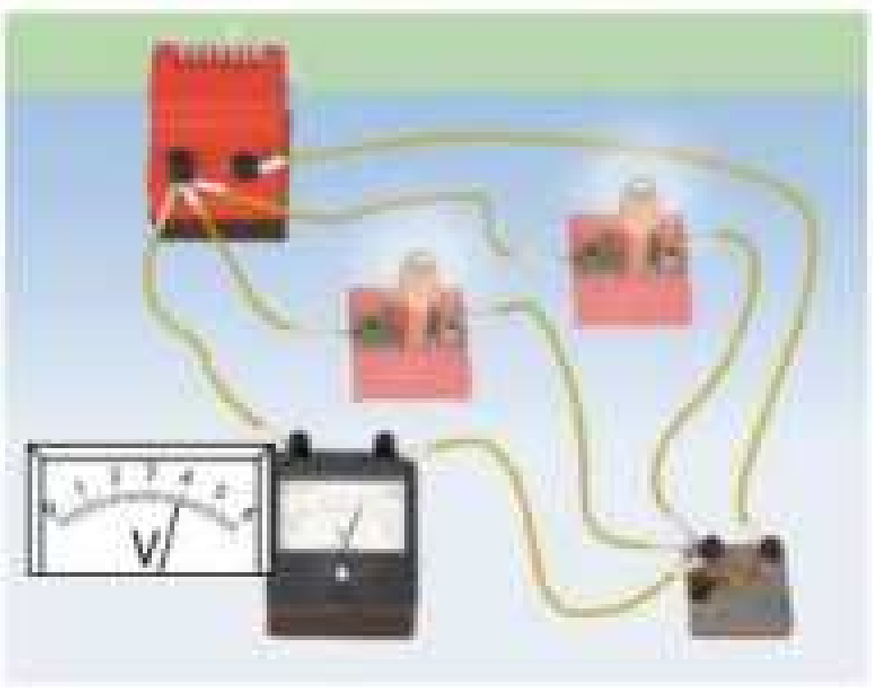
Загальна напруга на ділянці та напруга на кожному з паралельно з'єднаних провідників є однаковою:

$$U = U_1 = U_2 = \ldots = U_n,$$

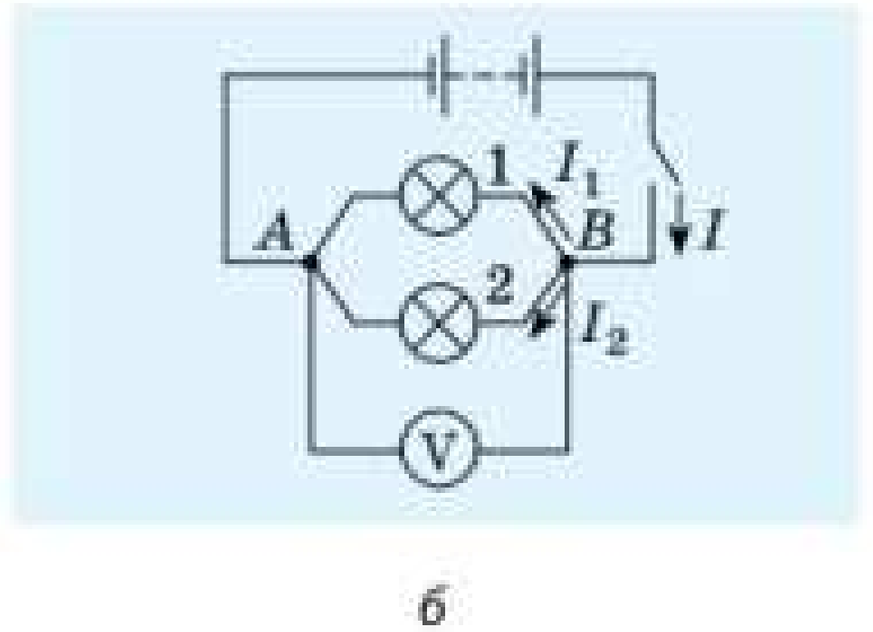
де *n* — кількість провідників.

У разі паралельного з'єднання провідників є кілька шляхів для проходження струму (див. рис. 40.3). Дійсно, струм, дійшовши до розгалуження (вузлова точка *B*), розтікається по двох вітках. Оскільки заряд у вузловій точці не накопичується, то заряд *q*, який «надійшов» у вузол за певний час *t*, дорівнює сумі зарядів $(q_1 + q_2)$, які «вийшли» із цього вузла за той самий час: $q = q_1 + q_2$. Поділивши обидві частини рівності на *t*, одержимо: $\frac{q}{t} = \frac{q_1}{t} + \frac{q_2}{t}$. Оскільки $\frac{q}{t} = I$, маємо:

$$I = I_1 + I_2$$



а



б

Рис. 40.3. Вимірювання напруги в разі паралельного з'єднання провідників: *а* — загальний вигляд; *б* — схема. Вольтметр показує напругу на лампі 1, лампі 2 і на всій ділянці *AB*

Це співвідношення справджується для будь-якої кількості паралельно з'єднаних провідників.

У разі паралельного з'єднання провідників сила струму в нерозгалуженій частині кола дорівнює сумі сил струмів у відгалуженнях (окремих вітках):

$$I = I_1 + I_2 + \ldots + I_n,$$

де *n* — кількість провідників.

Експериментально ви доведете це твердження під час виконання лабораторної роботи.

Накресліть схему ділянки електричного кола, яка містить електричний подовжувач (див. заставку до § 40). Пристрої, які до нього приєднані, запропонуйте самостійно.

3. Чому споживачі електричної енергії в оселі з'єднані паралельно?

Різноманітні побутові електричні пристрої вмикають в електричну мережу паралельно, оскільки:

1) тільки в разі такого під'єднання на кожному пристрої буде та напруга, на яку він розрахований, а саме 220 В;

2) вимкнення одного зі споживачів не приведе до вимкнення решти.

На рис. 40.4 зображено частину електричної проводки у квартирі. Горизонтальні лінії — проводи електромережі. Ці вмонтовані в стіни проводи охоплюють усю квартиру. Напруга між проводами становить 220 В.

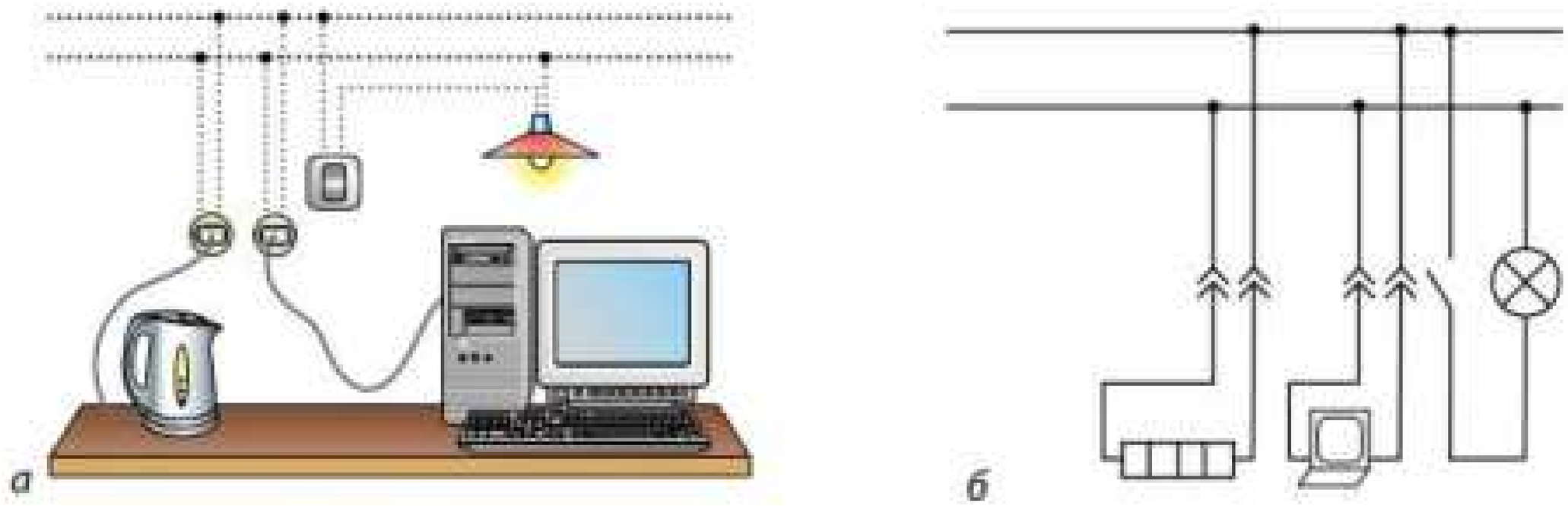


Рис. 40.4. Частина електричної проводки у квартирі: *а* — загальний вигляд; *б* — схематичне зображення. На практиці електропроводку монтують у стінах

А ЯК НАСПРАВДІ?

З реклами ялинкової гірлянди. У нашій гірлянді всі 100 лампочок з'єднано паралельно, що є дуже зручним. Якщо одна лампочка перегоряє, решта продовжує світитися.

Коментар. Але в такому разі потрібний пристрій для зниження напруги, хіба що всі лампочки в гірлянді розраховані на 220 В. Чи є у вас у комплекті такий пристрій?

Відповідь. Наші лампочки розраховані на максимальну напругу 2,5 В. Лампочок 100. Якщо ввімкнути гірлянду в мережу (220 В), то на кожну лампочку припаде лише 2,2 В. Отже, знижувач напруги не потрібний!

Як ви вважаєте, чи не помилилися рекламодавці?

4. Як визначити загальний опір ділянки кола з паралельним з'єднанням провідників?

Щоб обчислити загальний опір R ділянки кола AB (див. рис. 40.1), яка складається з двох паралельно з'єднаних ламп, згадаймо, що:

$$I = I_1 + I_2.$$

Видавництво «Ранок»

Зверніть увагу!

- Загальний опір паралельно з'єднаних провідників менший від опору кожного із цих провідників.
- Загальний опір паралельно з'єднаних провідників, які мають однаковий опір R_0, можна розрахувати за формулою:

$$R = \frac{R_0}{n},$$

де n — кількість провідників.

- Опір двох паралельно з'єднаних провідників дорівнює:

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

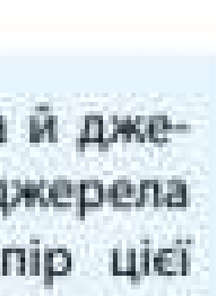
Позначивши опори ламп як R_1 і R_2 та застосувавши закон Ома, можемо переписати це співвідношення у вигляді: $\frac{U}{R} = \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2}$. Оскільки $U_1 = U_2 = U$, одержимо: $\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2}$. Після скорочення на U остаточно маємо:

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

У загальному випадку опір R ділянки кола, яка складається з n паралельно з'єднаних провідників, можна обчислити, скориставшись формулою:

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

Знайдіть опір ділянки кола, яка містить п'ять провідників опором 15 кОм кожний, якщо провідники з'єднані: паралельно; послідовно. Якою є сила струму в кожному провіднику, якщо на ділянку подано напругу 300 В?



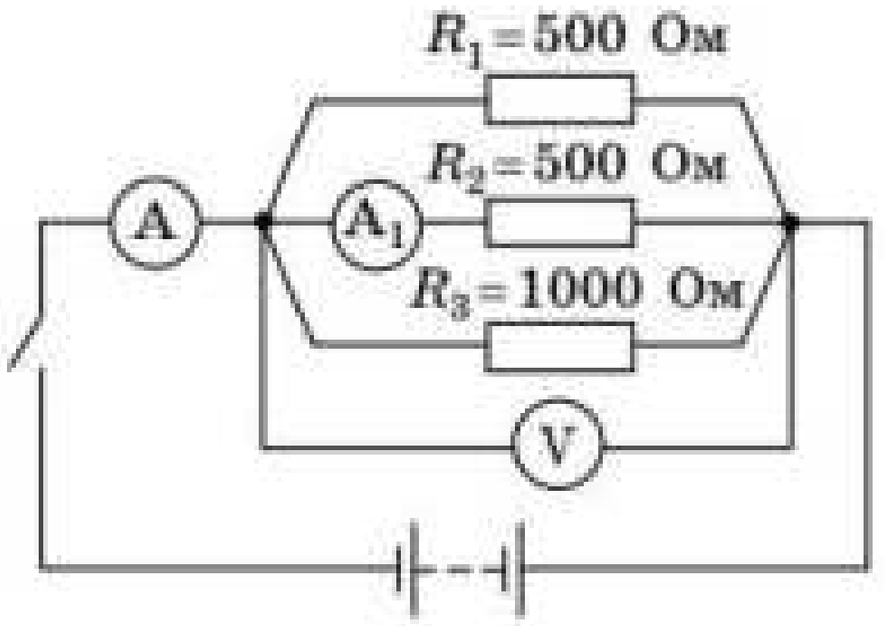
ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...

Послідовно та паралельно з'єднувати можна не лише споживачі, а й джерела живлення. Якщо потрібно збільшити вихідну напругу, то джерела живлення з'єднують послідовно. Якщо необхідно зменшити опір цієї батареї, використовують паралельне з'єднання. Цікаво, що такі батареї першою «створила» природа. Наприклад, деякі риби «використовують» подібні «батареї» для створення потужних електричних розрядів. Скажімо, «електричний орган» вугра складається з декількох десятків паралельно з'єднаних «стовпчиків», кожний із яких містить до 10 000 послідовно з'єднаних «гальванічних елементів».

5. Учимося розв'язувати задачі

■ **Задача 1.** На рисунку наведено схему електричного кола. Визначте покази амперметрів, якщо показ вольтметра 12 В. Опори резисторів зазначено на рисунку. ■

Аналіз фізичної проблеми. Електричне коло має два розгалуження, отже, містить паралельне з'єднання провідників.



Амперметр A ввімкнений перед розгалуженням, а амперметр A_1 — у відгалуження з резистором 2. Таким чином, необхідно знайти загальну силу струму в колі та силу струму в резисторі 2. Значення шуканих величин визначимо, скориставшись законом Ома та законами паралельного з'єднання провідників.

Дано:

$U = 12$ В

$R_1 = 500$ Ом

$R_2 = 500$ Ом

$R_3 = 1000$ Ом

Знайти:

I — ?

I_2 — ?

Пошук математичної моделі, розв'язання

У разі паралельного з'єднання провідників $U_1 = U_2 = U_3 = U$, тому $U_1 = 12$ В; $U_2 = 12$ В; $U_3 = 12$ В.

Відповідно до закону Ома:

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1} = \frac{12\text{ В}}{500\text{ Ом}} = 0{,}024\text{ А};$$

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{12\text{ В}}{500\text{ Ом}} = 0{,}024\text{ А};$$

$$I_3 = \frac{U_3}{R_3} = \frac{12\text{ В}}{1000\text{ Ом}} = 0{,}012\text{ А}.$$

Сила струму в нерозгалуженій частині кола:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = 0{,}024\text{ А} + 0{,}024\text{ А} + 0{,}012\text{ А} = 0{,}06\text{ А}.$$

Аналіз результатів. Із закону Ома загальний опір кола:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{12\text{ В}}{0{,}06\text{ А}} = \frac{1200\text{ В}}{6\text{ А}} = 200\text{ Ом}.$$

У разі паралельного з'єднання провідників:

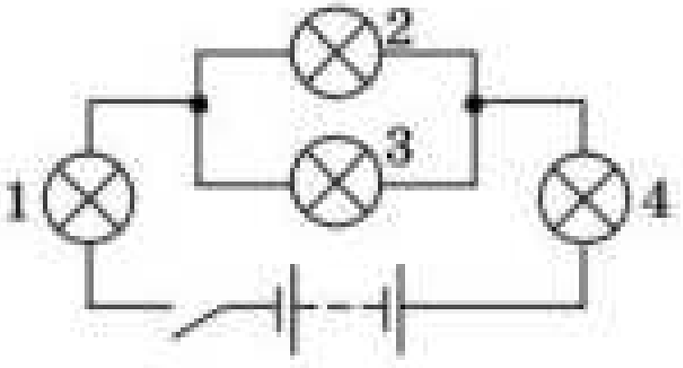
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{500\text{ Ом}} + \frac{1}{500\text{ Ом}} + \frac{1}{1000\text{ Ом}} = \frac{5}{1000\text{ Ом}}.$$

Звідси $R = \frac{1000\text{ Ом}}{5} = 200$ Ом.

Результати збіглися, отже, задачу розв'язано правильно.

Відповідь: показ амперметра A — 60 мА; показ амперметра A_1 — 24 мА.

■ **Задача 2.** Чотири однакові лампи з'єднані так, як показано на рисунку, і підключені до джерела струму. Визначте силу струму в кожній лампі, якщо напруга на джерелі 30 В, а опір кожної лампи — 6 Ом. ■



Аналіз фізичної проблеми. Коло містить **змішане з'єднання провідників:** лампи 2 і 3 з'єднані паралельно; лампи 1 і 4 — послідовно з ділянкою кола, що складається з ламп 2 і 3. Скориставшись законом Ома та законами послідовного і паралельного з'єднань провідників, знайдемо значення шуканих величин.

Видавництво «Ранок»

Дано:
$U = 30$ В
$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = 6$ Ом

Знайти:
I_1 — ?
I_2 — ?
I_3 — ?
I_4 — ?

Пошук математичної моделі, розв'язання

Лампи 2 і 3 з'єднані паралельно і мають однаковий опір, тому $R_{2,3} = \frac{R_2}{2} = \frac{6\ \text{Ом}}{2} = 3$ Ом. Загальний опір кола:

$$R = R_1 + R_{2,3} + R_4 = 6\ \text{Ом} + 3\ \text{Ом} + 6\ \text{Ом} = 15\ \text{Ом}.$$

За законом Ома загальна сила струму:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{30\ \text{В}}{15\ \text{Ом}} = 2\ \text{А}.$$

Оскільки $I_1 = I_{2,3} = I_4 = I$, то:

$$I_1 = 2\ \text{А};\ I_{2,3} = 2\ \text{А};\ I_4 = 2\ \text{А}.$$

$$U_{2,3} = I_{2,3} R_{2,3} = 2\ \text{А} \cdot 3\ \text{Ом} = 6\ \text{В}.$$

$$U_2 = U_3 = U_{2,3} \Rightarrow U_2 = 6\ \text{В};\ U_3 = 6\ \text{В}.$$

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{6\ \text{В}}{6\ \text{Ом}} = 1\ \text{А};\ I_3 = \frac{U_3}{R_3} = \frac{6\ \text{В}}{6\ \text{Ом}} = 1\ \text{А}.$$

Аналіз результатів. З одного боку, загальна сила струму на ділянці, що складається з ламп 2 і 3, дорівнює 2 А, з іншого боку, $I_{2,3} = I_2 + I_3 = 1\ \text{А} + 1\ \text{А} = 2\ \text{А}$. Результати збіглися, отже, задачу розв'язано правильно.

Відповідь: $I_1 = I_4 = 2$ А; $I_2 = I_3 = 1$ А.

Зверніть увагу: у випадку розрахунку *складних кіл зі змішаним з'єднанням провідників* зручно *покроково спрощувати схему*. Так, у задачі 2 таке покрокове спрощення матиме вигляд, поданий на рис. 40.5, *а*. Покрокове спрощення більш складної схеми подано на рис. 40.5, *б*.

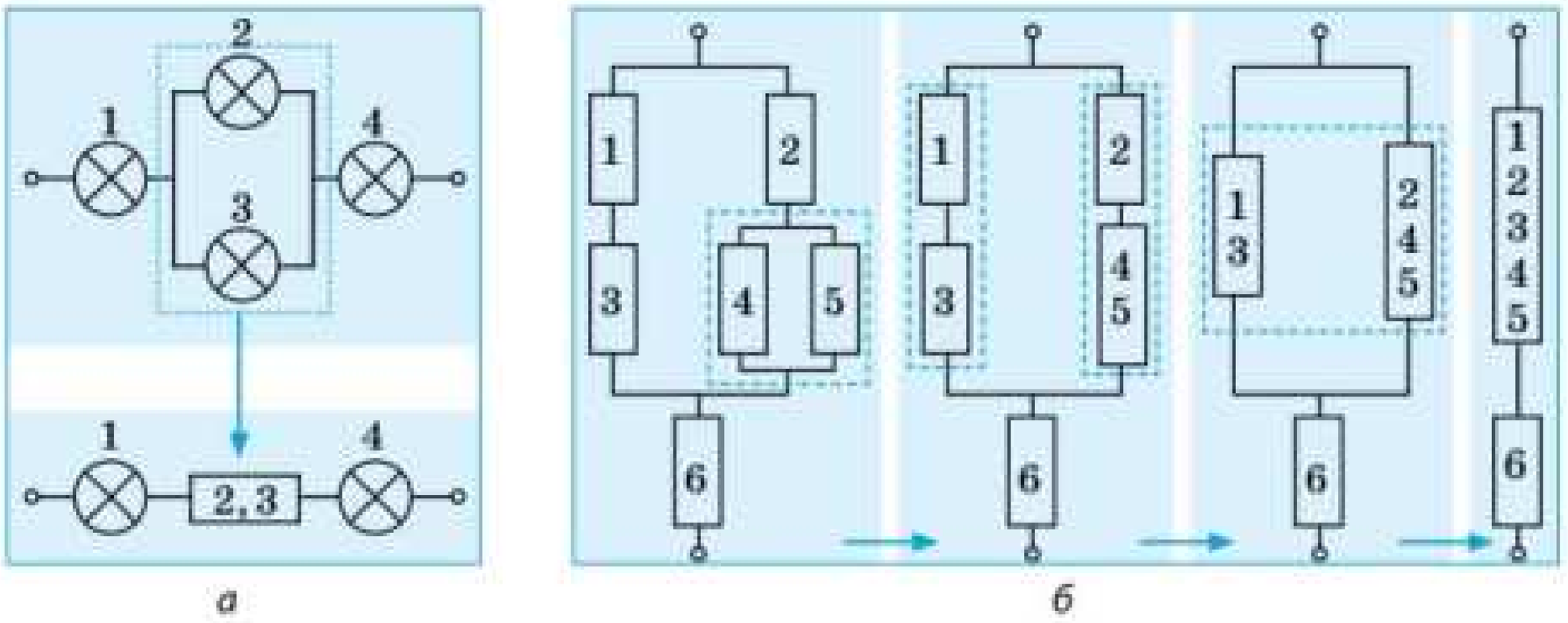
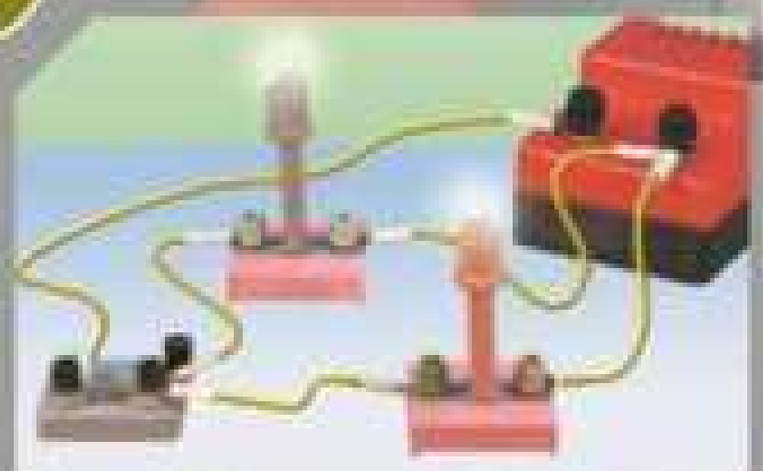


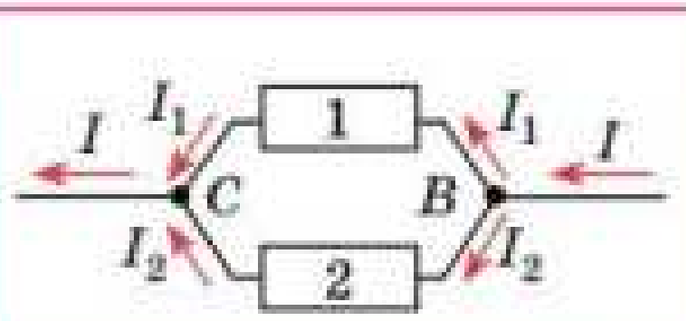
Рис. 40.5. Приклади покрокового спрощення електричної схеми

Видавництво «Ранок»

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ



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



! Якщо споживачі з'єднані паралельно, то вимкнення одного з них практично не впливає на роботу решти.

Закони паралельного з'єднання

Сила струму	Напруга	Опір
$I = I_1 + I_2 + \ldots + I_n$	$U = U_1 = U_2 = \ldots = U_n$	$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \ldots + \frac{1}{R_n}$

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Назвіть характерну ознаку кола, яке містить паралельне з'єднання провідників. 2. Порівняйте напругу на ділянці кола, яка складається з паралельно з'єднаних провідників, і напруги на кожному провіднику. 3. Яким є співвідношення між силою струму в нерозгалуженій частині кола і силою струму в кожній вітці розгалуження? 4. За допомогою якої формули можна обчислити опір ділянки кола, яка складається з кількох паралельно з'єднаних провідників? 5. Чому споживачі електроенергії у вашій оселі з'єднано паралельно?

ВПРАВА № 40

1. Електричне коло складається з акумулятора та трьох з'єднаних паралельно електричних ламп. Накресліть схему цього кола.

2. На рис. 1 зображено схему ділянки електричного кола. Відомо, що опір R_1 становить 100 Ом, опір R_2 — 150 Ом, показ амперметра — 2,4 А. Визначте напругу на ділянці.

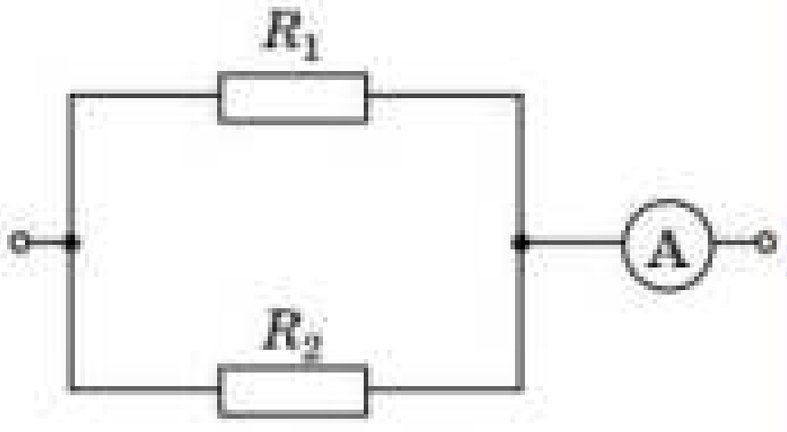


Рис. 1

Видавництво «Ранок»

3. Дві електричні лампи з'єднали паралельно й приєднали до джерела струму, напруга на якому становить 120 В. Визначте силу струму в кожній лампі й у нерозгалуженій частині кола, якщо опір однієї лампи дорівнює 200 Ом, а іншої — 300 Ом.

4. Однакові за довжиною та поперечним перерізом дроти — залізний, мідний і срібний — з'єднали паралельно та підключили до джерела струму. У якому дроті сила струму буде найбільшою?

5. Визначте загальний опір ділянки кола, зображеної на рис. 40.5, *б*, якщо $R_1 = R_6 = 7$ Ом; $R_2 = 1$ Ом; $R_3 = 5$ Ом; $R_4 = 12$ Ом; $R_5 = 4$ Ом. Якою буде загальна сила струму в ділянці кола, якщо до неї прикласти напругу 4 В?

6. Чому дорівнює напруга на полюсах джерела струму, яке живить коло (рис. 2), якщо $R_1 = 3$ Ом; $R_2 = 2$ Ом; $R_3 = 8$ Ом? Показ амперметра — 0,1 А.

7. Опір усіх резисторів на ділянці електричного кола (рис. 3) є однаковим і дорівнює 5 Ом. До ділянки кола прикладено постійну напругу. Який ключ потрібно замкнути, щоб показ амперметра A_2 був нижчим від показу амперметра A_1? Яке значення сили струму буде показувати амперметр A_1, якщо замкнути тільки ключ K_1? Відомо, що амперметр A_2 показує 300 мА, якщо всі ключі розімкнені.

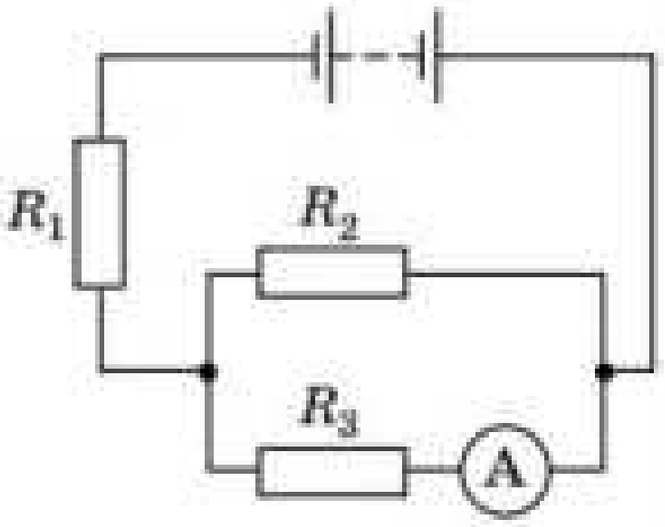


Рис. 2

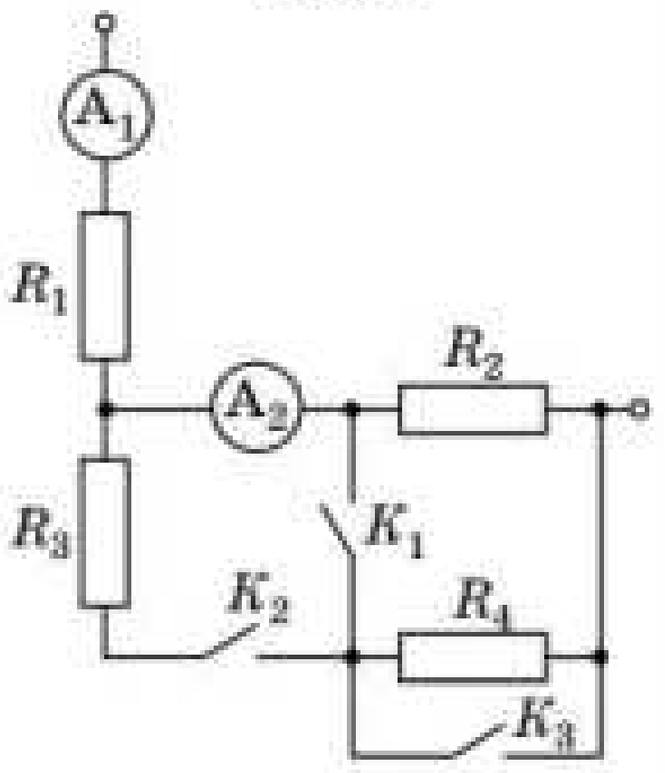


Рис. 3

8. Ви маєте 4 резистори з опором R_0 кожний. Скільки різних опорів і які саме ви можете отримати, використовуючи всі резистори одночасно?

9. Щоб виміряти силу струму, більшу за ту, на яку розрахований амперметр, можна скористатися тим самим амперметром: паралельно амперметру необхідно під'єднати резистор — *шунт* (рис. 4). У разі застосування шунта струм ділиться на дві частини: одна йде через амперметр, а інша — через шунт: $I = I_A + I_ш$. Шунт якого опору треба під'єднати паралельно амперметру опором 0,07 Ом, щоб збільшити межу вимірювання амперметра від 2 до 10 А?

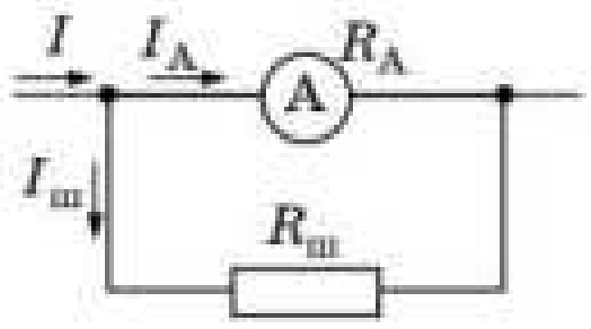


Рис. 4

10. Складіть задачу за рис. 40.2 і розв'яжіть її.

Видавництво «Ранок»

Ключові терміни

Паралельне з'єднання • Розгалуження • Відгалуження (вітка) • Вузлова точка (вузол) • Закони паралельного з'єднання

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8

rnk.com.ua/110510

Тема. Дослідження електричного кола з паралельним з'єднанням провідників.

Мета: експериментально перевірити, що сила струму в нерозгалуженій частині кола дорівнює сумі сил струмів у відгалуженнях; довести, що загальний опір провідників, з'єднаних паралельно, менший за опір кожного з них.

Обладнання: джерело струму, вольтметр, амперметр, ключ, дві електричні лампи на підставках, з'єднувальні проводи.

Вказівки до роботи

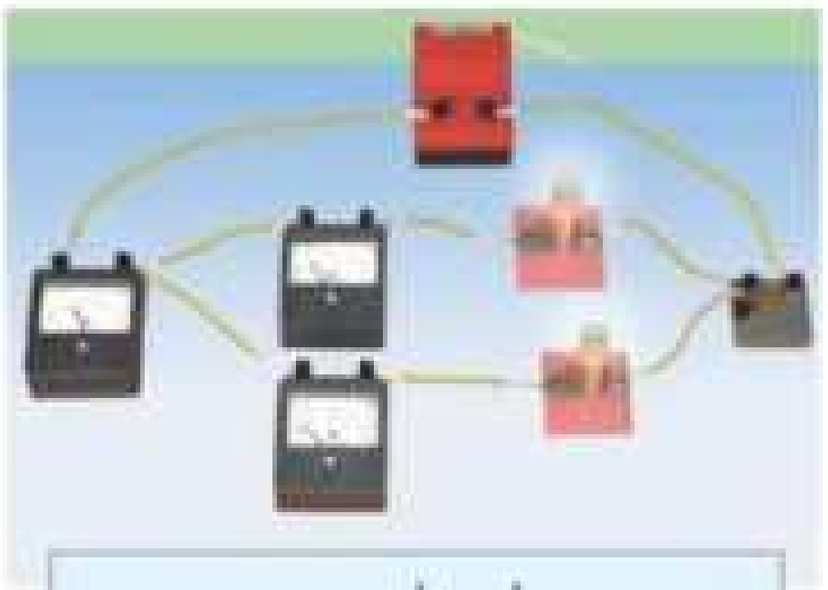
Підготовка до експерименту

1. Перш ніж виконувати роботу, переконайтеся, що ви знаєте вимоги безпеки під час роботи з електричними колами.
2. Накресліть схему електричного кола, яке складається з двох паралельно з'єднаних ламп, що через ключ з'єднані з джерелом струму.
3. Складіть і запишіть план проведення експерименту. Якщо вагаєтеся, скористайтеся наведеним планом.

Експеримент

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

1. Складіть електричне коло за накресленою вами схемою.
2. Під'єднавши амперметр до відповідної ділянки кола (див. рисунок), вимірюйте силу струму I, який проходить у нерозгалуженій частині кола, потім силу струму I_1, який тече в лампі 1, і силу струму I_2, який тече в лампі 2.
3. Вимірюйте напругу U на лампах.
4. Накресліть схеми відповідних електричних кіл.



Опрацювання результатів експерименту

Використавши результати вимірювань, обчисліть опір R_1 нитки розжарення лампи 1; опір R_2 нитки розжарення лампи 2; опір R ділянки кола, яка містить обидві лампи. Результати обчислень занесіть до таблиці.

I, А	I_1, А	I_2, А	U, В	R_1, Ом	R_2, Ом	R, Ом

Аналіз експерименту та його результатів

Проаналізувавши експеримент і його результати, зробіть висновок, у якому зазначте:

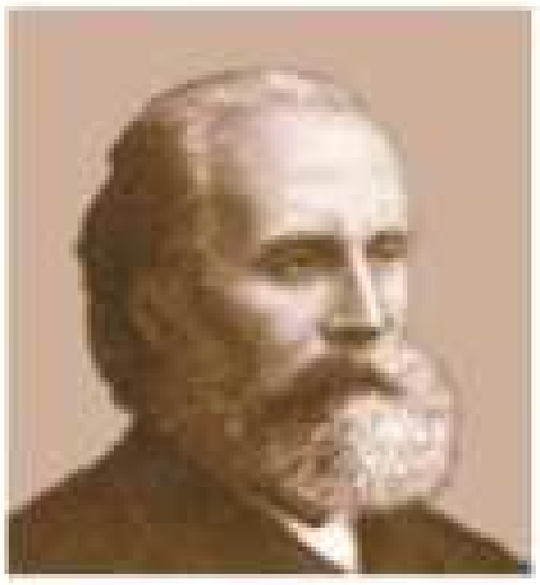
1) які співвідношення для паралельно з'єднаних провідників ви перевіряли та які результати отримали;

2) які чинники могли вплинути на точність отриманих результатів.

Творче завдання

Запишіть план проведення експерименту, за допомогою якого можна визначити опір резистора, якщо наявні амперметр, джерело струму, резистор відомого опору та з'єднувальні проводи. Проведіть відповідний експеримент.

ФІЗИКА І ТЕХНІКА В УКРАЇНІ



Михайло Петрович Авенаріус (1835–1895) протягом 1865–1891 рр. працював у Київському університеті. Учений був організатором і керівником київської школи фізиків-експериментаторів — першої фізичної школи в Україні.

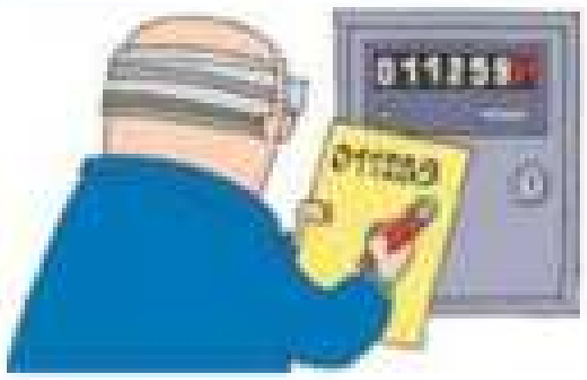
Основні наукові праці М. П. Авенаріуса стосуються термоелектрики та молекулярної фізики. Учений запропонував і обґрунтував одну з основних формул, яка описує явище термоелектрики (*закон Авенаріуса*). У галузі молекулярної фізики М. П. Авенаріус вивчав рідкий і газоподібний стани речовин в умовах змінення температури і тиску. Протягом 1873–1877 рр. М. П. Авенаріус разом зі своїми учнями виміряв критичні температури багатьох речовин, які ввійшли до фізичних довідників того часу. Учений першим указав на те, що в критичній точці питома теплота випаровування дорівнює нулю; запропонував оригінальну систему розподілу змінних струмів; був ініціатором вивчення сонячної радіації та атмосферної електрики.

Удосконалена Авенаріусом система освітлення демонструвалася на Паризькій електротехнічній виставці у 1881 р., де отримала срібну медаль. За це Михайло Петрович був відзначений найвищою нагородою Французької Республіки — орденом Почесного Легіону.

mk.com.ua/110511

§ 41. РОБОТА І ПОТУЖНІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Напевно, багато з вас бачили електролічильник. А як ви гадаєте, яку фізичну величину вимірює цей прилад? Чи доводилося вам знімати покази лічильника? Чи однаковими були ці покази за місяць? Якщо вони змінювалися, то чому?



1. Про що можна дізнатися за допомогою електролічильника?

На рис. 41.1 показано *лічильник електричної енергії* (електролічильник). Запишемо цифри, зафіксовані на датчику приладу (рис. 41.1, *а*), інакше кажучи, *знімемо показ лічильника*. Що означають ці цифри? Очевидно, що це числове значення якоїсь фізичної величини. А якої?

Для початку визначимо одиниці цієї величини. Поряд із цифровим табло написано: кВт·год. Отже, фізична величина, значення якої показує електролічильник, вимірюється в кіловат-годинах. Відомо, що $1\,\text{кВт} = 1000\,\text{Вт}$ і $1\,\text{год} = 3600\,\text{с}$, а $1\,\text{Вт} = 1\,\frac{\text{Дж}}{\text{с}}$. Таким чином,

$$1\,\text{кВт}\cdot\text{год} = 1000\,\frac{\text{Дж}}{\text{с}}\cdot 3600\,\text{с} = 3\,600\,000\,\text{Дж},$$

або $1\,\text{кВт}\cdot\text{год} = 3{,}6\cdot 10^6\,\text{Дж}$. Одна із фізичних величин, що вимірюються в джоулях, — це робота. Отже, можна припустити, що електролічильником вимірюють *роботу струму*. Приєднаємо до кола електролічильника електрообігрівач. За деякий час знову знімемо показ лічильника (рис. 41.1, *б*). Бачимо, що він збільшився. Електричний струм, проходячи спіраллю електрообігрівача, виконав роботу, яку зафіксував електролічильник.

Рис. 41.1. Зняття показів лічильника: *а* — початкові дані (382 кВт·год); *б* — дані лічильника після деякого часу роботи електрообігрівача (385 кВт·год). Кількість використаної за цей час електроенергії: 385 − 382 = 3 (кВт·год)

Електролічильник — це прилад для прямого вимірювання роботи струму.

Звернемося знову до рис. 41.1. На лічильнику є значення ще двох фізичних величин: 220 В і 15 А. Перша показує, в коло *з якою напругою* необхідно вмикати цей лічильник, друга — *максимально допустиму силу струму* в лічильнику.

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...

Установлену вартість одиниці роботи струму називають тарифом на електроенергію. Наприклад, тариф на електроенергію на кінець 2024 р. для населення в Україні становив 4320 грн за 1 МВт · год; у Німеччині наблизився до 115 євро за 1 МВт · год, у Франції — 75 євро за 1 МВт · год, а в Італії — близько 137 євро за 1 МВт · год.

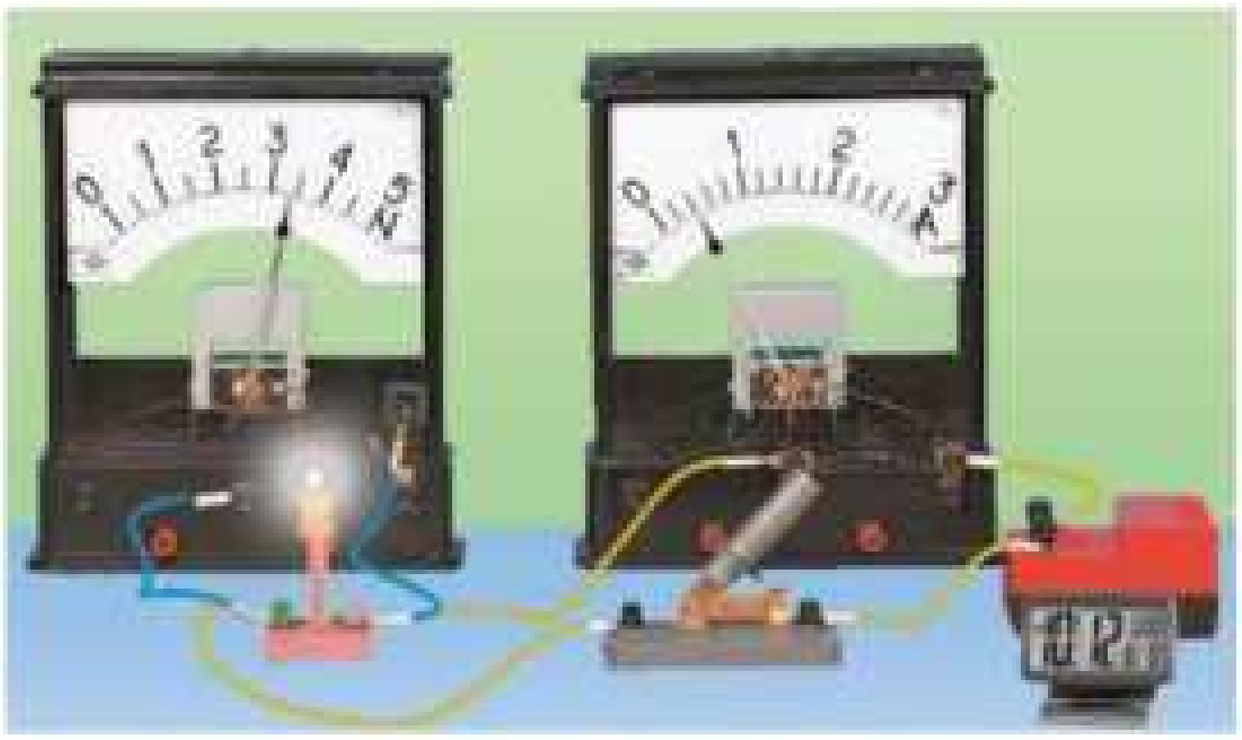
2. Як визначити роботу струму?

З'ясуймо, чи можна роботу струму виміряти в інший спосіб, не використовуючи електролічильник.

Електрична напруга U на кінцях ділянки електричного кола визначається за формулою $U = \frac{A}{q}$. Отже, робота A електричного струму з переміщення електричного заряду q становить $A = Uq$. Подавши заряд q через силу струму I та час t його проходження: $q = It$, — отримаємо *формулу для розрахунку роботи електричного струму на даній ділянці кола*:

$$A = UIt$$

Таким чином, щоб визначити роботу, яку виконує струм у певному споживачі (на певній ділянці електричного кола), достатньо виміряти силу струму в споживачі, напругу, яку подано на споживач, і час проходження струму (рис. 41.2). Ви вже знаєте, що такі вимірювання називають *непрямими*.



Скориставшись рис. 41.2, виміряйте роботу електричного струму в лампі за 30 с.

Рис. 41.2. Для непрямого вимірювання роботи струму можна скористатися добре відомими вам вимірювальними приладами: амперметром, вольтметром і годинником

Зверніть увагу: із формули для розрахунку роботи електричного струму випливає, що $1\,Дж = 1\,В \cdot А \cdot с$, — це співвідношення стане вам у пригоді для перевірки одиниць під час розв'язування задач.

3. Як обчислити потужність струму?

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

$$P = \frac{A}{t},$$

де P — потужність електричного струму; A — робота струму за час t.

Оскільки $A = UIt$, то

$$P = UI$$

Одиниця потужності в СІ — **ват**: $1\,Вт = 1\,\frac{Дж}{с}$.

Із формули для розрахунку потужності струму випливає: $1\,Вт = 1\,В \cdot А$;

1 Вт — *це потужність струму силою* 1 А *на ділянці кола з напругою* 1 В.

Ват — порівняно невелика одиниця потужності. На практиці частіше використовують кратні одиниці потужності: *кіловат* ($1\,кВт = 10^3\,Вт$), *мегават* ($1\,МВт = 10^6\,Вт$), *гігават* ($1\,ГВт = 10^9\,Вт$).

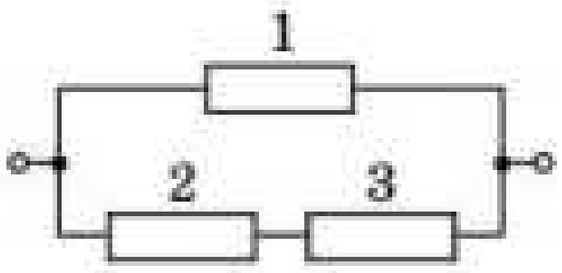
Звернувшись до формули розрахунку потужності струму ($P = UI$), побачимо, що потужність струму можна визначити, скориставшись амперметром і вольтметром (знявши покази приладів, перемножити значення напруги та сили струму). Існують також прилади для *прямого вимірювання* потужності електричного струму — *ватметри*.

Зверніть увагу!

- Вимірюючи потужність струму в споживачі, ми визначаємо **фактичну потужність струму**.
- Потужність, яку зазначено в паспорті пристрою (або на пристрої), називають **номінальною потужністю струму**.
- Значення фактичної та номінальної потужностей можуть відрізнятися, адже фактична напруга не завжди дорівнює номінальній.
- Якщо коло складається з кількох споживачів, то за будь-якого з'єднання цих споживачів загальна фактична потужність струму в усьому колі дорівнює сумі потужностей струму в окремих споживачах.

4. Учимося розв'язувати задачі

■ Задача 1. Ділянка електричного кола складається з трьох однакових резисторів (див. рисунок). Визначте загальну потужність струму, яку споживають резистори, якщо опір кожного з них дорівнює 5 Ом, а напруга на ділянці становить 10 В. ■



Видавництво «Ранок»

Аналіз фізичної проблеми. Розв'язати задачу можна двома способами:

1) обчислити потужність струму, яку споживає кожний резистор, а потім знайти суму одержаних потужностей;

2) визначити загальну силу струму в ділянці й, знаючи загальну напругу, обчислити загальну потужність струму в усіх резисторах.

Дано:
$R_1 = R_2 = R_3 = 5$ Ом
$U = 10$ В

Знайти:
P — ?

Пошук математичної моделі, розв'язання

Спосіб 1

Ділянка кола, яка містить резистори 2 і 3, з'єднана з резистором 1 паралельно, тому $U_1 = U_{2,3} = U = 10$ В.

За законом Ома $I_1 = \frac{U_1}{R_1} = \frac{10\text{ В}}{5\text{ Ом}} = 2\text{ А}$.

Відповідно до формули для розрахунку потужності:

$$P_1 = U_1 I_1 = 10\text{ В} \cdot 2\text{ А} = 20\text{ Вт}.$$

Оскільки резистори 2 і 3 з'єднані послідовно, то

$$R_{2,3} = R_2 + R_3 = 5\text{ Ом} + 5\text{ Ом} = 10\text{ Ом};\quad I_2 = I_3 = I_{2,3} = \frac{U_{2,3}}{R_{2,3}} = \frac{10\text{ В}}{10\text{ Ом}} = 1\text{ А}.$$

Використавши закон Ома, знайдемо напругу на резисторах 2 і 3 та обчислимо потужності струму, які вони споживають:

$$U_2 = I_2 R_2 = 1\text{ А} \cdot 5\text{ Ом} = 5\text{ В},\quad P_2 = U_2 I_2 = 5\text{ В} \cdot 1\text{ А} = 5\text{ Вт};$$

$$U_3 = I_3 R_3 = 1\text{ А} \cdot 5\text{ Ом} = 5\text{ В},\quad P_3 = U_3 I_3 = 5\text{ В} \cdot 1\text{ А} = 5\text{ Вт}.$$

Таким чином, $P = P_1 + P_2 + P_3 = 20\text{ Вт} + 5\text{ Вт} + 5\text{ Вт} = 30\text{ Вт}$.

Спосіб 2

Спочатку знайдемо загальний опір R ділянки кола.

Резистори 2 і 3 з'єднані послідовно, тому:

$$R_{2,3} = R_2 + R_3 = 5\text{ Ом} + 5\text{ Ом} = 10\text{ Ом}.$$

Ділянка кола, яка містить резистори 2 і 3, з'єднана з резистором 1 паралельно, отже:

$$R = \frac{R_{2,3} \cdot R_1}{R_{2,3} + R_1} = \frac{10\text{ Ом} \cdot 5\text{ Ом}}{15\text{ Ом}} = \frac{10}{3}\text{ Ом}.$$

За законом Ома $I = \frac{U}{R} = 10\text{ В} : \frac{10}{3}\text{ Ом} = 3\text{ А}$. Відповідно до формули для розрахунку потужності: $P = UI = 10\text{ В} \cdot 3\text{ А} = 30\text{ Вт}$.

Аналіз результату. Розв'язуючи задачу різними способами, одержали однакове значення потужності, отже, задачу розв'язано правильно.

Відповідь: $P = 30$ Вт.

ДОСЛІДЖЕННЯ

Що знадобиться: декілька споживачів електроенергії, на яких зазначено номінальну потужність і номінальну напругу.

З'ясуйте потужність цих споживачів. Обчисліть вартість електроенергії, яку споживатиме кожний пристрій, якщо працюватиме 20 хв за напруги в мережі 220 В.

Блендер

Праска

Чайник

■ **Задача 2.** Електровоз рухається рівномірно зі швидкістю 16 $\frac{\text{м}}{\text{с}}$. Двигун розвиває силу тяги 300 кН. Визначте ККД двигуна, якщо напруга в електромережі 3 кВ, сила струму, яку споживає двигун, — 2 кА. ■

Аналіз фізичної проблеми. ККД показує, яку частину роботи, виконуваної струмом, що тече в обмотці електродвигуна, становить корисна робота (механічна робота з переміщення електровоза). ККД знайдемо, використавши формулу для розрахунку механічної роботи і роботи струму.

Дано:

$v = 16\ \frac{\text{м}}{\text{с}}$

$F = 3 \cdot 10^5$ Н

$U = 3 \cdot 10^3$ В

$I = 2 \cdot 10^3$ А

Знайти:

η — ?

Пошук математичної моделі, розв'язання

За означенням ККД $\eta = \frac{A_{\text{кор}}}{A_{\text{повна}}}$.

$A_{\text{кор}} = Fl$ — механічна робота з переміщення електровоза на відстань l.

Електровоз рухається рівномірно, тому $l = vt$.

Таким чином, $A_{\text{кор}} = Fvt$.

Робота струму у двигуні електровоза: $A_{\text{повна}} = UIt$.

Підставивши вирази для $A_{\text{кор}}$ і $A_{\text{повна}}$ у формулу для розрахунку ККД, одержимо:

$$\eta = \frac{Fvt}{UIt} = \frac{Fv}{UI}.$$

Перевіримо одиницю, знайдемо значення шуканої величини:

$$[\eta] = \frac{\text{Н} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}}{\text{В} \cdot \text{А}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{В} \cdot \text{А} \cdot \text{с}} = \frac{\text{Дж}}{\text{Дж}} = 1; \quad \eta = \frac{3 \cdot 10^5 \cdot 16}{3 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 10^3} = 0{,}8.$$

Аналіз результату. ККД дорівнює 80 % — для електричних двигунів результат реальний.

Відповідь: $\eta = 80\ \%$.

Видавництво «Ранок»

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Робота струму A на ділянці кола дорівнює добутку напруги U на кінцях цієї ділянки, сили струму I в ділянці та часу t, протягом якого ділянкою йшов струм.

$$A = UIt$$

- ✓ **Одиниця роботи** струму в СІ — **джоуль** (Дж):

$$1\,\text{Дж} = 1\,\text{В}\cdot\text{А}\cdot\text{с}.$$

- ✓ В електротехніці використовують позасистемну одиницю роботи струму — **кіловат-годину** (кВт · год):

$$1\,\text{кВт}\cdot\text{год} = 3{,}6\cdot 10^6\ \text{Дж}$$

- ✓ Прилад для прямого вимірювання роботи струму — **лічильник електричної енергії**.

Потужність струму — фізична величина, яка характеризує швидкість виконання струмом роботи.

$$P = UI$$

- ✓ **Одиниця потужності** струму в СІ — **ват** (Вт):

$$1\,\text{Вт} = 1\,\frac{\text{Дж}}{\text{с}} = 1\,\text{В}\cdot\text{А}.$$

- ✓ **Номінальна потужність** — потужність струму, на яку розрахований електричний пристрій.
- ✓ **Фактична потужність** —реальна потужність струму, що проходить через пристрій.

Номінальну потужність зазначають у паспорті пристрою (або на пристрої)

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. За якою формулою обчислюють роботу електричного струму? 2. Назвіть відомі вам одиниці роботи електричного струму. 3. Доведіть, що 1 кВт · год = $3{,}6\cdot 10^6$ Дж. 4. Як вимірюють роботу електричного струму? 5. За якою формулою можна обчислити потужність струму? 6. Що називають номінальною потужністю електричного пристрою? 7. Що таке фактична потужність електричного пристрою?

ВПРАВА № 41

1. За показами електролічильника (див. рисунок) визначте витрачену електроенергію та обчисліть її вартість за тарифом 4,32 грн за 1 кВт·год.

2. Згідно з Державним стандартом якості електричної енергії в Україні, зміна номінальної напруги в оселях не повинна перевищувати ±10 % від напруги 220 В. У яких межах має бути напруга у вашій оселі?

3. Доведіть, що 1 В·А·с = 1 Дж.

4. Обчисліть роботу, яку виконає електричний струм за 15 хв роботи електродвигуна дитячої іграшки, якщо напруга на двигуні становить 10 В, а сила струму в обмотці двигуна — 0,8 А.

5. Два провідники опорами 10 і 25 Ом увімкнено до мережі, напруга в якій дорівнює 100 В. Визначте, яку роботу виконає електричний струм у кожному провіднику за 5 хв, якщо провідники з'єднати: а) паралельно; б) послідовно.

6. Визначте силу струму, який проходить через електродвигун підіймального крана, якщо вантаж масою 1 т кран підіймає на висоту 19 м за 50 с. ККД електродвигуна становить 80 %, напруга на клемах — 380 В.

7. Дві електропечі, спіралі яких мають однакові опори, спочатку ввімкнули в мережу послідовно, а потім паралельно. У якому випадку електропечі споживали більшу потужність і в скільки разів?

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

«Сумлінний господар». Протягом тижня спостерігайте за споживанням електроенергії у вашій оселі. Для цього щодня, в той самий час, записуйте показ лічильника електроенергії та обчислюйте, скільки електроенергії було спожито за добу.

За результатами вимірювань та обчислень побудуйте графік споживання електроенергії протягом тижня. Дайте відповіді на такі запитання.

1) У який день тижня витрати електроенергії були найбільшими? Чому?
2) Чи були ввімкнені споживачі електроенергії без потреби?
3) Як можна заощадити витрати електроенергії?
4) Як заощадити кошти, використовуючи двозонний лічильник електроенергії? (Такі лічильники рахують споживання електроенергії вдень і вночі окремо.)

Видавництво «Ранок»

Ключові терміни

Робота струму · Електролічильник · Кіловат-година · Потужність струму · Номінальна потужність · Фактична потужність

ФІЗИКА І ТЕХНІКА В УКРАЇНІ

Інститут термоелектрики НАН України і МОН України (Чернівці), створений у 1990 р., є світовим лідером у галузі вивчення та практичного застосування термоелектрики — одного з найбільш перспективних напрямів сучасної фізики.

На основі розвитку узагальненої теорії термоелектричного перетворення енергії в Інституті створено низку нових термоелементів. Розробки Інституту використовують не тільки в Україні, а й за кордоном. Створено надійні модулі охолодження для європейської космічної системи мікрогравітації та модулі охолодження чутливих сенсорів для систем орієнтації європейських супутників Землі. Розроблено ефективні блоки для побутових холодильників як альтернативу фреоновим компресорним агрегатам.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9

rnk.com.ua/110512

Тема. Вимірювання потужності споживача електроенергії.

Мета: навчитися вимірювати потужність електричного струму, використовуючи амперметр і вольтметр.

Обладнання: джерело струму; вольтметр; амперметр; ключ; лампочка на підставці; реостат; з'єднувальні проводи; два резистори.

Вказівки до роботи

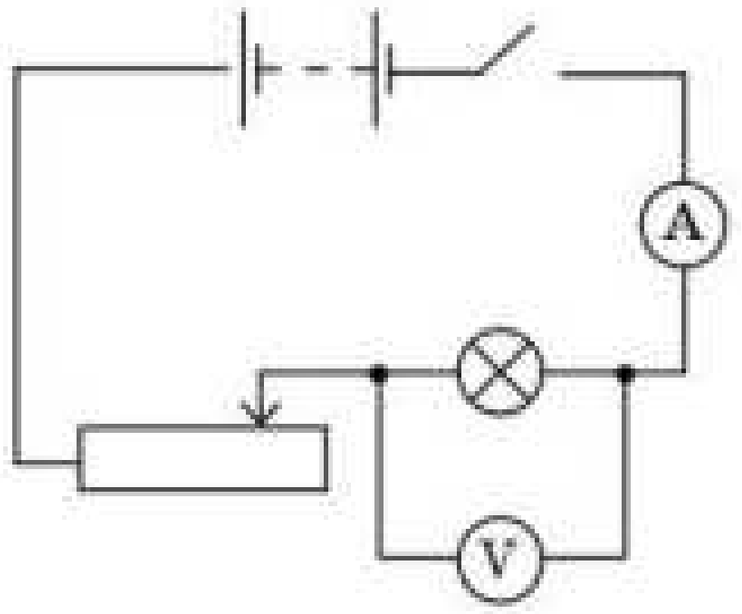
Підготовка до експерименту

1. Перш ніж виконувати роботу, переконайтеся, що ви знаєте вимоги безпеки під час роботи з електричними колами.
2. За даними на цоколі лампи визначте номінальну потужність $P_{ном}$ струму (або номінальну силу струму) та напругу $U_{ном}$, на яку розрахована лампа.
3. Згадайте, як потрібно приєднувати амперметр і вольтметр, щоб виміряти силу струму в лампі та напругу, подану на лампу.

Експеримент

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

1. Складіть електричне коло за схемою, поданою на рисунку.
2. Розташуйте повзунок реостата посередині його обмотки, замкніть коло та виміряйте фактичну силу струму $I_ф$ у колі та фактичну напругу $U_ф$ на лампі.
3. Пересуваючи повзунок реостата, доможіться того, щоб напруга на лампі наблизилася до номінальної. Знову виміряйте напругу $U_ф$ на лампі та силу струму $I_ф$ у колі.
4. Розімкніть коло.



Номер досліду	Напруга, В		Сила струму, А		Потужність струму, Вт	
	$U_{ном}$	$U_ф$	$I_{ном}$	$I_ф$	$P_{ном}$	$P_ф$
1						
2						

Опрацювання результатів експерименту

1. Використавши результати вимірювань, обчисліть фактичну потужність струму в лампі для кожного досліду за формулою: $P_ф = U_ф I_ф$.
2. Обчисліть номінальну силу струму в лампі (або номінальну потужність).
3. Закінчіть заповнення таблиці.

Аналіз експерименту та його результатів

Проаналізувавши експеримент і його результати, зробіть висновок, у якому зазначте: 1) яку фізичну величину ви вимірювали, за допомогою яких приладів; 2) який результат отримали; 3) чи збігаються отримані значення фактичної потужності та номінальної; якщо ні, то поясніть причину розбіжності; 4) які чинники могли вплинути на точність отриманих результатів.

Творче завдання

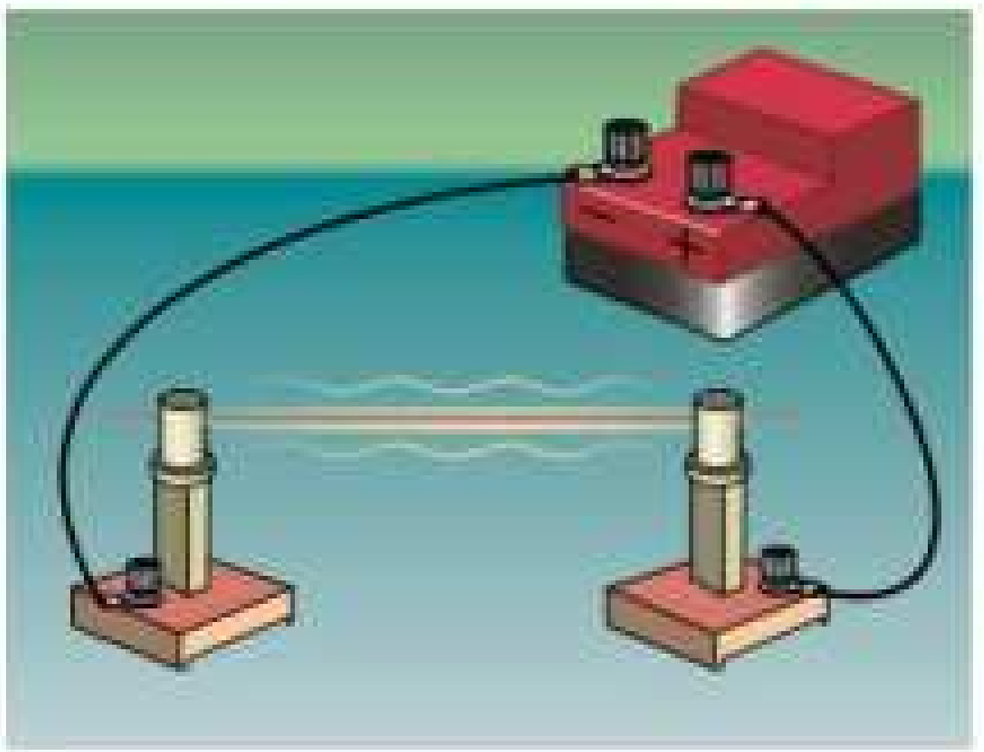
Запишіть план проведення експерименту, за допомогою якого можна довести, що за однакової напруги потужність струму на ділянці кола, що складається з двох паралельно з'єднаних резисторів, є значно більшою, ніж на ділянці кола, що складається з двох резисторів, з'єднаних послідовно. Проведіть експеримент.

Видавництво «Ранок»

mk.com.ua/
110513

§ 42. ТЕПЛОВА ДІЯ СТРУМУ. ЗАКОН ДЖОУЛЯ — ЛЕНЦА. ЗАПОБІЖНИКИ

ПИТАННЯ ДЛЯ ОБГОВОРЕННЯ. Будь-який провідник під час проходження струму нагрівається. Об'єднайтеся в групи та влаштуйте гру: хто наведе більше прикладів використання теплової дії струму (у побуті, промисловості, сільському господарстві тощо). А потім спробуйте разом згадати приклади, коли теплова дія струму є шкідливою. Висуньте гіпотезу, чи можна регулювати теплову дію струму, а якщо можна — то як.



1. Чому струм чинить теплову дію?

Коли в провіднику йде струм, то вільні заряджені частинки, рухаючись під дією електричного поля, зіштовхуються з іншими частинками і передають їм частину своєї енергії. Наприклад, електрони в металах зіштовхуються з йонами, розташованими у вузлах кристалічної ґратки. У результаті середня швидкість хаотичного (теплового) руху частинок речовини збільшується — провідник нагрівається. Це означає, що *кінетична енергія, набута вільними зарядженими частинками в результаті дії електричного поля, частково перетворилася на внутрішню енергію провідника*.

Очевидно: чим частіше зіштовхуються частинки, тобто чим більший опір провідника, тим більше енергії передається провіднику і тим більше він нагрівається. Таким чином, *кількість теплоти, яка виділяється в провіднику під час проходження струму, прямо пропорційна опору провідника*.

Окрім того, *зі збільшенням у провіднику сили струму кількість теплоти, що виділяється, теж збільшується*. Адже що більше частинок проходить через поперечний переріз провідника за одиницю часу, то більше зіткнень частинок відбувається.

2. Дізнаємося про закон Джоуля — Ленца

Теплову дію струму незалежно один від одного вивчали на дослідах *Джеймс Прескотт Джоуль* (1818–1889) та *Емілій Ленц* (1804–1865). Учені дійшли однакового висновку, який згодом отримав назву **закон Джоуля — Ленца:**

> Кількість теплоти, яка виділяється в провіднику внаслідок проходження струму, прямо пропорційна квадрату сили струму, опору провідника й часу проходження струму:

$$Q = I^2Rt$$

На рис. 42.1 зображено схему досліду, який доводить закон Джоуля — Ленца. Спробуйте описати цей дослід самостійно.

Закон Джоуля — Ленца був установлений експериментально. Тепер, знаючи формулу для розрахунку роботи струму ($A = UIt$), цей закон можна вивести за допомогою простих математичних викладень.

Якщо на ділянці кола, в якій тече струм, не виконується механічна робота й не відбуваються хімічні реакції, то результатом роботи електричного струму буде тільки нагрівання провідника. Отже, у цьому випадку згідно із законом збереження енергії кількість виділеної теплоти Q дорівнюватиме роботі A струму: $Q = A$.

Оскільки $A = UIt$, а $U = IR$, то:

$$Q = UIt = IRIt = I^2Rt.$$

Зверніть увагу!

- *Роботу* струму завжди можна визначити за формулою:

$$A = UIt.$$

- Кількість теплоти, яка виділяється в провіднику, завжди можна визначити за формулою:

$$Q = I^2Rt.$$

- Якщо ділянка кола містить тільки споживачі, *в яких уся електрична енергія витрачається лише на нагрівання*, то робота струму дорівнює кількості теплоти. У цьому випадку *й роботу струму, й кількість теплоти* можна визначити за будь-якою з формул:

$$A = UIt = \frac{U^2}{R}t = I^2Rt = Q.$$

- Якщо ж на ділянці кола є споживачі електричної енергії, в яких виконується механічна робота або відбуваються хімічні реакції, то формулами

$$Q = UIt = \frac{U^2}{R}t \text{ і } A = I^2Rt = \frac{U^2}{R}t$$

користуватися не можна.

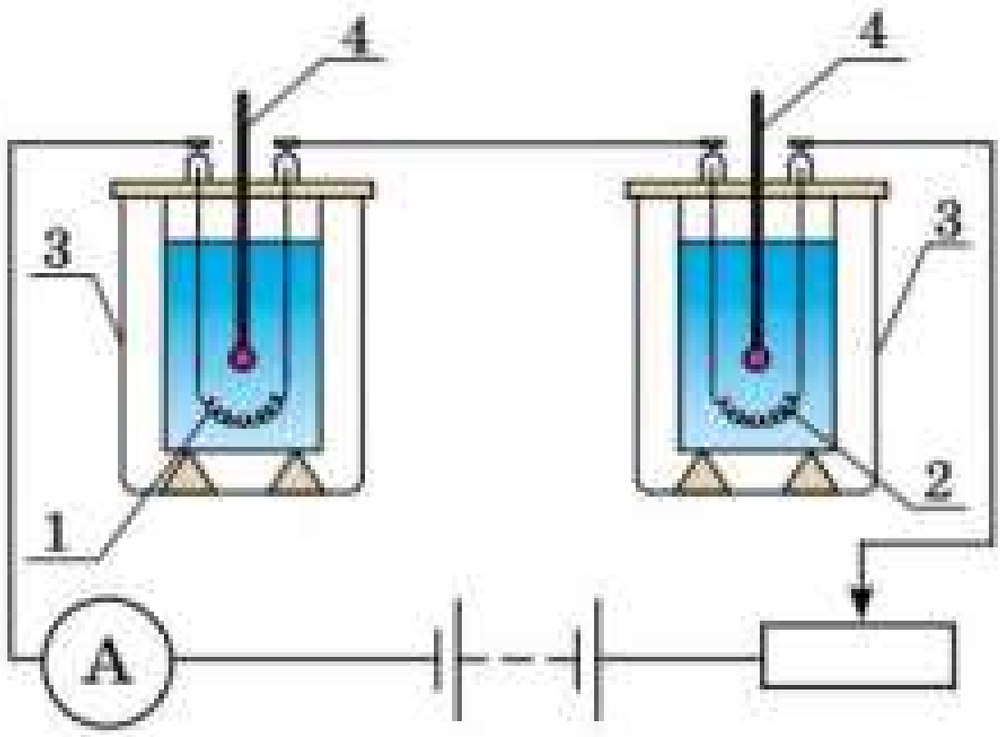


Рис. 42.1. Схема досліду, який доводить закон Джоуля — Ленца: 1, 2 — електричні нагрівники (опір нагрівника 1 більший за опір нагрівника 2); 3 — калориметри з однаковою кількістю води; 4 — термометри

Видавництво «Ранок»

Рис. 42.2. Щоб збільшити тепловіддачу, поверхню обігрівача роблять ребристою, а нагрівальну поверхню електроплити виготовляють із темних металів

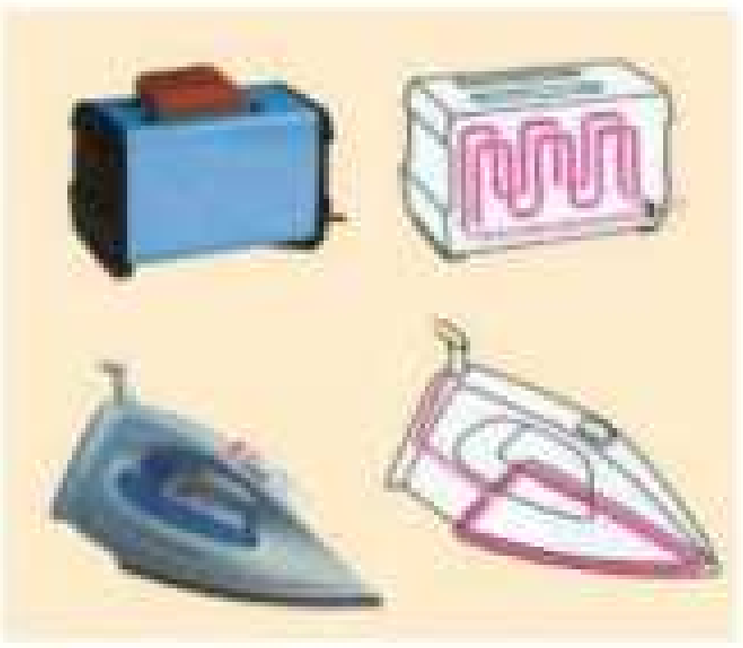


Рис. 42.3. Основна частина будь-якого електричного нагрівального пристрою — нагрівальний елемент

Рис. 42.4. Повертаючи тумблер праски, ми вибираємо певний температурний режим

3. Які спільні риси електронагрівальних пристроїв?

Електричні нагрівальні пристрої широко застосовують у сільському господарстві, промисловості, на транспорті, в побуті.

Незважаючи на зовнішнє різноманіття, усі електронагрівники, використовувані на практиці, мають спільні риси.

По-перше, робота всіх електричних нагрівників *ґрунтується на тепловій дії струму:* у таких пристроях енергія електричного струму перетворюється на внутрішню енергію нагрівника, який, зі свого боку, віддає енергію довкіллю шляхом теплопередачі (рис. 42.2).

По-друге, основною частиною будь-якого електронагрівника є *нагрівальний елемент* — провідник, який нагрівається в разі проходження струму (рис. 42.3). Нагрівальні елементи мають витримувати дуже високу температуру, тому їх *виготовляють із тугоплавких матеріалів, тобто з матеріалів, які мають високу температуру плавлення.* Щоб уникнути ураження струмом, нагрівальний елемент *ізолюють від корпусу нагрівального пристрою.*

За законом Джоуля — Ленца кількість теплоти Q, що виділяється в нагрівальному елементі, обчислюється за формулою $Q = I^2Rt$, отже, змінюючи час нагрівання або силу струму в нагрівальному елементі, можна *регулювати температуру нагрівника* (рис. 42.4).

Підвідні проводи та нагрівальний елемент з'єднані послідовно, тому сила струму в них є однаковою. При цьому підвідні проводи нагріваються набагато менше, ніж нагрівальний елемент. Це означає, що опір підвідних проводів у багато разів менший від опору нагрівального елемента. Зазвичай *нагрівальні елементи виготовляють із речовин з великим питомим опором, а підвідні проводи — із речовин з малим питомим опором.*

Видавництво «Ранок»

ДОСЛІДЖЕННЯ

Що знадобиться: резистор; лампочка на підставці; три з'єднувальні проводи; батарея гальванічних елементів (або інше джерело живлення).

З'єднайте резистор послідовно з лампою та приєднайте до джерела живлення (сила струму в лампі та резисторі буде однакова). Зачекайте 5 секунд і розімкніть коло. Тепер торкніться резистора пальцем. Чи нагрівся резистор так само сильно, як і нитка розжарення лампи? Поясніть результат досліду.

4. Чому інколи сила струму в колі різко збільшується?

Опір підвідних проводів досить малий, проте в разі значного збільшення сили струму вони дуже нагріваються, і це може стати причиною пожежі.

З'ясуймо, з яких причин може різко збільшитися сила струму в електричному колі звичайної квартири. Для цього згадаємо закон Ома: $I = \frac{U}{R}$. Оскільки напруга в мережі є незмінною, збільшення сили струму можливе тільки за умови зменшення загального опору кола. Споживачі струму в квартирі з'єднані паралельно, тому, якщо ввімкнути одразу кілька потужних споживачів, загальний опір кола суттєво зменшиться, відповідно сила струму в колі значно збільшиться.

Згадайте заставку до § 40. Чи не ризикує людина, яка приєднала до подовжувача таку кількість споживачів струму? Який спосіб розв'язання проблеми ви можете запропонувати?

Різко збільшується сила струму в колі й у випадку *короткого замикання* — з'єднання кінців ділянки кола провідником, опір якого дуже малий порівняно з опором даної ділянки. Так, коротке замикання може виникнути в разі порушення ізоляції проводів або під час ремонту елементів електричного кола, які перебувають під напругою (нагадаємо, що це є смертельно небезпечним!).

ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...

Щорічно у світі виникає понад 3 мільйони пожеж. Збитки від них сягають десятки мільярдів доларів, а головне — гинуть люди. Статистичні дані свідчать про те, що майже 80 % пожеж трапляються з вини людини. А друге місце після необережного поводження з вогнем посідає загоряння проводки внаслідок короткого замикання. Поміркуйте над цим!

Видавництво «Ранок»

5. Як працюють запобіжники?

Щоб уникнути пожежі в разі короткого замикання або перевантаження електричного кола, а також не допустити псування споживачів електричної енергії під час небезпечного збільшення сили струму, використовують *запобіжники* — пристрої, які розмикають коло в разі, якщо сила струму в ньому збільшиться понад норму (рис. 42.5, 42.6).

Увага! *Дуже небезпечно застосовувати несправні запобіжники або саморобні запобіжні пристрої. Якщо в разі збільшення сили струму понад норму коло своєчасно не розімкнеться, виникне пожежа.*

Сподіваємося, вам буде нескладно пояснити, як працюють плавкі запобіжники (див. рис. 42.6).

Рис. 42.5. Автоматичні запобіжники. Робоча частина автоматичного запобіжника — біметалева пластина. У разі збільшення сили струму понад норму біметалева пластина вигинається, в результаті чого коло розмикається. Після охолодження запобіжник знову можна повернути в робочий стан

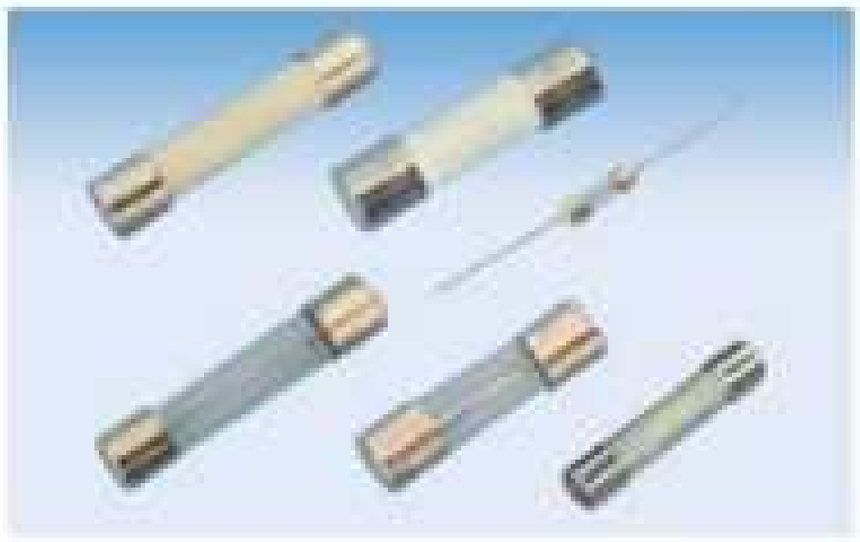


Рис. 42.6. Плавкі запобіжники, які застосовують у радіотехніці. Усередені скляної або керамічної трубочки з металевими наконечниками натягнутий тонкий дріт із легкоплавкого матеріалу

А ЯК НАСПРАВДІ?

— Я щойно полагодив твій програвач! — радісно звернувся Платон до дідуся. — Послухаймо? Де твої платівки?

— Зачекай, звідки ти взяв потрібний запобіжник?

— Та в мене був. Щоправда, він розрахований на більшу силу струму. Але ж програвач працює, дивись! — і Платон натиснув кнопку.

— Негайно вимкни! — кинувся до онука дідусь. — Після такого «ремонту» я взагалі можу залишитися без програвача.

Хто, на вашу думку, має рацію?

Видавництво «Ранок»

6. Учимося розв'язувати задачі

■ Задача 1. Визначте опір нагрівника, за допомогою якого можна за 5 хв довести до кипіння 1,5 кг води, взятої за температури 12 °С. Напруга в мережі дорівнює 220 В, ККД нагрівника — 84 %. ■

Аналіз фізичної проблеми. Коли в нагрівнику проходить електричний струм, виділяється кількість теплоти $Q_{\text{повна}}$. Частина її $(Q_{\text{кор}})$ витрачається на нагрівання води до кипіння, тобто до 100 °С.

Подавши $Q_{\text{повна}}$ і $Q_{\text{кор}}$ через зазначені в умові задачі величини, знайдемо шукану величину. Значення питомої теплоємності c води знайдемо у відповідній таблиці (див. табл. 1 Додатка 1).

Дано:

$\tau = 5\ \text{хв} = 300\ \text{с}$

$m = 1{,}5\ \text{кг}$

$t_1 = 12\ ^\circ\text{C}$

$t_2 = 100\ ^\circ\text{C}$

$U = 220\ \text{В}$

$\eta = 84\ \% = 0{,}84$

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

Знайти:

R — ?

Пошук математичної моделі, розв'язання

За означенням ККД нагрівника маємо: $\eta = \dfrac{Q_{\text{кор}}}{Q_{\text{повна}}}$.

Тут $Q_{\text{кор}} = cm(t_2 - t_1)$; $Q_{\text{повна}} = \dfrac{U^2 \cdot \tau}{R}$.

Підставимо вирази для $Q_{\text{кор}}$ і $Q_{\text{повна}}$ у формулу ККД:

$$\eta = \frac{cm(t_2 - t_1)}{\frac{U^2 \cdot \tau}{R}}, \text{ або } \eta = \frac{cm(t_2 - t_1) \cdot R}{U^2 \cdot \tau}.$$

З останнього виразу знайдемо R:

$$\eta U^2 \cdot \tau = cm(t_2 - t_1) \cdot R \ \Rightarrow \ R = \frac{\eta U^2 \cdot \tau}{cm(t_2 - t_1)}.$$

Перевіримо одиницю, визначимо значення шуканої величини:

$$[R] = \frac{\text{В}^2 \cdot \text{с}}{\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot \text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} = \frac{\text{В}^2 \cdot \text{с}}{\text{Дж}} = \frac{\text{В}^2 \cdot \text{с}}{\text{В} \cdot \text{А} \cdot \text{с}} = \frac{\text{В}}{\text{А}} = \text{Ом};$$

$$R = \frac{0{,}84 \cdot 220^2 \cdot 300}{4200 \cdot 1{,}5 \cdot (100 - 12)} = \frac{84 \cdot 220 \cdot 220 \cdot 3}{420 \cdot 15 \cdot 88} = 22\ \text{(Ом)}.$$

Відповідь: $R = 22$ Ом.

■ Задача 2. Автоматичний запобіжник у квартирному електролічильнику розрахований на силу струму 10 А. Чи спрацює запобіжник, якщо одночасно ввімкнути лампу споживною потужністю 200 Вт, пральну машину потужністю 800 Вт, електричний чайник потужністю 1400 Вт? Напруга в мережі 220 В. ■

Аналіз фізичної проблеми. Для розв'язання задачі необхідно визначити загальну потужність $P_{\text{заг}}$ увімкнених споживачів. Якщо $P_{\text{заг}}$ споживачів менша від максимально можливої потужності струму P_{max}, на яку розрахований запобіжник, то запобіжник не спрацює, якщо більша — він розімкне коло.

Видавництво «Ранок»

Дано:

$I_{max} = 10$ А

$P_1 = 200$ Вт

$P_2 = 800$ Вт

$P_3 = 1400$ Вт

$U = 220$ В

Знайти:

P_{max} — ?

$P_{заг}$ — ?

Пошук математичної моделі, розв'язання

За будь-якого з'єднання споживачів їхня загальна потужність дорівнює сумі потужностей окремих споживачів:

$$P_{заг} = P_1 + P_2 + P_3.$$

Відповідно до формули для розрахунку потужності:

$$P_{max} = UI_{max}.$$

Перевіримо одиницю, знайдемо значення шуканих величин:

$$[P] = \text{В} \cdot \text{А} = \text{Вт};\ P_{max} = 220 \cdot 10 = 2200\ (\text{Вт});$$

$$P_{заг} = 200 + 800 + 1400 = 2400\,(\text{Вт}).$$

Аналіз результату. Порівнявши загальну потужність увімкнених споживачів ($P_{заг} = 2400$ Вт) і потужність, на яку розрахований запобіжник ($P_{max} = 2200$ Вт), бачимо, що навантаження в колі перевищило максимально можливе значення. Отже, запобіжник спрацює, коло розімкнеться.

Відповідь: запобіжник розімкне коло.

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Закон Джоуля — Ленца

Кількість теплоти, яка виділяється в провіднику внаслідок проходження струму, прямо пропорційна квадрату сили струму, опору провідника й часу проходження струму.

$$Q = I^2Rt$$

Дж. Джоуль

Е. Ленц

- Якщо ділянка кола містить тільки споживачі, в яких уся електрична енергія витрачається лише на нагрівання, то й роботу струму, й кількість теплоти можна визначити за будь-якою з формул:

$$A = UIt = \frac{U^2}{R}t = I^2Rt = Q$$

- Якщо ділянка кола містить двигун, то робота струму витрачається як на нагрівання обмотки двигуна, так і на виконання механічної роботи:

$$A = A_{мех} + Q$$

$$A = UIt \qquad Q = I^2Rt$$

Щоб запобігти пожежам унаслідок короткого замикання, використовують запобіжники — пристрої, які розмикають коло у випадку надмірного збільшення сили струму.

КОНТРОЛЬНІ ЗАПИТАННЯ

1. Чому нагріваються провідники, в яких тече електричний струм? 2. Сформулюйте закон Джоуля — Ленца. 3. Які формули для розрахунку кількості теплоти, що виділяється в провіднику внаслідок проходження струму, ви знаєте? Чи завжди можна ними користуватися? 4. Які перетворення енергії відбуваються всередині електронагрівника в разі його ввімкнення в електричне коло? 5. Які властивості повинен мати метал, із якого виготовляють нагрівальний елемент? 6. Чому нагрівальний елемент має бути ізольований від корпусу нагрівального приладу? 7. Що може стати причиною надмірного збільшення сили струму в електричному колі? До чого це може призвести? 8. З якою метою застосовують запобіжники? 9. Поясніть принцип дії автоматичного запобіжника.

ВПРАВА № 42

1. Скільки теплоти виділиться за 10 хв в електропечі, якщо опір нагрівального елемента печі становить 30 Ом, а сила струму в ньому дорівнює 4 А?

2. Два провідники опорами 10 і 20 Ом увімкнуті в мережу, що має напругу 100 В. Яка кількість теплоти виділиться за 5 с у кожному провіднику, якщо вони з'єднані паралельно?

3. Якою є максимально допустима потужність струму в пристрої, якщо його плавкий запобіжник розрахований на максимальний струм 6 А за напруги 220 В?

4. Чому для запобігання займанню електропроводки особливу увагу слід приділяти якісному з'єднанню дротів один з одним та з приладами, які ввімкнено в мережу?

5. Електрокип'ятильник, в обмотці якого тече струм силою 2 А, за 5 хв нагріває 0,2 кг води від 14 °С до кипіння. Визначте напругу, подану на електрокип'ятильник. Втратами енергії знехтуйте.

6. Для приєднання зварювального апарата, який споживає струм силою 100 А, недосвідчений робітник вирішив скористатися освітлювальним шнуром. Чому ви, знаючи фізику, ніколи цього не зробите?

7. Якої довжини ніхромовий дріт треба взяти, щоб виготовити електричний камін, який працюватиме за напруги 120 В і виділятиме 1 МДж теплоти за годину? Діаметр дроту 0,5 мм.

8. Праска — один із найпоширеніших нагрівальних пристроїв, здавна використовуваних людиною. Дізнайтеся про історію створення праски та підготуйте коротке повідомлення.

Видавництво «Ранок»

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

За паспортами й інструкціями до різних споживачів струму у вашій оселі з'ясуйте їхню потужність. Дізнайтеся, на яку силу струму розраховані запобіжники, що встановлені в електролічильнику. Визначте, скільки споживачів і які саме можна одночасно ввімкнути в одне відгалуження проводки.

Ключові терміни

Теплова дія струму • Закон Джоуля — Ленца • Нагрівальний елемент • Коротке замикання • Запобіжники

ФІЗИКА І ТЕХНІКА В УКРАЇНІ

Історія **Львівського національного університету ім. Івана Франка** починається в XVII ст.: у 1661 р. польський король підписав диплом, що надавав єзуїтській колегії у Львові «гідність академії і титул університету». У 1773 р. орден єзуїтів було заборонено, а університет закрито. У 1784 р. імператор Йосиф II відновив роботу університету з латинською мовою викладання.

За століття, що минули з того часу, університет став одним із найпрестіжніших освітніх закладів України, здобув високий міжнародний авторитет, став потужним науковим осередком. Основу наукового потенціалу університету складають відомі в Україні та світі наукові школи: фізика твердого тіла, теоретична фізика, фізико-хімія полімерів, кристалохімія, біоенергетика й електрофізіологія секреторних клітин, мінералогічна школа академіка *Є. К. Лазаренка*.

Видавництво «Ранок»

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 10

rnk.com.ua/110514

Тема. Визначення коефіцієнта корисної дії (ККД) електричного нагрівника.

Мета: спостерігати теплову дію електричного струму; навчитися вимірювати ККД електричного нагрівника.

Обладнання: вольтметр; амперметр; термометр; мірний циліндр; годинник; джерело струму; ключ; ніхромова спіраль, забезпечена контактами (нагрівник); калориметр; мішалка; склянка з водою кімнатної температури; паперові серветки.

Вказівки до роботи

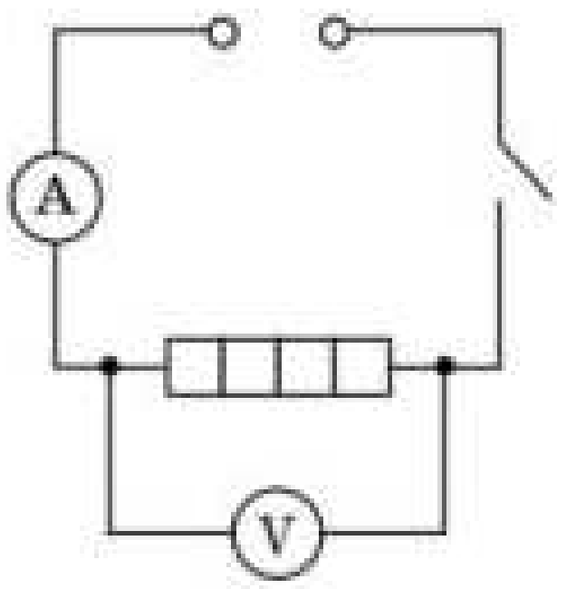
Підготовка до експерименту

1. Перш ніж виконувати роботу, переконайтеся, що ви знаєте вимоги безпеки під час роботи з електричними колами.
2. Запишіть формули для визначення:
   1) кількості теплоти, що виділяється в нагрівнику внаслідок проходження струму;
   2) кількості теплоти, що необхідна для нагрівання речовини;
   3) ККД нагрівника.
3. Визначте ціну поділки шкал вимірювальних приладів.
4. Згадайте, як потрібно приєднати амперметр і вольтметр, щоб виміряти силу струму в спіралі нагрівника та напругу, подану на спіраль.
5. Запишіть в таблицю значення питомої теплоємності води ($c_{води}$).

Експеримент

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

1. Скориставшись мірним циліндром, налийте в калориметр 120–150 мл води. Визначте масу m води та виміряйте її початкову температуру t_0.
2. Складіть електричне коло за схемою, поданою на рисунку.
3. Обережно опустить спіраль нагрівника в калориметр так, щоб вода не потрапила на клеми.
4. Замкніть електричне коло, зафіксуйте покази годинника та виміряйте силу струму I в колі та напругу U на спіралі нагрівника.



Видавництво «Ранок»

5. За $\tau = 10$ хв розімкніть коло, обережно перемішайте воду мішалкою та виміряйте кінцеву температуру t води.
6. Дістаньте термометр і спіраль із води, обережно протріть серветкою; термометр покладіть у футляр.

Вода					Нагрівник				ККД
$c_{води}$, $\frac{Дж}{кг \cdot °C}$	m, кг	t_0, °C	t, °C	$Q_{кор}$, Дж	U, В	I, А	τ, с	$Q_{пов}$, Дж	η, %

Опрацювання результатів експерименту

1. Використавши результати вимірювань, обчисліть:
   1) кількість теплоти, отриману водою: $Q_{кор} = c_{води} m(t - t_0)$;
   2) кількість теплоти, що виділилася в нагрівнику внаслідок проходження струму: $Q_{повна} = UI\tau$;
   3) коефіцієнт корисної дії нагрівника: $\eta = \frac{Q_{кор}}{Q_{повна}} \cdot 100\ \%$.
2. Закінчіть заповнення таблиці.

Аналіз експерименту та його результатів

Проаналізувавши експеримент і його результати, зробіть висновок, у якому зазначте: 1) яку фізичну величину ви вимірювали, за допомогою яких приладів; 2) який результат отримали; 3) чому ККД нагрівника набагато менший від 100 %; 4) які чинники могли вплинути на точність отриманих результатів.

Творче завдання

Запишіть план проведення експерименту щодо визначення ККД електричного чайника. Які прилади вам знадобляться, якщо фактична потужність чайника збігається з номінальною? За можливості проведіть експеримент.

Видавництво «Ранок»

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ РОЗДІЛУ 3

1. Ви ознайомилися з фізичними величинами, зокрема з *електричним зарядом*.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ЗАРЯД —
фізична величина, яка характеризує властивість частинок і тіл вступати в електромагнітну взаємодію

Позитивний	Негативний
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

2. Ви з'ясували, що таке *електризація* та як *наелектризувати тіло*.

ЕЛЕКТРИЗАЦІЯ —
процес набуття заряду макроскопічними тілами

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

3. Ви дізналися, що *заряджений об'єкт є джерелом електричного поля*.

ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ —
вид матерії, що існує навколо заряджених частинок і тіл та діє з певною силою на інші частинки й тіла, які мають електричний заряд

4. Ви вивчили *основні закони електростатики*.

ОСНОВНІ ЗАКОНИ ЕЛЕКТРОСТАТИКИ

Закон Кулона: $F = k\dfrac{\lvert q_1\rvert \cdot \lvert q_2\rvert}{r^2}$, — якщо заряди нерухомі точкові	*Закон збереження електричного заряду:* $q_1 + q_2 + \ldots + q_n = \text{const}$, — якщо система зарядів замкнена

5. Ви довідалися про *електричний струм* і *умови його існування*.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ —
напрямлений рух частинок, які мають електричний заряд

Видавництво «Ранок»

УМОВИ ІСНУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ

Наявність вільних заряджених частинок

У металах — вільні електрони, які наявні завжди

Наявність електричного поля

Створюється джерелами струму, всередині яких відбувається перетворення різних видів енергії на енергію електричного поля

ДЖЕРЕЛА СТРУМУ: хімічні, фізичні

6. Ви вивчили *фізичні величини, які характеризують проходження струму в ділянці кола*, і простежили *зв'язок між ними*.

Фізична величина	Символ для позначення	Одиниця в СІ	Формула для визначення	Прилад для вимірювання
Сила струму	I	А (ампер)	$I=\frac{q}{t}$	Амперметр
Напруга	U	В (вольт)	$U=\frac{A}{q}$	Вольтметр
Опір	R	Ом (ом)	$R=\frac{\rho l}{S}$	Омметр

ЗАКОН ОМА ДЛЯ ДІЛЯНКИ КОЛА: $I=\frac{U}{R}$

7. Ви ознайомилися з різними *видами з'єднання провідників*.

Фізична величина	Вид з'єднання провідників	
	Послідовне	Паралельне
Сила струму	$I=I_1=I_2=\ldots=I_n$	$I=I_1+I_2+\ldots+I_n$
Напруга	$U=U_1+U_2+\ldots+U_n$	$U=U_1=U_2=\ldots=U_n$
Опір	$R=R_1+R_2+\ldots+R_n$	$\frac{1}{R}=\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}+\ldots+\frac{1}{R_n}$

8. Ви спостерігали дію електричного струму та дізналися, *як визначити роботу і потужність струму; кількість теплоти*.

Робота струму: $A=UIt$

Потужність струму: $P=UI$

Кількість теплоти, яка виділяється за час проходження струму (*закон Джоуля — Ленца*): $Q=I^2Rt$

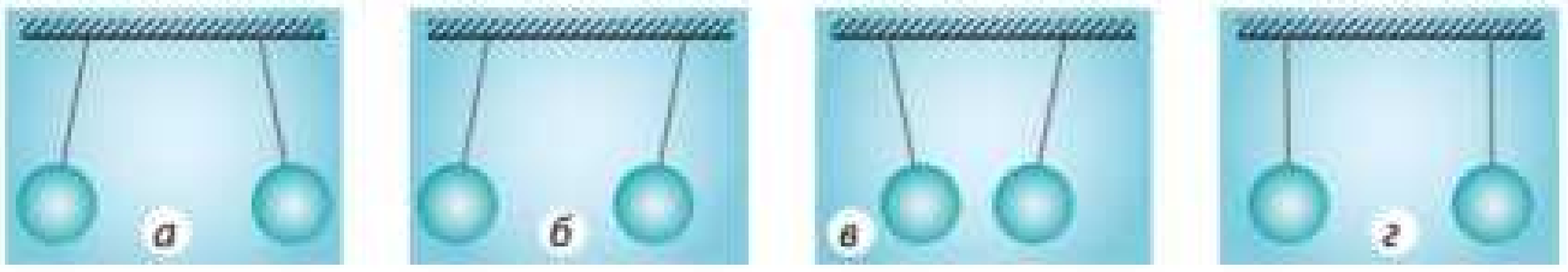
ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ ДО РОЗДІЛУ 3

mk.com.ua/110515

Електричний заряд. Електричне поле. Електричний струм

Група результатів 1. Проводимо дослідження природи

1. *(2 бали)* На рисунку зображено чотири пари кульок, підвішених на шовкових нитках. На якому рисунку зображено кульки, заряджені однойменними зарядами?

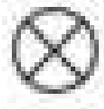
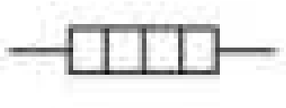
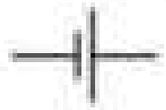


2. *(2 бали)* Установіть відповідність між приладом (1–4) і фізичною величиною (А–Д), яку вимірюють цим приладом.

1	Амперметр	А	Напруженість
2	Вольтметр	Б	Сила струму
3	Омметр	В	Опір
4	Динамометр	Г	Сила
		Д	Напруга

3. *(2 бали)* Установіть відповідність між елементом електричного кола (1–4) та його позначенням на схемі (А–Д).

1 Нагрівальний елемент 2 Лампа 3 Ключ 4 Гальванічний елемент

А 
Б
В 
Г 
Д

4. *(2 бали)* Яке твердження є хибним?
   а) Під час вимірювання напруги на джерелі живлення «+» вольтметра приєднують до «−» джерела, а «−» вольтметра — до «+» джерела.
   б) Амперметр вмикають у коло послідовно зі споживачем.
   в) Щоб зарядити скляну паличку позитивним зарядом, її треба потерти об шовк.
   г) Реостат — це пристрій, призначений для регулювання сили струму в колі.

5. *(2 бали)* Які прилади й пристрої знадобляться для того, щоб експериментально перевірити закон Ома для ділянки кола?
   а) реостат, лампа розжарення, ключ, амперметр, з'єднувальні проводи;
   б) реостат, ключ, амперметр, вольтметр, з'єднувальні проводи;
   в) лампа розжарення, ключ, амперметр, вольтметр, джерело живлення;
   г) реостат, ключ, амперметр, вольтметр, з'єднувальні проводи, джерело живлення.

Видавництво «Ранок»

6. *(2 бали)* За рис. 1 установіть відповідність між фізичною величиною (1–3) та її числовим значенням (А–Г) в одиницях СІ.

1 Сила струму в резисторі	А 2,8
2 Напруга на резисторі	Б 1,2
3 Опір резистора	В 1,4
	Г 0,5

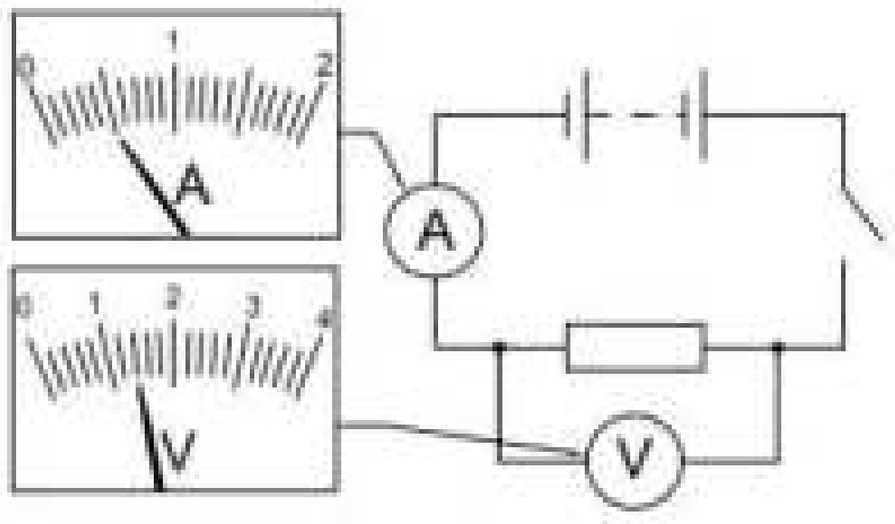


Рис. 1

Група результатів 2. Здійснюємо пошук та опрацьовуємо інформацію

7. *(1 бал)* На рис. 2 зображено силові лінії електричного поля, створеного двома зарядженими кульками. Яке твердження є правильним?
а) Обидві кульки мають позитивний заряд.
б) Обидві кульки мають негативний заряд.
в) Кулька 1 заряджена негативно, кулька 2 — позитивно.
г) Заряд кульки 1 більший за заряд кульки 2.

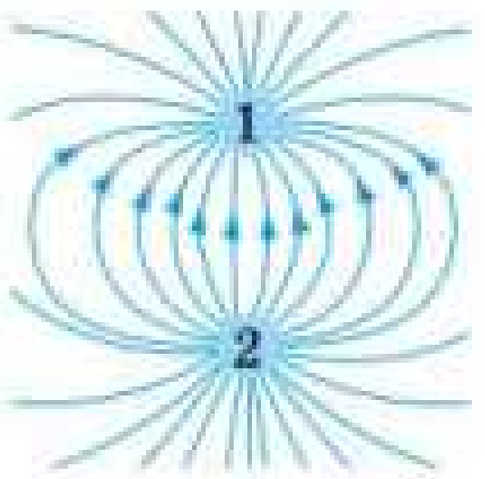


Рис. 2

8. *(2 бали)* На цоколі електричної лампи зазначено: «4,4 В; 0,22 А». Яким є опір нитки розжарення лампи під час світіння?
а) 0,05 Ом;
б) 0,968 Ом;
в) 4,18 Ом;
г) 20 Ом.

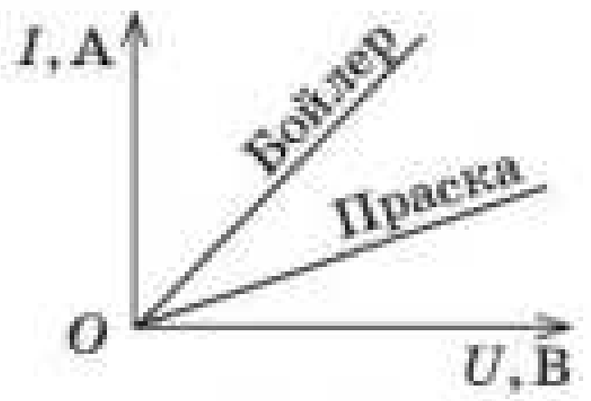


Рис. 3

9. *(2 бали)* На рис. 3 наведено вольт-амперні характеристики двох пристроїв. Нагрівний елемент бойлера має більший опір.
а) так; б) ні.

10. *(2 бали)* На рис. 4 подано вольт-амперну характеристики двох провідників. Визначте суму опорів цих провідників.
а) 0,35 Ом;
б) 4 Ом;
в) 12,25 Ом;
г) 16 Ом.

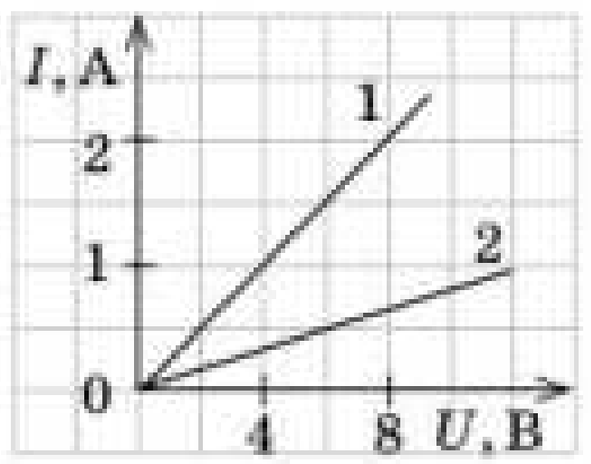


Рис. 4

11. На рис. 5 зображено схему електричного кола. *(1 бал)* Цифрою 6 на схемі позначено:
а) реостат;
б) ключ;
в) вольтметр;
г) амперметр.

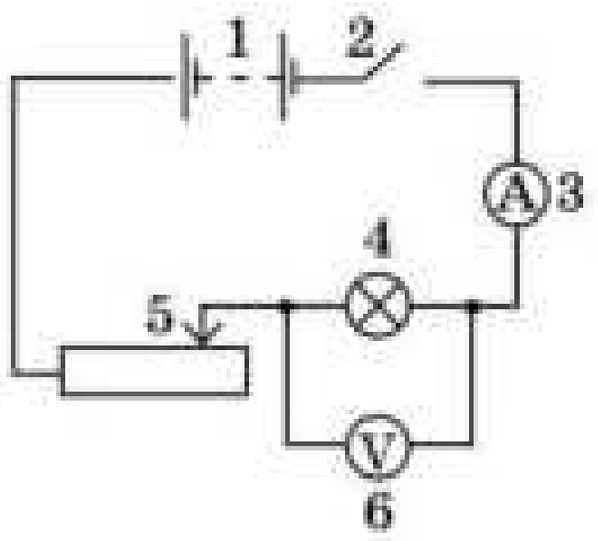


Рис. 5

Видавництво «Ранок»

(*2 бали*) Як і чому змінилась яскравість світіння лампочки після того, як повзунок реостата пересунули праворуч?

а) зменшилась, оскільки зменшився опір реостата і, як наслідок, зменшилася сила струму в колі;

б) зменшилась, оскільки збільшився опір реостата і, як наслідок, зменшилася сила струму в колі;

в) збільшилась, оскільки зменшився опір реостата і, як наслідок, збільшилася сила струму в колі;

г) збільшилась, оскільки збільшився опір реостата і, як наслідок, зменшилася сила струму в колі.

12. *(2 бали)* Прочитайте текст і виберіть усі правильні твердження.

Якщо смужки соломи помістити в електричне поле, то вони поляризуються. Потім (якщо тертя низьке) вони розташуються вздовж ліній напруженості електричного поля (рис. 6). *Таким чином, ми отримуємо зображення силових ліній поля.*

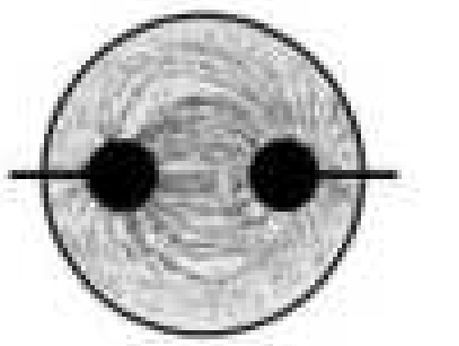


Рис. 6

а) В електричному полі смужки соломи поляризуються.

б) Смужки соломи орієнтуються в електричному полі.

в) Смужки соломи орієнтуються незалежно від значення сили тертя.

Група результатів 3. Усвідомлюємо закономірності природи

13. *(1 бал)* Напруженість електричного поля — це фізична величина, яка є:

а) характеристикою електричних властивостей діелектрика;

б) характеристикою електричних властивостей провідника;

в) енергетичною характеристикою електричного поля;

г) силовою характеристикою електричного поля.

14. *(2 бали)* Яким є опір ніхромового дроту завдовжки 20 см і площею поперечного перерізу 2 мм^2?

а) 0,11 Ом; б) 11 Ом; в) 22 Ом; г) 44 Ом.

15. *(2 бали)* Установіть відповідність між дією із дротом (1–3) і зміною його опору (А–Г).

1	Дріт зігнули навпіл і скрутили	А	Опір дроту зменшився у 2 рази
2	Дріт приєднали до джерела струму	Б	Опір дроту зменшився в 4 рази
3	Дріт замінили дротом із удвічі меншою площею поперечного перерізу	В	Опір дроту не змінився
		Г	Опір дроту збільшився у 2 рази

16. *(2 бали)* За допомогою ебонітової палички, наелектризованої тертям об вовну, незарядженому електроскопу передали позитивний заряд (рис. 7).

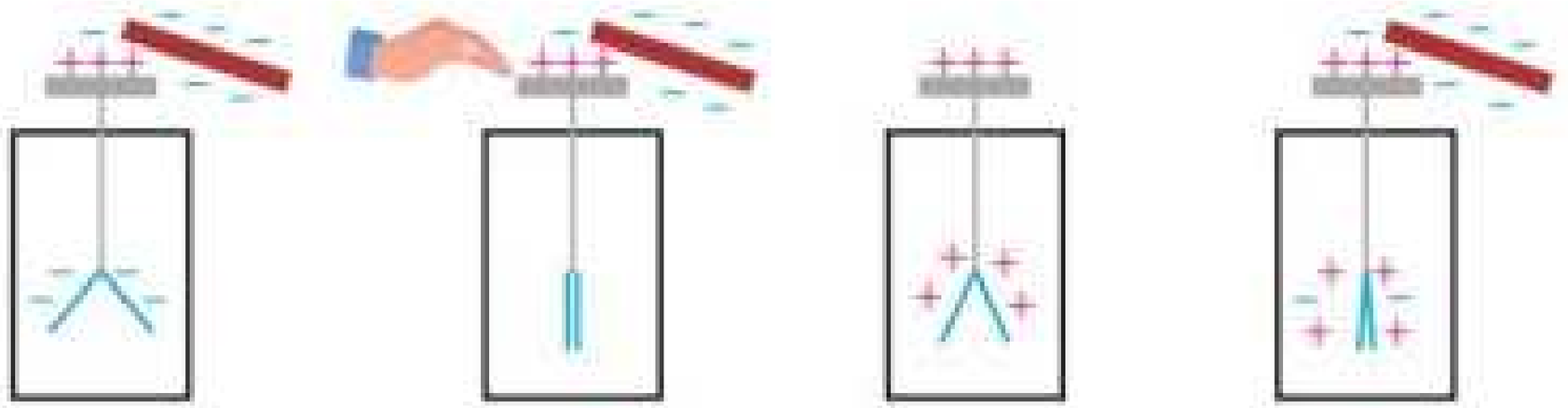


Рис. 7 1 2 3 4

Які факти з фізики демонструє цей дослід? Виберіть усі правильні твердження.

а) Однойменні заряди притягуються.

б) Під дією електричного поля в провіднику відбувається перерозподіл електричних зарядів.

в) Навколо ебонітової палички існує електричне поле.

г) Рука є діелектриком.

17. *(2 бали)* Невелика провідна кулька із зарядом $6 \cdot 10^{-9}$ Кл торкнулася такої самої, але незарядженої кульки. З якою силою взаємодіють кульки після дотику, якщо вони розійшлися на відстань 9 см?

18. *(3 бали)* Протягом 10 с через ділянку кола пройшов електричний заряд 15 Кл, при цьому електричне поле на ділянці виконало роботу 315 Дж. Установіть відповідність між фізичними величинами (1–3) та їхніми значеннями (А–Г) в одиницях СІ.

1	Напруга на ділянці	А	1,5
2	Сила струму в ділянці	Б	14
3	Опір ділянки	В	21
		Г	31,5

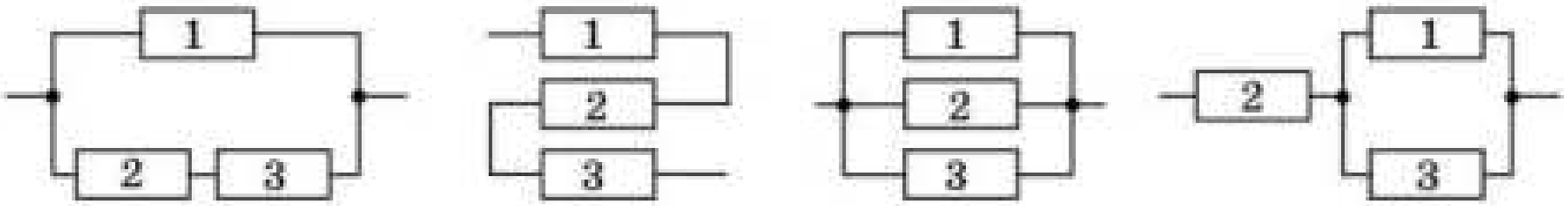
Звірте ваші відповіді з наведеними в кінці підручника. Позначте завдання, які ви виконали правильно, і полічіть суму балів окремо за кожною групою результатів. Одержаний результат відповідатиме рівню ваших навчальних досягнень.

Видавництво «Ранок»

З'єднання споживачів струму. Робота і потужність струму

Група результатів 1. Проводимо дослідження природи

1. *(1 бал)* На якому рисунку резистори 1 і 2 з'єднані паралельно?



а *б* *в* *г*

2. *(1 бал)* Ви намагаєтеся виміряти ККД електричного нагрівника. Які прилади вам НЕ знадобляться?
   а) вольтметр;
   б) амперметр;
   в) динамометр;
   г) термометр;
   д) мірний циліндр;
   е) лінійка;
   є) годинник.

3. *(2 бали)* На рис. 1 зображено електричне коло. Опір ключа та з'єднувальних проводів є нехтовно малим.
   Зазначте всі правильні твердження.

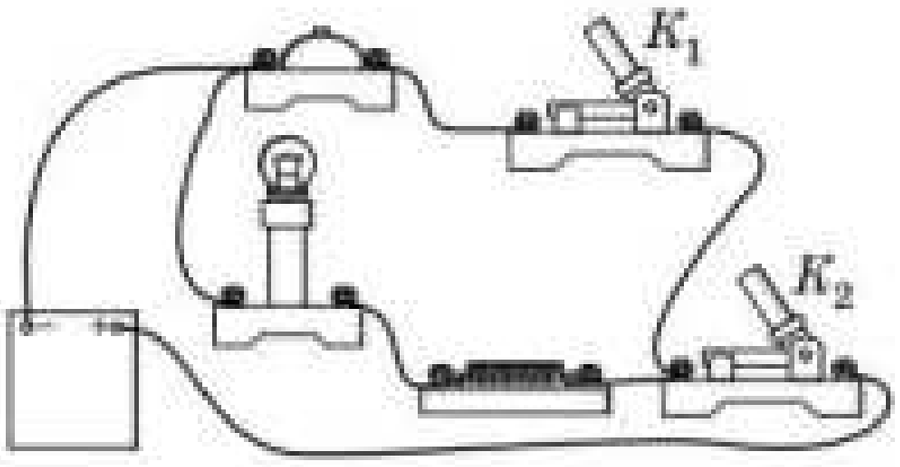


Рис. 1

   а) Усі споживачі електричної енергії в колі з'єднані паралельно.
   б) Лампа та резистор з'єднані послідовно.
   в) Якщо розімкнути ключ K_2, то всі споживачі в колі не працюватимуть.
   г) Напруга на електричному дзвонику дорівнює напрузі на лампі.

4. *(2 бали)* Які твердження є хибними? Дія автоматичних запобіжників ґрунтується на...
   а) властивості кристалічних речовин плавитися за певної температури;
   б) тепловій дії струму;
   в) розширенні твердих тіл унаслідок нагрівання;
   г) властивості однойменних зарядів відштовхуватися.

5. *(3 бали)* За рис. 2 встановіть відповідність між фізичною величиною (1–4) та її числовим значенням (А–Д) в одиницях СІ.

1	Сила струму в резисторі	А	1,2
2	Напруга на резисторі	Б	1,4
3	Опір резистора	В	10
4	Потужність струму в резисторі	Г	14
		Д	19,6

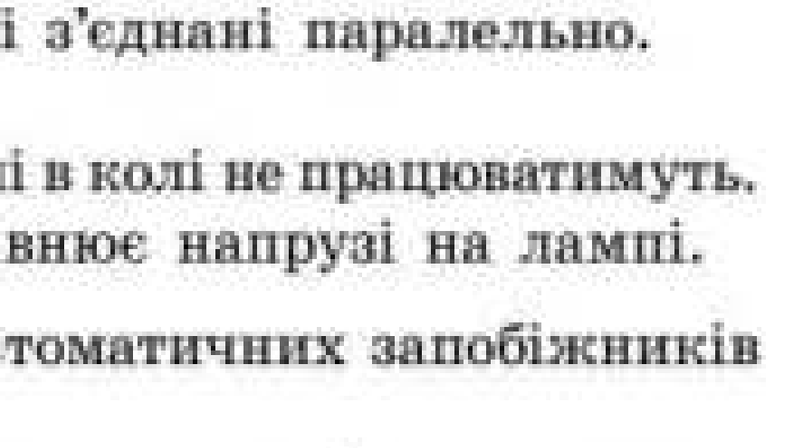


Рис. 2

6. *(3 бали)* **Як зміняться покази приладів (рис. 3), якщо повзунок реостата перемістити ліворуч?**

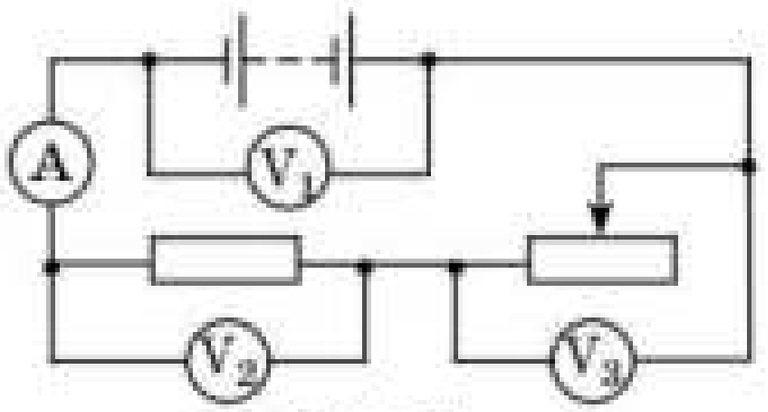


Рис. 3

Група результатів 2. Здійснюємо пошук та опрацьовуємо інформацію

7. *(2 бали)* **Якою є сила струму в нитці розжарення електричної лампи (рис. 4) за номінальної напруги?**
а) близько 0,45 А;
б) 2,2 А;
в) 22 кА;
г) визначити неможливо.

Рис. 4

8. *(3 бали)* **Установіть відповідність між назвою електричного пристрою (1–4) та потужністю струму (А–Д) в цьому пристрої.**

1	Електрична лампа розжарення	А	5 Вт
2	Електрична праска	Б	60 Вт
3	Електричний міксер	В	200 Вт
4	Компресор для акваріума	Г	600 Вт
		Д	2600 Вт

9. *(2 бали)* **Наприкінці місяця господарка зняла показ лічильника (рис. 5). Визначте вартість спожитої за місяць електроенергії, якщо на початок місяця показ лічильника був 2185,0 кВт·год, а тариф становив 4,32 грн за 1 кВт·год.**
а) 160,1 грн;
б) 320,2 грн;
в) 432,2 грн;
г) 691,2 грн.

Рис. 5

10. *(2 бали)* **На рис. 6 наведено вольт-амперні характеристики двох пристроїв. У скільки разів за напруги 6 В потужність струму в пристрої 1 є більшою за потужність струму в пристрої 2?**
а) у 2 рази;
б) у 3 рази;
в) у 4 рази;
г) у 6 разів.

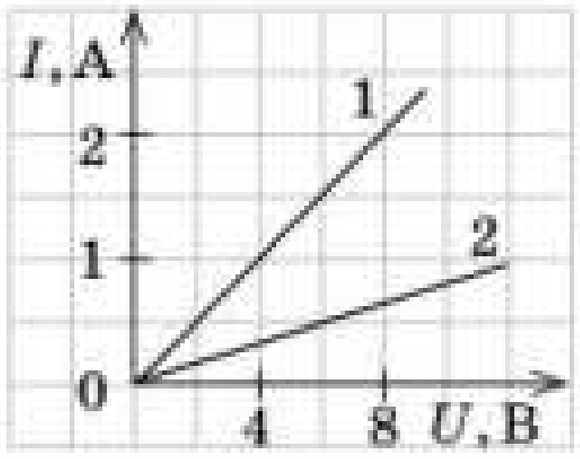


Рис. 6

Видавництво «Ранок»

11. *(3 бали)* На рис. 7 схематично зображено три дроти, які виготовлені з різних матеріалів і приєднані до джерела струму. Довжини дротів, а також площі їхніх поперечних перерізів однакові. У якому дроті виділяється найбільша кількість теплоти?

Рис. 7

а) у сталевому;
б) у мідному;
в) у ніхромовому;
г) у дротах виділяється однакова кількість теплоти.

Група результатів 3. Усвідомлюємо закономірності природи

12. *(1 бал)* Три лампи з'єднали послідовно й підключили до акумулятора. Якою є напруга на клемах акумулятора, якщо напруги на лампах 4, 6 і 8 В?
а) 2 В; б) 10 В; в) 18 В; г) 24 В.

13. *(2 бали)* Сила струму в нагрівальному елементі електричної праски становить 5 А, опір елемента — 40 Ом. Яка кількість теплоти виділяється в нагрівальному елементі протягом 5 хв?
а) 2 Дж; б) 200 Дж; в) 300 кДж; г) 5 кДж.

14. *(3 бали)* Два резистори, що мають опори 3 і 6 Ом, з'єднані паралельно й підключені до джерела струму, напруга на затискачах якого дорівнює 12 В. Визначте потужність електричного струму в кожному резисторі та на всій ділянці.

15. *(3 бали)* За рис. 8 визначте показ вольтметра та загальну напругу на ділянці.

16. *(3 бали)* Транспортер піднімає вантаж масою 300 кг на висоту 16 м протягом 2 хв. Визначте силу струму в електродвигуні транспортера, якщо напруга в мережі дорівнює 380 В, а ККД транспортера становить 60 %.

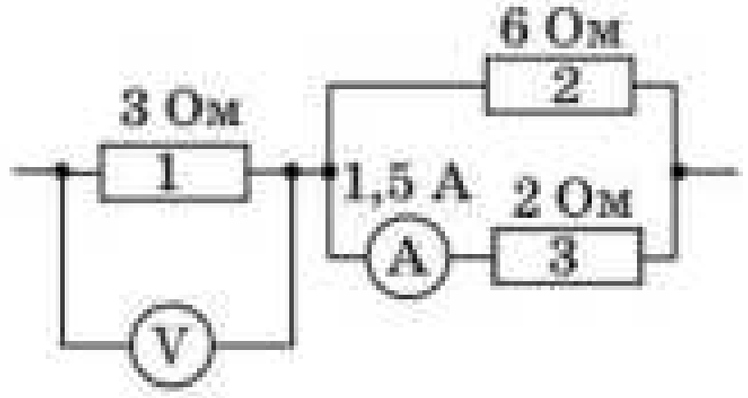


Рис. 8

Звірте ваші відповіді з наведеними в кінці підручника. Позначте завдання, які ви виконали правильно, і полічіть суму балів окремо за кожною групою результатів. Одержаний результат відповідатиме рівню ваших навчальних досягнень.

ТЕМИ ПОВІДОМЛЕНЬ

1. З історії вивчення електричних явищ.
2. Статична електрика в нашому житті та в живій природі.
3. Електросмог навколо нас.
4. Георг Сімон Ом: історія життя.
5. Сучасні джерела живлення для електронних пристроїв.
6. Джерела електричного струму для космічних досліджень.
7. Застосування електрики в медицині.
8. Дія електричного струму на клітини рослин, живих істот.
9. Історія електричної лампи.

ТЕМИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Створення електроскопа та дослідження електростатичних явищ.
2. Цікаві досліди з електростатики.
3. Візуалізація силових ліній електричного поля за допомогою солом'яних «стрілок», манної крупи, насіння фенхелю.
4. Створення різноманітних джерел живлення.
5. Вплив електричного поля на якість насіння та врожайність.
6. Дослідження електропровідності різних рідин.
7. Дослідження електропостачання квартири.

ТЕМИ НАВЧАЛЬНИХ ПРОЄКТІВ

1. Електрика в житті людини.
2. Сучасні побутові та промислові електричні пристрої.
3. Вплив електричного струму на організм людини.

Видавництво «Ранок»

*Додаток 1**

Таблиця 1. Питома теплоємність c деяких речовин у різних агрегатних станах

Речовини у твердому стані

Речовина	c, $\frac{Дж}{кг \cdot °C}$	Речовина	c, $\frac{Дж}{кг \cdot °C}$	Речовина	c, $\frac{Дж}{кг \cdot °C}$
Алюміній	920	Латунь	400	Срібло	250
Графіт	750	Лід	2100	Сталь	500
Дерево (дуб)	2400	Мідь	400	Цегла	880
Залізо	460	Олово	230	Цинк	400
Золото	130	Свинець	140	Чавун	540

Речовини в рідкому стані

Речовина	c, $\frac{Дж}{кг \cdot °C}$	Речовина	c, $\frac{Дж}{кг \cdot °C}$	Речовина	c, $\frac{Дж}{кг \cdot °C}$
Алюміній	1080	Гелій	4190	Олія	1700
Вода	4200	Ефір	2350	Ртуть	140
Гас	2100	Залізо	830	Спирт	2500

Речовини в газоподібному стані (за умови незмінного тиску)

Речовина	c, $\frac{Дж}{кг \cdot °C}$	Речовина	c, $\frac{Дж}{кг \cdot °C}$	Речовина	c, $\frac{Дж}{кг \cdot °C}$
Водень	14 300	Вуглекислий газ	830	Кисень	920
Водяна пара	2200	Гелій	5210	Повітря	1000

* Дані в таблицях наведені з досить невисокою точністю. Щоб навчитися розв'язувати задачі, такої точності цілком достатньо. Проте зверніть увагу на те, що для наукових та інженерних розрахунків часто потрібно знати значення величин до десяти значущих цифр, а інколи навіть і більше!

Видавництво «Ранок»

Таблиця 2. Температура t плавлення і кристалізації деяких речовин (за нормального атмосферного тиску)

Речовина	t, °C	Речовина	t, °C	Речовина	t, °C
Алюміній	660	Мідь	1087	Спирт	−115
Водень	−256	Нафталін	80	Срібло	962
Вольфрам	3387	Олово	232	Сталь	1400
Залізо	1535	Парафін	55	Титан	1660
Золото	1065	Ртуть	−39	Цинк	420
Лід	0	Свинець	327	Чавун	1200

Таблиця 3. Питома теплота плавлення λ деяких речовин*

Речовина	λ, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	Речовина	λ, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	Речовина	λ, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$
Алюміній	393	Мідь	213	Ртуть	12
Вольфрам	185	Нікель	300	Свинець	25
Залізо	270	Олово	59	Спирт	105
Золото	67	Парафін	150	Срібло	87
Лід	332	Платина	113	Сталь	84

Таблиця 4. Температура кипіння $t_{кип}$ деяких речовин*

Речовина	$t_{кип}$, °C	Речовина	$t_{кип}$, °C	Речовина	$t_{кип}$, °C
Вода	100	Залізо	2750	Олія	310
Водень	−253	Кисень	−183	Ртуть	357
Гліцерин	290	Мідь	2567	Свинець	1740
Ефір	35	Молоко	100	Спирт	78

Таблиця 5. Питома теплота пароутворення r деяких речовин* (за температури кипіння)

Речовина	r, $\frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$	Речовина	r, $\frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$	Речовина	r, $\frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$
Азот	0,2	Вода	2,3	Ртуть	0,3
Аміак	1,4	Ефір	0,4	Спирт	0,9

* За нормального атмосферного тиску — 760 мм рт. ст.

Таблиця 6. Питома теплота згоряння q деяких видів палива

Паливо	q, $\frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$	Паливо	q, $\frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$	Паливо	q, $\frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$
Антрацит	30	Дизельне паливо	42	Пропан	46
Бензин	46	Дрова сухі	10	Солома	14
Буре вугілля	12	Кам'яне вугілля	27	Спирт	27
Водень	120	Нафта	44	Сухе паливо	30
Гас	46	Порох	4	Торф	15
Деревне вугілля	34	Природний газ	44	Тротил	15

Таблиця 7. Питомий електричний опір ρ деяких речовин (за температури 20 °С)

Речовина	ρ, $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$	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	Нікелін (сплав)	0,42	Вода дистильована	$10^3 - 10^{10}$
Вольфрам	0,055	Ніхром (сплав)	1,1	Вода морська	$3 \cdot 10^5$
Графіт	13	Олово	0,12	Гума	$10^{17} - 10^{18}$
Залізо	0,10	Платина	0,10	Деревина суха	$10^{13} - 10^{14}$
Золото	0,024	Ртуть	0,96	Ебоніт	$10^{18} - 10^{20}$
Константан (сплав)	0,50	Свинець	0,21	Повітря	$10^{21} - 10^{24}$
Латунь (сплав)	0,07–0,08	Срібло	0,016	Порцеляна	10^{19}
Манганін (сплав)	0,43	Сталь	0,10–0,13	Скло	$10^{13} - 10^{19}$
Мідь	0,017	Фехраль (сплав)	1,3	Слюда	$10^{17} - 10^{21}$

Видавництво «Ранок»

Таблиця 8. Густина ρ деяких речовин (за температури 15–20 °С)

Речовини у твердому стані

Речовина	ρ, кг/м³	ρ, г/см³	Речовина	ρ, кг/м³	ρ, г/см³
Алюміній	2700	2,70	Парафін	900	0,90
Залізо	7800	7,80	Платина	21 500	21,50
Золото	19 300	19,30	Порцеляна	2300	2,30
Іридій	22 400	22,40	Свинець	11 300	11,30
Латунь	8500	8,50	Скло	2500	2,50
Лід	900	0,90	Сосна суха	440	0,44
Мармур	2700	2,70	Срібло	10 500	10,50
Мідь	8900	8,90	Сталь	7800	7,80
Нікель	8900	8,90	Цинк	7100	7,10
Олово	7300	7,30	Чавун	7000	7,00

Речовини в рідкому стані

Речовина	ρ, кг/м³	ρ, г/см³	Речовина	ρ, кг/м³	ρ, г/см³
Бензин	710	0,71	Мед	1420	1,42
Вода чиста	1000	1,00	Олія	900	0,90
Гас	800	0,80	Нафта	800	0,80
Дизельне паливо	840	0,84	Ртуть	13 600	13,60
Мастило	900	0,90	Спирт	800	0,80

Таблиця 9. Префікси для утворення назв кратних і частинних одиниць

Префікс	Символ	Множник	Префікс	Символ	Множник
тера-	Т	10^{12}	санти-	с	10^{-2}
гіга-	Г	10^{9}	мілі-	м	10^{-3}
мега-	М	10^{6}	мікро-	мк	10^{-6}
кіло-	к	10^{3}	нано-	н	10^{-9}
гекто-	г	10^{2}	піко-	п	10^{-12}
деци-	д	10^{-1}	фемто-	ф	10^{-15}

Видавництво «Ранок»

Додаток 2

ЕТАПИ РОБОТИ НАД НАВЧАЛЬНИМ ПРОЄКТОМ

1. Організаційний етап. Вибір теми навчального проєкту, обговорення мети та завдань проєкту, складання плану реалізації проєкту.

План проєкту — *це документ, який містить заздалегідь намічений порядок дій, необхідних для досягнення мети проєкту.*

План допомагає оцінити власні можливості та висвітлити проблеми, які можуть виникнути під час роботи.

Доцільно визначити зміст етапів роботи над проєктом, види робіт на кожному етапі, терміни їх виконання, обов'язки та відповідальність учасників та учасниць проєкту.

2. Підготовчий етап. Пошук інформації, яка висвітлює тему навчального проєкту, а також допомагає у виконанні завдань проєкту.

Під час пошуку матеріалів до проєкту потрібно відразу їх сортувати. Для цього часто використовують портфоліо.

Портфоліо проєкту — *це впорядкована добірка матеріалів, зібраних із певною метою.*

Електронне портфоліо проєкту — *це збірка електронних матеріалів проєкту, які впорядковано за певною структурою.*

Електронне портфоліо дозволяє здійснювати швидкий пошук документів; його легко редагувати, доповнювати, переносити, зберігати тощо.

Використовуючи додаткову літературу, інтернет-ресурси, не забувайте зберігати посилання на кожне джерело інформації — записувати назву ресурсу, ім'я автора / авторки. Пам'ятайте про авторське право!

3. Проєктний етап. Опрацювання зібраної інформації, створення моделей, формулювання висновків і пропозицій.

Для уточнення отриманої інформації та одержання додаткової можна звертатися до довідників, словників, а також до вчителя / вчительки.

4. Оформлювальний етап. Оформлення результатів роботи над навчальним проєктом, створення презентації для захисту проєкту.

Щоб презентація проєкту відбулась успішно, необхідно виділити час для її ретельної підготовки. Переконайтеся, що ви виконали всі завдання проєкту. Підготуйте доповідь. Для доповіді вибирайте найголовніше, викладайте свої думки коротко, чітко й зрозуміло.

Видавництво «Ранок»

Якщо ви плануєте презентувати проєкт із комп'ютерною підтримкою, то заздалегідь напишіть план, у якому позначте послідовність слайдів. Орієнтовно це можна зробити так.

Зміст слайда	Зміст доповіді
Тема проєкту, виконавці	Повідомлення теми проєкту, представлення виконавців
Ключове питання	Повідомлення ключового питання, яке відображає тему та мету проєкту
Матеріали проєкту	Розповідь про дослідження
Висновки	Оголошення висновків
Список джерел	Презентація джерел, що були використані під час роботи над проєктом
Подяка	Подяка всім, хто допомагав у роботі над проєктом. Подяка всім присутнім за увагу, побажання успіхів

5. Презентаційний етап. Демонстрація результатів навчального проєкту, захист ідеї проєкту та отриманих результатів.

6. Підсумковий етап. Аналіз виконання завдань навчального проєкту, визначення результатів проєкту: яку користь приніс або може принести проєкт.

Загальні правила презентації проєкту

1. Доповідайте з гарним настроєм. Не забувайте про свій зовнішній вигляд, слідкуйте за поставою.
2. На початку виступу чітко назвіть себе, повідомте про тему виступу та проблему, над якою ви працювали.
3. Під час доповіді дивіться на аудиторію.
4. Слова вимовляйте голосно та чітко.
5. Не читайте доповідь з аркуша, а лише звіряйтеся з нотатками, щоб нічого не пропустити.
6. Стежте за часом виступу. Він не повинен перевищувати регламент.

Регламент — це час, який відведено на виступ. Про свій регламент необхідно дізнатися заздалегідь, ще під час підготовки до виступу.

7. Будьте готові відповідати на запитання. Відповіді на запитання бажано починати з подяки тим, хто їх ставить.
8. Після завершення доповіді та відповідей на запитання подякуйте всім присутнім за увагу.

Видавництво «Ранок»

ВІДПОВІДІ ДО ВПРАВ І ЗАВДАНЬ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

Розділ 1. МОМЕНТ СИЛИ. МЕХАНІЧНА РОБОТА ТА ЕНЕРГІЯ

№ 1. 1. Похила площина; значення й напрямок. 2. 1 — Б; 2 — В; 3 — Д; 4 — Г. 4. Ножиці — важіль, клин; бур — коловорот, гвинт. 5. 2; 4 м. № 2. 1. Хлопчика. 2. а — у відстані; б — у силі. 3. 54 Н. 4. 16 кг. 5. 18 кг; 30 кг. 6. 30 см. 7. Для різання металу потрібна більша сила, тому плече коротке; як важіль, що має різні плечі; з довгою. 8. 20 кг; 350 Н. 9. 2,3 кг. № 3. 1. Рухомий; на 5 см; 30 Н. 2. 8 кг; на 12 см. 3. 510 Н. 4. 0,6 м/с; 5 кг. 5. $\frac{mg}{4}$; $\frac{mg}{2}$. 6. $m_1 = m_2 = 1{,}9$ кг. № 4. 1. Ні; ні. 2. а) Ні; б) так, від'ємну; в) так, додатну. 4. 3 м. 5. Сила тяжіння; 200 Дж. 6. 1 м/с. 7. 120 Дж. 9. 200 Дж. № 5. 1. Хто важче. 2. 3,2 кДж. 3. 6 с. 4. 50 кН. 5. 11,25 кВт. 6. $7{,}5 \cdot 10^3$ м^3. № 6. 1. а) Ні; б) ні; в) так. 2. 80 %. 3. 200 кДж. 4. 300 Н. 5. 90 %. № 7. 2. Під час зльоту потенціальна енергія збільшується, кінетична — збільшується; під час посадки потенціальна енергія зменшується, кінетична — зменшується. 3. 24 Дж. 4. 2,5 кДж. 5. 40 см. 6. 2,5 кг. 7. 32 Дж. 8. 5 мДж. № 8. 1. а) Потенціальна енергія деформованого тіла → кінетична енергія стріли; б) потенціальна енергія піднятого тіла → кінетична енергія → потенціальна енергія піднятого тіла; далі процес повторюється; в) потенціальна енергія деформованої пружини → кінетична енергія кульки. 2. Потенціальна енергія → кінетична енергія → внутрішня енергія; не зберігається. 3. Потенціальна енергія деформованої пружини → кінетична енергія кульки → потенціальна енергія піднятої кульки. 4. 1,5 м; 6 Дж. № 9. 1. $E_k = E_p = 50$ Дж. 2. 15 м. 3. 2,4 м. 4. 2,4 м. 5. 12 м/с. 6. 1) а) 168 кДж; б) 8 кДж; 2) 160 кДж.

Завдання для самоперевірки до розділу 1

1. а. 2. 1–В, 2–Б, 3–Г. 3. 1) Змусити автомобіль рухатися протягом, наприклад, 5 с; 2) виміряти відстань l, яку подолав автомобіль за цей час; 3) виміряти масу m автомобіля; 4) за формулою $v_{сер} = \frac{l}{t}$ визначити середню швидкість руху автомобіля; 5) за формулою $E_k = \frac{mv^2}{2}$ розрахувати кінетичну енергію автомобіля. 4. а) Похила площина, два нерухомі блоки; в) автомобіль рівномірно рухається вниз: $\eta = \frac{m_{вант}}{m_{авт}} \cdot 100\ \%$, автомобіль рівномірно піднімається вгору: $\eta = \frac{m_{вант}}{m_{вант}} \cdot 100\ \%$. 5. в, г, д. 6. Так. 7. а. 8. 1 — Б, Д; 2 — А, Б; 3 — А, В. 9. а) 15 Дж; б) 7,5 Дж. 10. г. 11. г. 12. б. 13. 30 кН. 14. $m_1 = 15$ кг; $m_2 = 10$ кг. 15. $E_p = 90$ Дж; $E_k = 30$ Дж.

Розділ 2. ВНУТРІШНЯ ЕНЕРГІЯ. ТЕПЛОВІ ЯВИЩА

№ 10. 2. Рідина. 3. Інакше термометр змінить температуру тіла. 4. 1–Д, 2–В, 3–А, 4–Е. № 11. 1. а, б. 2. ↑, оскільки ↑ відстань між атомами і молекулами. 3. Об'єм ↑, маса не змінюється, густина ↓, середня швидкість руху частинок ↑. 4. Ні; за температури нижче 0 °С вода перетвориться на лід, а за температури від 0 до 4 °С стовпчик термометра опускатиметься. 5. Зі зміною температури змінюються розміри деталей приладу, тому точність приладу знижується. 6. Скляна банка може тріснути; внутрішні шари скла розширяться сильніше, ніж зовнішні. 7. Потенціальна → кінетична; переходить в енергію теплового руху атомів і молекул. № 12. 1. У лівій скляниці. 2. а) Потерти головку сірника об коробку; б) запалити в полум'ї. 3. 1–А; 2–В; 3–Б. 4. Внутрішня енергія не змінюється, кінетична енергія зменшується, потенціальна енергія збільшується.

Видавництво «Ранок»

5. Внутрішня енергія для всіх трьох випадків є однаковою; механічна енергія змінюється: а) найменше значення; б) збільшується внаслідок збільшення потенціальної енергії; в) найбільше значення внаслідок збільшення потенціальної енергії та кінетичної енергії. **6.** б). Коли температура на вулиці та в будівлі зрівняються. **7.** Щоб не отримати опіків через тертя рук об поверхню каната. **8.** Так, може. № 13. **1.** Кисень. **2.** Шуба не гріє, а зберігає тепло. **3.** Пух створює простір із великим вмістом повітря, а повітря погано проводить тепло. **4.** Усередині склопакетів міститься повітря, а воно погано проводить тепло. **5.** а — на рушнику; б — на металевій тарілці. **6.** Металева. **7.** Більш висока теплопровідність металів порівняно з деревом спричиняє те, що метали швидше проводять тепло. Що більша різниця температур тіл, що контактують, тим активніше йде цей процес. У нашому випадку — охолодження частини тіла людини, яка контактує з лавою. Тобто за температури повітря 15,8 °С доцільно вибрати дерев'яну лаву, а за температури повітря 36,6 °С вибір лави визначається виключно її зручністю. № 14. **1.** Температура язиків полум'я більша за температуру навколишнього повітря. **2.** У приміщенні повітря біля підлоги холодніше, ніж вгорі. **3.** Вода погано проводить тепло, а конвекція відсутня. **4.** Під льодом. **5.** Воду неможливо нагріти зверху без застосування примусової конвекції. Саме тому нагрівачі води завжди розміщують знизу. **6.** Хмари «тримаються» конвекційними потоками повітря. № 15. **1.** Тіла з темною поверхнею краще випромінюють тепло. **2.** У білий або сріблястий. **3.** Тіла з темною поверхнею краще поглинають тепло. **4.** Сонячного дня. **5.** а) Теплопровідність; б) конвекція; в) випромінювання; г) випромінювання. **6.** Вакуум — В; вода — Т, К, В; ґрунт сухий — Т, В; залізо — Т, В; кисень — Т, К, В; повітря — Т, К, В. **7.** Відсутність повітря спричиняє відсутність теплопровідності та конвекції, а дзеркальна поверхня заважає передачі тепла випромінюванням. **8.** Повітря нагрівається від поверхні Землі; зокрема, від кольору поверхні. № 16. **1.** Щоб нагріти 1 кг срібла на 1 °С, треба передати йому 250 Дж теплоти. **2.** Вода має найбільшу питому теплоємність, тому, охолоджуючись, вона віддає навколишньому середовищу значну кількість теплоти. **3.** 1,2 кДж. **4.** 1) $m = 0{,}1$ кг; 2) $Q = 92$ Дж; 3) $\Delta t = 2$ °С. **5.** Зі сталі. **6.** Ні. **7.** 540,8 кДж. **8.** 10,5 м. № 17. **1.** 16 кг. **2.** 70 °С. **3.** 130 °С. **4.** $250 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot {}^\circ\text{С}}$. № 18. **1.** в. **2.** Молекули не змінились, відстань між ними ↑. У воді молекули здебільшого коливаються біля положень рівноваги, час від часу переміщуючись рідиною. У парі траєкторії руху молекул води — ламані лінії. **3.** Ні; над поверхнею води є водяна пара. № 19. **1.** Вольфрам має високу температуру плавлення. **2.** *A* — твердому, *B* — рідкому, *C* — рідкому, *D* — частина речовини ще перебуває в рідкому стані, частина — вже в твердому. **3.** 1 — нафталін, 2 — вода; більшу температуру плавлення має нафталін; нафталін на початку досліду мав вищу температуру. **4.** Якщо температура навколишнього середовища ↓0 °С — вода замерзатиме; ↑0 °С — лід танутиме; 0 °С — ані лід, ані вода не будуть змінювати свого агрегатного стану. № 20. **1.** 106,5 кДж. **2.** 1 кг розплавленого алюмінію; на 393 кДж. **3.** 78,4 МДж. **4.** ≈10,1 кДж. **5.** ≈79 °С. **6.** Вищу температуру плавлення — 1; більшу питому теплоту плавлення — 2; більшу питому теплоємність — 2. № 21. **1.** У теплу; середня кінетична енергія молекул є більшою. **2.** Спирт швидше випаровується. **3.** Під час випаровування вода поглинає енергію. **4.** Сніг тане, отримана вода випаровується, а потім конденсується в холодному повітрі. № 22. **1.** Зі ↑ висоти атмосферний тиск ↓, тому температура кипіння води ↓. **2.** Внутрішня енергія 1 кг водяної пари за температури 100 °С більша за внутрішню енергію 1 кг води за тієї самої температури на 2,3 МДж. **3.** 23 МДж. **4.** а) Спирт; б) 900 кДж/кг. **5.** 30,52 МДж. **6.** Ні; для підтримання кипіння потрібна енергія, а теплообмін не відбувається. № 23. **1.** Порох згоряє швидше. **2.** 270 МДж. **3.** 2 г. **4.** 35 %. **5.** 100 °С, частина води перетвориться на пару. **6.** Частина енергії витрачається на випаровування. № 24. **1.** 25 %. **2.** ≈33,3 %. **3.** 65,32 МДж. **4.** 11,5 кВт. № 25. **1.** Хімічна енергія, «схована» в паливі, → внутрішня енергія пари → кінетична енергія обертального руху турбіни → електрична енергія. На кожному етапі частина енергії передається довкіллю. **2.** 45,5 %. **3.** Над сумішшю виконують роботу, тому її внутрішня енергія ↑, а отже, ↑ температура. **4.** Пара виконала роботу, тому її внутрішня енергія ↓, а отже, ↓ температура.

Завдання для самоперевірки до розділу 2

Температура. Внутрішня енергія. Теплопередача

1. а. **2.** б, в, г. **3.** 5,1 кДж. **4.** 5 °С. **5.** а, б, в. **6.** а, б. **7.** в. **8.** Сталь. **9.** а, б. **10.** Темний одяг краще поглинає сонячне випромінювання. **11.** І ватяний халат, і шуба погано проводять тепло, адже між ворсинками міститься багато повітря; мешканець Півночі не віддає багато тепла навколишньому середовищу, а мешканець пустелі — не одержує. **12.** На 50,4 °С.

Зміна агрегатного стану речовини. Теплові двигуни

1. а; в; г. **2.** а; б. **3.** Гази займають увесь наданий об'єм. **4.** 26,15 МДж/кг. **5.** г. **6.** в. **7.** У легенях активно випаровується вода, і на цей процес витрачається досить велика енергія. **8.** г. **9.** а) рідкому; б) твердому; в) охолодження рідини; г) зменшувалась. **10.** 1–Б, 2–Г, 3–В. **11.** в. **12.** 8,94 кДж. **13.** У ході стискання над сумішшю виконується робота, тому її внутрішня енергія збільшується, а отже, збільшується температура; під час робочого ходу газ, розширюючись, виконує роботу, тому його внутрішня енергія зменшується. **14.** ≈40,3 кВт; ≈1 кН.

Розділ 3. ЕЛЕКТРИЧНІ ЯВИЩА. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ

№ 27. **1.** 1 — позитивний, 2 — негативний. **2.** а) блакитний — позитивний, рожевий — позитивний; б) блакитний — позитивний, рожевий — негативний. **3.** Потерти паличку об вовну (паличка набуде негативного заряду) і піднести її кульки. Якщо кулька відштовхнеться, то вона заряджена негативно, якщо притягнеться — заряджена позитивно. **4.** А — гравітаційна; Б — електромагнітна; В — гравітаційна; Г — електромагнітна. **5.** 10. **6.** $6{,}25 \cdot 10^{18}$. № 28. **1.** Між 3 і 4; 1 і 3 заряджені позитивно, 2 і 4 — негативно. **2.** 1) Починаються в нескінченності, закінчуються на негативному заряді (а); починаються на позитивному заряді, закінчуються на негативному (б); 2) на обох рисунках той, що праворуч. **4.** $2{,}5 \cdot 10^6$ Н/Кл. **5.** 32 мкН, верхня пластина заряджена позитивно, нижня — негативно. **6.** 32 мН. № 29. **1.** Маса позитивно зарядженої палички менша. **2.** А: електроскоп — нейтральний, кондуктор — негативний заряд, смужки — позитивний; Б: електроскоп — нейтральний, кондуктор — позитивний заряд, смужки — негативний; В: електроскоп і всі його складові заряджені позитивно; Г: електроскоп і всі його складові заряджені негативно. **3.** Може, якщо передати електроскопу такий самий за модулем, але протилежний за знаком заряд. **4.** Заряджена паличка притягує струмінь води; замість палички можна використати повітряну кульку або гребінець; вигнутий струмінь води не повинен мати гострих кутів. **5.** Заряджена позитивно. **6.** Б, В, Д. **7.** $q_1 = q_2 = 3 \cdot 10^{-9}$ Кл. **8.** Спочатку заземлити незаряджену кульку та піднести до неї, не торкаючись, заряджену — перша кулька набуде позитивного заряду. Потім прибрати заземлення та повторити дослід із кулькою, зарядженою позитивно, і ще з однією незарядженою кулькою — остання набуде негативного заряду. № 30. **1.** *а* — сили відштовхування; *б* — сили притягання. **2.** ↑ в 4 рази. **3.** ↑ у 3 рази. **4.** 3,6 мкН. **5.** 0,625 мкН. **6.** Кульки будуть відштовхуватись із силою, що в 3 рази більша. № 31. **2.** Має бути діелектриком. **3.** Вологе повітря є провідником. **5.** Рухаються хаотично. № 32. **3.** Повітря в каналі блискавки нагрівається (струм чинить теплову дію) і різко розширюється. № 33. **1.** а) Електрична енергія → хімічна енергія; б) хімічна енергія → електрична енергія. **2.** З'єднати один електроскоп із негативним полюсом джерела струму, а інший — із позитивним. **3.** Механічна енергія → електрична енергія. **4.** Ні. № 35. **2.** 2 хв. **3.** Струму не буде; $I = 0$. **4.** 180 Кл. **5.** 3,2 А. № 36. **1.** а) 1 В,

4 В; б) 0,5 В, 6 В; в) 1 В, 7 В. 3. 40 В. 4. 12 В. 5. 396 кДж. № 37. 1. 5 Ом. 2. 15 Ом. 3. 225 В. 4. 60 Ом. 5. 0,25 А. № 38. 1. 1 — мідь; 2 — залізо; 3 — свинець. 2. 5 мОм. 3. Опір ↓; сила струму ↑. 4. Сила струму ↑; яскравість ↑. 5. 2 м. 6. Зменшився в 4 рази. 7. 1,08 кг. № 39. 1. 4 Ом; 2 В; 1 В, 1 В. 2. 35 Ом. 3. 250 Ом. 4. 48 В. 5. 0,2 А; 5,6 В. 6. Можна. 7. m = 1,08 кг. Можна. № 40. 2. 144 В. 3. 0,6 А; 0,4 А; 1 А. 4. У срібному. 5. 10 Ом; 0,4 А. 6. 2,3 В. 7. K_2; 0,4 А. 8. 9 опорів (10 різних з'єднань): $4R_0$; $R_0/4$; R_0; $4R_0/3$; $3R_0/4$; $5R_0/2$; $2R_0/5$; $5R_0/3$; $3R_0/5$. 9. 17,5 мОм. № 41. 1. 876 кВт·год; 3784 грн 32 к. 4. 7,2 кДж. 5. а) 300 кДж, 120 кДж; б) ≈24,5 кДж, ≈61,2 кДж. 6. 12,5 А. 7. Під час паралельного з'єднання; в 4 рази. № 42. 1. 288 кДж. 2. 5 кДж; 2,5 кДж. 3. 1,32 кВт. 4. У місцях з'єднання найбільший опір, тому (за законом Джоуля — Ленца) виділяється найбільша кількість теплоти. 5. 120,4 В. 6. Площа поперечного перерізу дроту в освітлюваному шнурі є малою (шнур розрахований на невелику силу струму), тому опір досить великий. За сили струму 100 А в шнурі виділиться величезна кількість теплоти й шнур займеться. 7. ≈9,25 м.

Завдання для самоперевірки до розділу 3

Електричний заряд. Електричне поле. Електричний струм

1. а. 2. 1–Б, 2–Д, 3–В, 4–Г. 3. 1–В, 2–А, 3–Д, 4–Г. 4. а. 5. г. 6. 1–Г, 2–В, 3–А. 7. в. 8. г. 9. б. 10. г. 11. в; б. 12. а; б. 13. г. 14. а. 15. 1–Б, 2–В, 3–Г. 16. б; в. 17. 10 мкН. 18. 1–В, 2–А, 3–Б.

З'єднання споживачів струму. Робота і потужність струму

1. в. 2. в; е. 3. б; в. 4. а; г. 5. 1–Б, 2–Г, 3–В, 4–Д. 6. Показ вольтметра V_1 не зміниться; V_2 — збільшиться; V_3 — зменшиться; показ амперметра А збільшиться. 7. а. 8. 1–Б, 2–Д, 3–Г, 4–А. 9. г. 10. б. 11. в. 12. в. 13. в. 14. 48 Вт; 24 Вт; 72 Вт. 15. 6 В; 9 В. 16. ≈1,75 А.

Видавництво «Ранок»

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

А Агрегатний стан 106
Ампер 217
Б Блок 20
В Важіль 11
Ват 31, 261
Випаровування 126
Випромінювання 89
Вольт 222
Г Гальванічний елемент 205
Д Джерела електричного струму 203
Джоуль 27, 261
Є Електризація 167, 179, 181
Електрична схема 212
Електричне коло 210
Електричне поле 174
Електричний струм 192
Електроскоп 183
Енергія
— внутрішня 73
— кінетична 44
— повна механічна 44
— потенціальна 42
З Закон
— Джоуля — Ленца 269
— збереження електричного заряду 169
— збереження і перетворення механічної енергії 49
— Кулона 188
— Ома для ділянки кола 229
Запобіжник 272
Заряд електричний 167
З'єднання провідників
— паралельне 249
— послідовне 241
К Кипіння 130
Кількість теплоти 75
Коефіцієнт корисної дії
— нагрівника 142
— теплового двигуна 147
Конвекція 85
Конденсація 129
Кристалізація 115
Кулон 167, 218
М Момент сили 13
Н Напруга електрична 222
Напруженість 175
О Ом 228
Опір електричний 228
П Пароутворення 126
Питома теплоємність 99
Питома теплота згоряння палива 140
Питома теплота пароутворення 135
Питома теплота плавлення 120
Питомий опір 233
Плавлення 114
Поляризація 182
Потужність 31
— струму 261
Похила площина 8
Правило
— важеля 12
— моментів 13
Р Реостат 234
Рівняння теплового балансу 99
Робота
— механічна 26
— струму 260
С Сила
— Кулона 189
— струму 216
Т Температура 63
— кипіння 133
— плавлення та кристалізації 115
Теплова рівновага 63
Тепловий двигун 145
Теплопередача 74
Теплопровідність 80
Ш Шкала температурна 66

ЗМІСТ

Вступ 3

Розділ 1.
МОМЕНТ СИЛИ. МЕХАНІЧНА РОБОТА ТА ЕНЕРГІЯ

§ 1. Прості механізми. Похила площина 6
§ 2. Важіль. Момент сили. Умова рівноваги важеля 11
Лабораторна робота № 1 18
§ 3. Рухомий і нерухомий блоки 20
§ 4. Механічна робота 26
§ 5. Потужність 31
§ 6. Коефіцієнт корисної дії простих механізмів 35
Лабораторна робота № 2 39
§ 7. Механічна енергія. Кінетична і потенціальна енергії 41
§ 8. Закон збереження і перетворення механічної енергії 47
§ 9. Учимося розв'язувати задачі 52
Підбиваємо підсумки розділу 1 57
Завдання для самоперевірки до розділу 1 58
Теми повідомлень. Теми експериментальних досліджень.
Теми навчальних проєктів 60

Розділ 2.
ВНУТРІШНЯ ЕНЕРГІЯ. ТЕПЛОВІ ЯВИЩА

§ 10. Тепловий стан тіл. Температура та її вимірювання 62
§ 11. Залежність розмірів фізичних тіл від температури 68
§ 12. Внутрішня енергія та способи її зміни 73
§ 13. Теплопровідність 80
§ 14. Конвекція 85
§ 15. Випромінювання 89
§ 16. Питома теплоємність речовини. Кількість теплоти,
що поглинається речовиною під час нагрівання
або виділяється під час охолодження 94
§ 17. Тепловий баланс 99
Лабораторна робота № 3 102
Лабораторна робота № 4 104
§ 18. Агрегатний стан речовини 106
§ 19. Плавлення та кристалізація 114
§ 20. Питома теплота плавлення 119
Лабораторна робота № 5 123

§ 21. Випаровування та конденсація 126
§ 22. Кипіння. Питома теплота пароутворення 132
§ 23. Питома теплота згоряння палива. Коефіцієнт корисної дії нагрівника 139
§ 24. Принцип дії теплових двигунів. ККД теплового двигуна 145
§ 25. Деякі види теплових двигунів 149
§ 26. Теплоенергетика. Способи збереження енергетичних ресурсів 154
Підбиваємо підсумки розділу 2 158
Завдання для самоперевірки до розділу 2 160
Теми повідомлень. Теми експериментальних досліджень.
Теми навчальних проєктів 164

Розділ 3.
ЕЛЕКТРИЧНІ ЯВИЩА. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ

§ 27. Електричний заряд. Закон збереження електричного заряду 166
§ 28. Електричне поле 173
§ 29. Механізм електризації. Електроскоп 179
§ 30. Закон Кулона 187
§ 31. Електричний струм. Електрична провідність матеріалів 192
§ 32. Дії електричного струму 197
§ 33. Джерела електричного струму 203
§ 34. Електричне коло та його елементи 210
§ 35. Сила струму 216
§ 36. Електрична напруга 222
§ 37. Електричний опір. Закон Ома 227
§ 38. Розрахунок опору провідника. Питомий опір речовини. Реостати ... 232
Лабораторна робота № 6 239
§ 39. Послідовне з'єднання провідників 241
Лабораторна робота № 7 247
§ 40. Паралельне з'єднання провідників 249
Лабораторна робота № 8 257
§ 41. Робота і потужність електричного струму 259
Лабораторна робота № 9 266
§ 42. Теплова дія струму. Закон Джоуля — Ленца. Запобіжники 268
Лабораторна робота № 10 277
Підбиваємо підсумки розділу 3 279
Завдання для самоперевірки до розділу 3 281
Теми повідомлень. Теми експериментальних досліджень.
Теми навчальних проєктів 288

Додатки
Додаток 1. Таблиці 289
Додаток 2. Етапи роботи над навчальним проєктом 293
Відповіді до вправ і завдань для самоперевірки 295
Алфавітний покажчик 299

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

1. Загальні положення

1.1. У кабінеті фізики необхідно суворо дотримуватися правил безпеки та правил внутрішнього розпорядку закладу освіти, установлених норм і режимів праці та відпочинку.

1.2. У кабінеті фізики можна перебувати тільки в присутності вчителя / вчительки або лаборанта / лаборантки.

1.3. Про кожний нещасний випадок, що трапився під час освітнього процесу, необхідно негайно повідомити вчителя / вчительку.

1.4. Про вихід із ладу або несправність обладнання необхідно негайно повідомити вчителя / вчительку.

2. Вимоги безпеки в екстремальних ситуаціях

2.1. У разі травмування, нездужання тощо негайно повідомте про це вчителя / вчительку.

2.2. У разі виникнення загоряння, пожежі тощо негайно повідомте про це вчителя / вчительку.

2.3. Під час евакуації чітко виконуйте вказівки вчителя / вчительки.

3. Вимоги безпеки перед початком експериментальної роботи

3.1. Чітко з'ясуйте порядок і правила виконання роботи.

3.2. Звільніть робоче місце від усіх не потрібних для роботи предметів і матеріалів.

3.3. Перевірте наявність і надійність з'єднувальних проводів, приладів та інших предметів, необхідних для виконання завдань.

3.4. Починайте роботу тільки з дозволу вчителя / вчительки.

3.5. Виконуйте тільки ті завдання, які передбачені в роботі або доручені вчителем / вчителькою.

4. Вимоги безпеки під час роботи

4.1. Працюйте лише на своєму робочому місці.

4.2. Будьте уважні й дисципліновані.

4.3. Розміщуйте прилади, матеріали, обладнання на робочому місці так, щоб запобігти їх падінню або перекиданню.

4.4. Під час проведення дослідів не допускайте граничних навантажень вимірювальних приладів.

4.5. Стежте за справністю всіх кріплень у приладах і пристроях.

4.6. Для запобігання падінню скляних посудин або приладів розташовуйте їх на спеціальній підставці. Термометр одразу після проведення вимірювань кладіть у футляр.

4.7. Забороняється користуватися лабораторним посудом із відколотими краями та за наявності тріщин.

4.8. Якщо скляна посудина або прилад розбилися, не торкайтеся осколків незахищеними руками, користуйтеся совком і щіткою.

4.9. Не вмикайте без дозволу електричне обладнання; не усувайте самостійно несправності електромережі й електрообладнання.
4.10. Складаючи електричне коло, уникайте перетину провідників; заборонено користуватися провідниками зі спрацьованою ізоляцією.
4.11. Складене коло вмикайте тільки після перевірки та з дозволу вчителя / вчительки.
4.12. Не виконуйте з'єднання в колах до вимикання джерела електроживлення.
4.13. Користуйтесь інструментами із заізольованими ручками.
4.14. Не залишайте робоче місце без дозволу вчителя / вчительки.
4.15. Виявивши несправність в електричному обладнанні, що перебуває під напругою, негайно повідомте вчителя / вчительку.

5. Вимоги безпеки після закінчення роботи

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

ЩО НЕОБХІДНО ЗНАТИ

Про фізичне явище

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

Про фізичний закон

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

Про прилад або пристрій

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

Про фізичну величину

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

7 КЛАС

Швидкість рівномірного руху, м/с

$$v = \frac{l}{t}$$

шлях, м

час руху, с

Густина, кг/м³

$$\rho = \frac{m}{V}$$

маса, кг

об'єм, м³

Імпульс, кг · м/с

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

маса, кг

швидкість руху, м/с

Тиск, Па

$$p = \frac{F}{S}$$

сила тиску, Н

площа поверхні, м²

Сила тяжіння, Н

$$F_{тяж} = mg$$

маса, кг

прискорення вільного падіння, Н/кг

Сила пружності, Н

$$F_{пруж} = k|x|$$

видовження, м

жорсткість, Н/м

Сила тертя ковзання, Н

$$F_{тертя\ ковз} = \mu N$$

сила реакції опори, Н

коефіцієнт тертя ковзання

Вага тіла, Н

$$P = mg$$

маса, кг

прискорення вільного падіння, Н/кг

Сила тиску, Н

$$F = pS$$

тиск, Па

площа поверхні, м²

Архімедова сила, Н

$$F_{арх} = \rho g V_{зан}$$

густина рідини, кг/м³

об'єм зануреної частини, м³

8 КЛАС

РОБОТА ТА ЕНЕРГІЯ

Механічна робота, Дж

$$A = Fl$$

шлях, м

сила, Н

Потужність, Вт

$$N = \frac{A}{t}$$

механічна робота, Дж

Потенціальна енергія, Дж

$$E_p = mgh$$

висота відносно нульового рівня, м

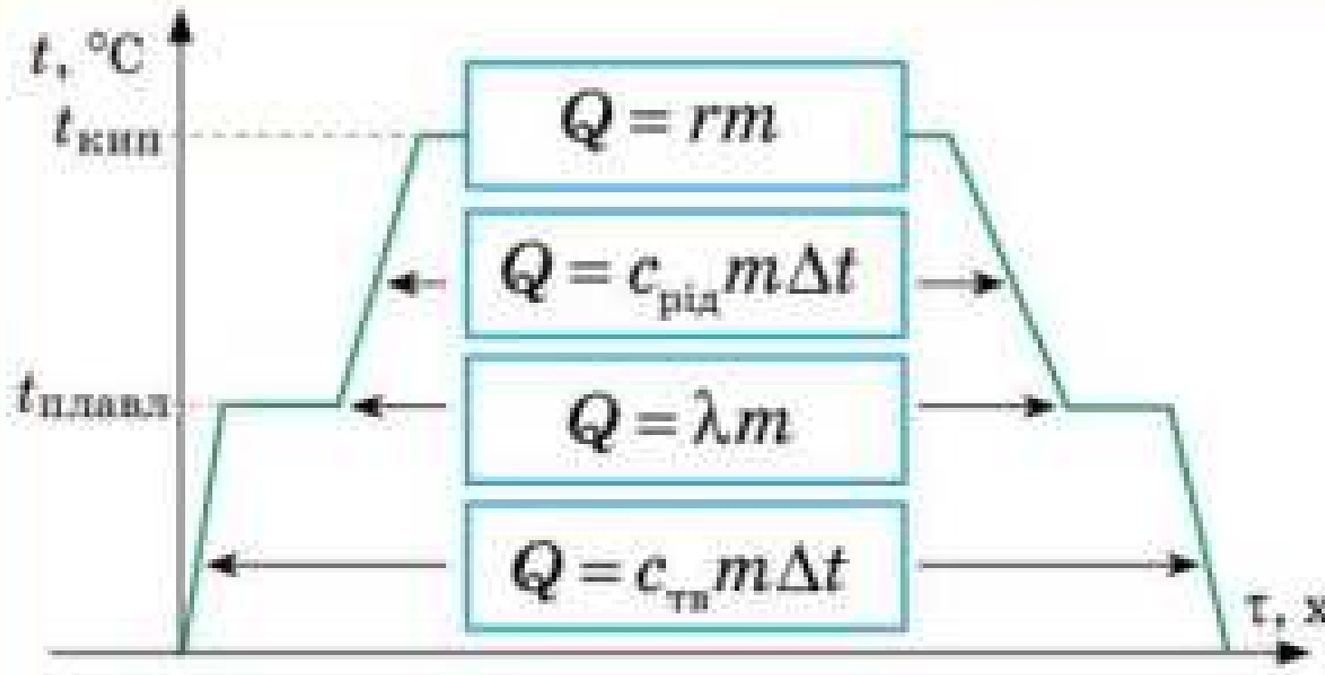
Кінетична енергія, Дж

$$E_k = \frac{mv^2}{2}$$

швидкість руху, $\frac{м}{с}$

Видавництво «Ранок»

КІЛЬКІСТЬ ТЕПЛОТИ



Q — кількість теплоти, Дж

m — маса, кг

Δt — зміна температури, °C

c — питома теплоємність, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot {}^\circ\text{C}}$

λ — питома теплота плавлення, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$

r — питома теплота пароутворення, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$

Питома теплота згоряння палива, Дж/кг

$$Q = qm$$

Коефіцієнт корисної дії

$$\eta_{\text{нагр}} = \frac{Q_{\text{кор}}}{Q_{\text{повна}}} \cdot 100\ \%$$

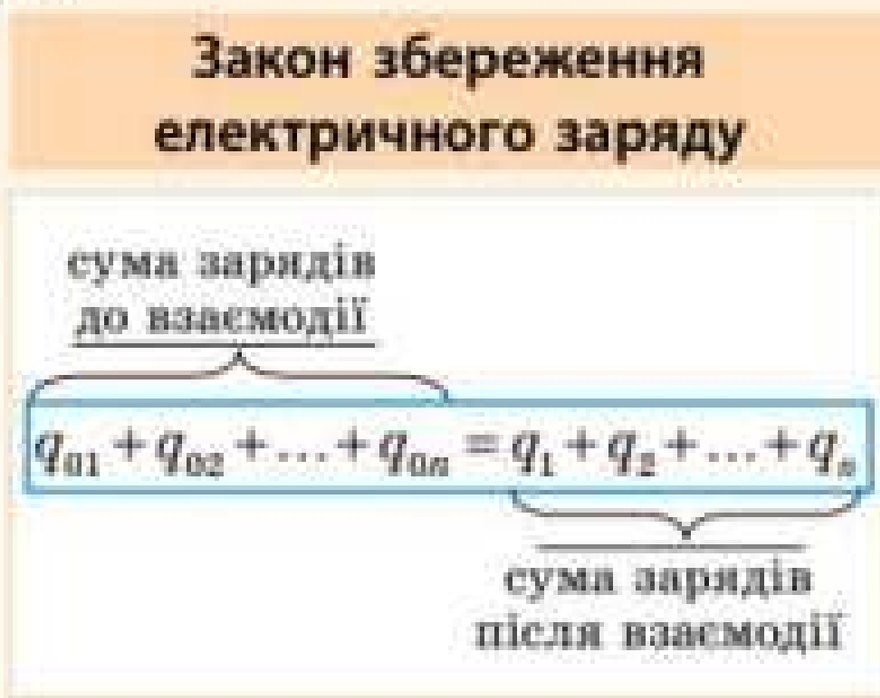
$$\eta_{\text{тепл. дв}} = \frac{A_{\text{кор}}}{Q_{\text{повна}}} \cdot 100\ \%$$

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ЗАРЯД

Електричний заряд, Кл

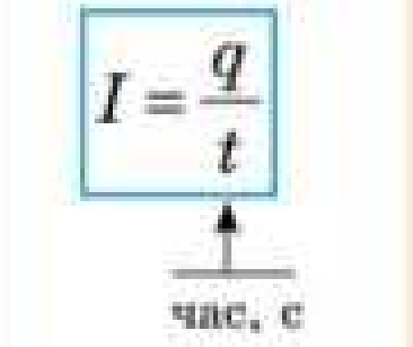
Закон Кулона

Закон збереження електричного заряду

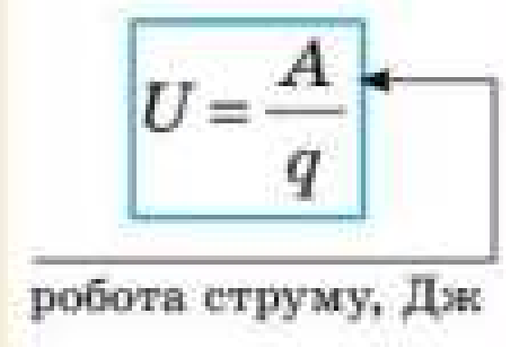


ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ

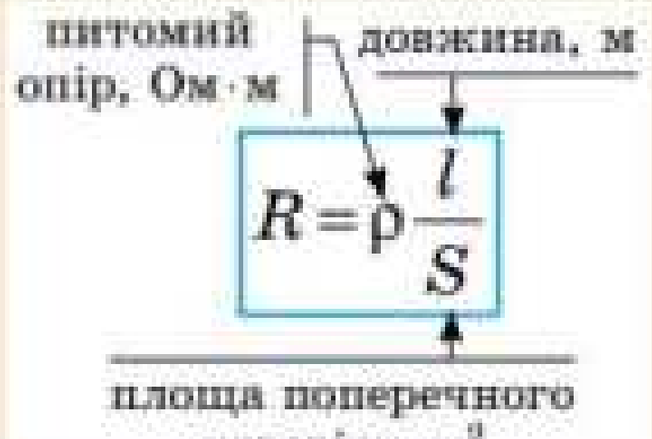
Сила струму, А



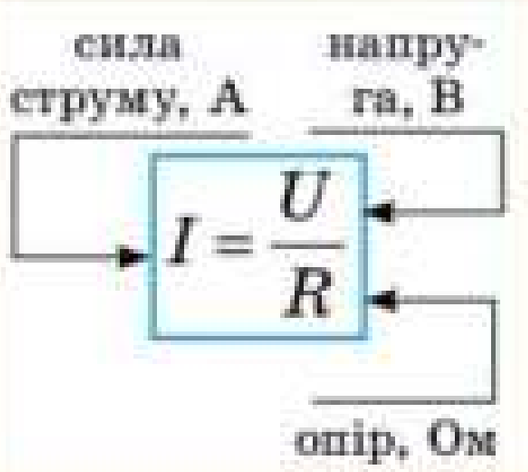
Напруга, В



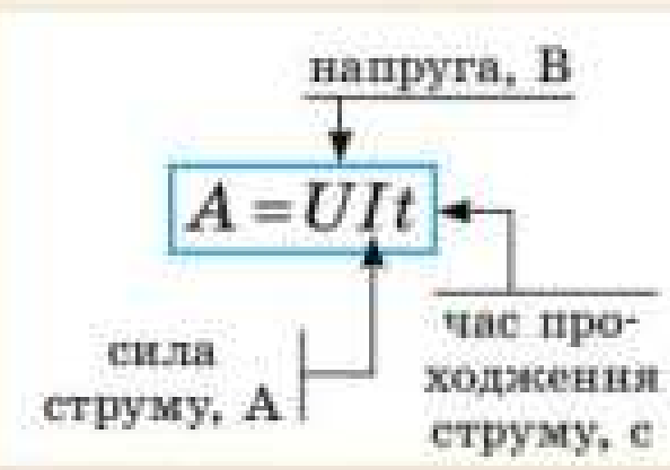
Опір, Ом



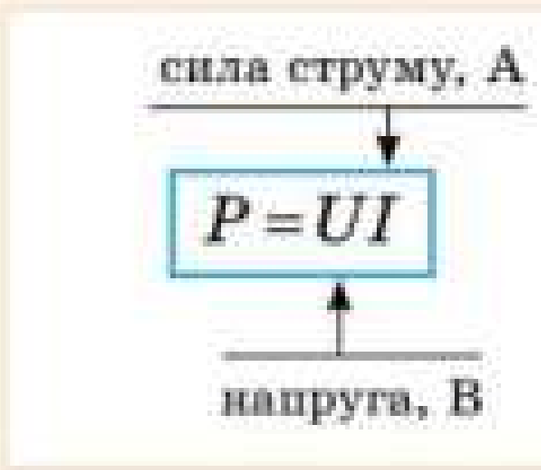
Закон Ома



Робота струму, Дж



Потужність струму, Вт



Закон Джоуля — Ленца

Видавництво «Ранок»

ФІЗИКА

Підручник для 8 класу
закладів загальної середньої освіти

8

Підручник вирізняє наявність таких матеріалів:

- тексти та ілюстрації для мотивації навчальної діяльності
- алгоритми розв'язання основних типів фізичних задач
- приклади практичного застосування фізики
- покрокові описи лабораторних робіт
- експериментальні завдання і дослідження
- завдання для розвитку критичного мислення
- вправи для самоперевірки
- тематичне узагальнення і систематизація матеріалу
- теми експериментальних досліджень і проєктів
- відомості про досягнення фізики й техніки в Україні

Інтерактивний електронний додаток дозволить:

- здійснити онлайн-тестування за кожною темою
- унаочнити фізичний дослід або процес за допомогою навчальних відео
- ознайомитися з додатковими відомостями

Видавництво «Ранок»