НОВА
УКРАЇНСЬКА
ШКОЛА

Фізика

ПІДРУЧНИК 8 клас

а|академія

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

Фізика

ПІДРУЧНИК

для 8 класу
закладів загальної
середньої освіти

РЕКОМЕНДОВАНО
Міністерством освіти
і науки України

Київ
Видавничий центр «Академія»
2025

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

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

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

Шановні восьмикласники та восьмикласниці!

Ви продовжуєте мандрівку чарівним світом фізики — однієї з найцікавіших та найдавніших наук про природу, яка ґрунтується на наукових фактах.

Фізика — наука точна та експериментальна, тому під час її вивчення ви будете самостійно проводити досліди і спостереження, навчитеся робити вимірювання та обчислення за фізичними формулами, аналізувати і будувати графіки, розв'язувати фізичні задачі.

Фізика допоможе вам пояснити явища природи: утворення краплинок роси на траві, сивий туман над рікою, перші весняні грози та блискавки, тепло від багаття в морозяну ніч, химерні малюнки на замерзлому вікні, танення льодових фігурок від перших сонячних променів, одягання тваринами теплих «шуб» на зиму, здатність морського ската виробляти електричний розряд напругою від 8 В до 220 В для самозахисту та полювання на здобич, перетворення сонячної енергії на світлову. А розуміння цих явищ допоможе вам пізнавати світ навколо себе. Знання виникає з досвіду, решта — лише інформація.

Для глибшого розуміння матеріал підручника поділено на розділи та параграфи, які містять життєві ситуації, історичні факти, інформацію про різні фізичні явища, процеси, закони, приклади застосування фізичних знань у побуті, завдання для проведення експериментів у школі та вдома, приклади розв'язування задач.

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

Доступ до відеоматеріалів і завдань для самоперевірки можна отримати через QR-код та покликання. Параграфи, до яких розроблено відеоматеріали, позначені піктограмою «Скануйте».

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

Умовні позначення рубрик

Мотивація

Дізнайтеся про...

Поміркуйте і дайте відповідь

Запам'ятайте

Перевірте себе

Обдумайте, змоделюйте, зробіть...

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Скануйте

Пригадайте вивчене

До підручника на платформі ВШО створено е-додаток (https://lms.e-school.net.ua/courses/course-v1:UIED+8thPhy03+2024/course/ — з реєстрацією), на якому розміщено підручник в електронному вигляді, тестові завдання для самоперевірки, діагностувальні роботи до кожного розділу, відеоматеріали, матеріали для вчителя. Деякі матеріали з нього розміщені на https://f8.academiabook.club/ (у вільному доступі).

е-додаток

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

З повагою
авторський колектив

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

1. Загальні вимоги безпеки

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

2. Вимоги безпеки перед початком роботи

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

3. Вимоги безпеки під час роботи

3.1. Не переходьте від одного робочого місця до другого без потреби.
3.2. Працюючи з приладами зі скла, будьте особливо обережні. Користуйтеся мензурками, колбами, які мають оплавлені краї. Перевірте, чи немає тріщин на пробірці, мензурці. Не допускайте механічних ударів скляного посуду.
3.3. У разі пошкодження скляного посуду не збирайте уламки скла незахищеними руками. Користуйтеся щіткою і совком.
3.4. Не пробуйте на смак рідини, які використовуєте в дослідах, не допускайте їх розливання на робочий стіл.
3.5. Не беріть прилади та посудину з гарячою рідиною незахищеними руками з метою запобігання опіку.
3.6. Обережно поводьтеся із запаленою спиртівкою та сірниками, щоб не одержати опіків і не викликати пожежі.
3.7. Стежте, щоб на сухий спирт не потрапила вода, бо при запалюванні він буде розтріскуватися і розлітатися в різні боки, що може спричинити опіки. Гасіть сухий спирт за допомогою спеціального ковпачка або металевого стакана від калориметра.

3.8. Не нахиляйтеся над полум'ям і посудиною з киплячою водою.
3.9. Склавши коло, уважно перевірте надійність кріплень провідників.
3.10. Правильно вмикайте прилади: амперметр — послідовно, вольтметр — паралельно, дотримуйтеся полярності («+», «–»), вказаної на них. Джерело струму вмикайте в електричне коло в останню чергу.
3.11. Не доторкайтесь до елементів кола, що перебувають під напругою і не мають ізоляції.
3.12. Не виконуйте перемикань у колі при ввімкненому джерелі живлення.
3.13. Виявивши несправність в електричних пристроях, що перебувають під напругою, негайно вимкніть джерело струму і повідомте про це вчителя/вчительку.
3.14. Дотримуйтеся правил експлуатації вимірювальних приладів. Під час проведення дослідів не допускайте граничних навантажень вимірювальних приладів. Користуйтеся приладами лише за призначенням.
3.15. Під час користування реостатом не виводьте повзунок у положення короткого замикання.
3.16. Дотримуйтеся правил безпеки в роботі з екранними пристроями.

4. Вимоги безпеки після закінчення роботи

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

5. Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

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

Інформаційна мапа вивченого в 7 класі

Швидкість

$[v]$ — $\frac{\text{м}}{\text{с}}$

$$v = \frac{S}{t}$$

спідометр

Шлях

$[S]$ — м

$$S = vt$$

рулетка, вимірювальна стрічка

Час

$[t]$ — с

$$t = \frac{S}{v}$$

секундомір

Маса

$[m]$ — кг

$$m = \rho V$$

терези

Об'єм

$[V]$ — м^3

$$V = \frac{m}{\rho}$$

мензурка

Густина

$[\rho]$ — $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

$$\rho = \frac{m}{V}$$

ареометр

Сила тяжіння

$[F_{тяж}]$ — Н

$$F_{тяж} = mg$$

$g = 10 \frac{Н}{кг}$

динамометр

Вага тіла

$[P]$ — Н

$$P = mg$$

динамометр

Сила Архімеда

$[F_а]$ — Н

$$F_а = \rho_р g V_т$$

динамометр

Тиск твердого тіла

$[p]$ — Па

$$p = \frac{F}{S}$$

$[S]$ — $м^2$ — площа основи

Тиск рідини

$[p]$ — Па

$p = \rho g h$

$[h]$ — м — висота стовпа рідини

манометр

Атмосферний тиск

$[p_{атм}]$ — мм рт.ст.

$p = \rho g h$

$p_{атм} = 760$ мм рт.ст. $\approx$ ≈ 100 кПа

барометр

Механічна робота

$[A]$ — Дж

$$A = FS$$

$$A = Nt$$

Потужність

$[N]$ — Вт

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

$$N = Fv$$

Енергія

$[E]$ — Дж

кінетична

$$E_к = \frac{mv^2}{2}$$

потенціальна

$$E_п = mgh$$

Повна механічна енергія

$$E = E_к + E_п$$

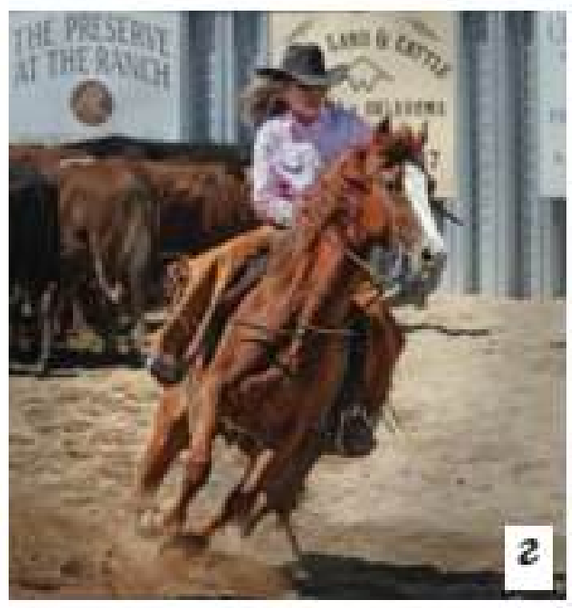
Перевірте себе

І. Яку фізичну величину ви могли б охарактеризувати, розглянувши кожен малюнок? Заповніть таблицю за поданим нижче зразком, уникаючи повторення фізичних величин.

а

б

в


г

д

е

є

ж

Мал.1.

Малюнок	Фізична величина	Одиниця вимірювання в СІ	Формула
а	маса	кг	$m = \rho V$
б			
в			
г			
д			
е			
є			
ж			

II. На території півострова Індостан живе слон Маві. Він справжній велетень. Його маса становить 4 т, а зріст — 2,8 м. Одного разу, покинувши домівку, Маві помандрував до океану. Ішов він зі швидкістю 6 км/год. Здолавши 3 км вздовж річки Крішна, опинився на піщаному березі Бенгальської затоки теплого Індійського океану. На піску залишилися сліди від його стопи площею 1700 см^2. Вода манила Маві своїм блиском, і він зайшов у неї на глибину 1 м. Набравши в хобот 8 л води, почав себе поливати зверху. Але цього йому було замало, і він, цілком занурившись у воду та виставивши хобот, упевнено поплив уздовж берега зі швидкістю 3,6 км/год (мал. 2). Наплававшись удосталь, Маві повернувся на берег у те саме місце і, задоволений мандрівкою, попрямував додому.

Мал. 2.
Слон пливе

Визначте:

- масу слона в одиницях СІ;
- силу тяжіння, яка діє на нього;
- вагу слона;
- скільки часу він ішов до узбережжя океану в одиницях СІ;
- тиск, який Маві чинив на пісок;
- тиск води на глибині 1 м;
- масу води, яка поміщається в хоботі слона;
- кінетичну енергію Маві під час плавання;
- шлях, який пройшов слон суходолом за час своєї подорожі;
- його переміщення за час цієї подорожі.

III. Оберіть правильну відповідь.

1. Як лисиця використовує великий пухнастий хвіст під час бігу?

А) Як віник для замітання своїх слідів
Б) Як кермо, що дає змогу робити круті повороти
В) Як віяло для охолодження
Г) Як важіль для рівноваги

2. Чим зумовлена течія води в річці?

А) Гравітацією Землі
Б) Впливом Місяця
В) Наявністю води
Г) Впливом Сонця

3. Крокодили іноді ковтають камінці, маса яких становить приблизно 1 % від маси їхнього тіла. Для чого вони це роблять з точки зору фізики?

А) Для перетирання їжі
Б) Для збільшення виштовхувальної сили
В) Камінці є баластом
Г) Це стається випадково

4. Під час запуску зондів на велику висоту куля заповнюється газом частково. Чому на великій висоті вона округлюється і навіть може тріснути?

А) З висотою атмосферний тиск збільшується, а внутрішній не змінюється
Б) З висотою атмосферний тиск збільшується, а внутрішній зменшується
В) З висотою атмосферний тиск зменшується, а внутрішній дедалі більше його переважатиме
Г) З висотою атмосферний тиск не змінюється, а внутрішній збільшується

5. Чому підошви лап білого ведмедя вкриті довгою жорсткою щетиною?

А) Для зменшення сили тертя
Б) Для збільшення сили тертя
В) Для збільшення його ваги
Г) Для кращого полювання на рибу

6. Яким законом фізики можна пояснити прислів'я «Не вчи рибу плавати»?

А) Законом Гука
Б) Законом Архімеда
В) Законом збереження механічної енергії
Г) Законом всесвітнього тяжіння

Кількість теплоти

§ 1. Тепловий рух. Тепловий стан тіла і температура. Теплова рівновага. Термометри. Температурні шкали

Марічка зі Львова дружить із Джоном із Сан-Франциско. Вони обоє вирощують кактуси й часто обмінюються інформацією про те, як доглядати за рослинами. Як з'ясувалося, поливати кактуси взимку не потрібно взагалі, за винятком епіфітних кактусів. Найголовніше правило поливання кактусів — краще недолити, ніж перелити. Джон порадив Марічці поливати рослини раз на два тижні м'якою водою, температура якої 75 градусів. Марічка замислилася. Вода закипає за температури 100 °С. Якщо полити кактуси такою гарячою водою, як порадив Джон, то вони «зваряться». Що робити? Давайте розберемося, у чому річ.

Дізнайтеся про...

- тепловий рух;
- тепловий стан тіла та його температуру;
- теплову рівновагу та вимірювання температури;
- види термометрів та температурні шкали.

1. Тепловий рух

З курсу фізики 7 класу ви вже знаєте, що всі тіла складаються з частинок (молекул, атомів), які безперервно хаотично рухаються та перебувають у постійній взаємодії. Відомо вам також, що із швидкістю їх руху пов'язана температура.

Тепловий рух — безладний рух частинок, з яких складаються тіла.

У ньому бере участь одночасно багато частинок, які рухаються безладно з різними швидкостями. Що швидше вони рухаються, то вища температура тіла.

Пісок у пустелі — гарячий, Чорне море влітку — тепле, морозиво — холодне, а в Антарктиді лід дуже холодний. Проте словами тепловий стан тіл ми характеризуємо дуже приблизно. Для точнішого визначення ступеня нагрітості використовують фізичну величину — ***температуру***.

2. Температура і теплова рівновага

Чи задумувалися ви над тим, що, закупивши продукти в магазині, ми розкладаємо їх удома в різні місця? Одні поміщаємо в холодильник, інші — у морозильну камеру, а якісь — на різні полички в кухні. На запитання «Чому так?» відповідь можна знайти, прочитавши написи на упаковках продуктів, де зазначено їхню температуру зберігання. Наприклад,

молоко потрібно зберігати за температури (4 ± 2) °С; морозиво — не вище мінус 18 °С; крупу манну — за температури не вище 25 °С.

Якщо з холодильника взяти холодний сік і налити в склянку, то через певний проміжок часу він стане тепліший і його температура буде такою ж, як температура повітря у приміщенні. Процес вирівнювання температур тіл, які перебувають у контакті між собою, триває до настання ***стану теплової рівноваги***.

Теплова рівновага — стан, у якому тіла, що перебувають у контакті, мають однакову температуру.

Температура — фізична величина, що характеризує стан теплової рівноваги системи тіл і є мірою середньої кінетичної енергії руху частинок, з яких це тіло складається.

Температуру в побуті позначають символом t і вимірюють у ***градусах Цельсія*** (°С).

У системі СІ температуру позначають символом T і вимірюють у ***кельвінах*** (К). Шкала Кельвіна починається з абсолютного нуля — 0 К, що відповідає температурі −273 °С. Вважають, що за абсолютного нуля припиняється хаотичний рух частинок. Для переведення температури зі шкали Цельсія у шкалу Кельвіна використовують формулу $T = t + 273$.

Поміркуйте і дайте відповідь

1. У якої дитини молекули тіла рухаються швидше — здорової чи застудженої?
2. Одна молекула кисню в повітрі рухається в певний момент зі швидкістю 800 м/с, а друга — 1000 м/с. Чи правильно стверджувати, що температура другої молекули вища?

3. Термометри та температурні шкали

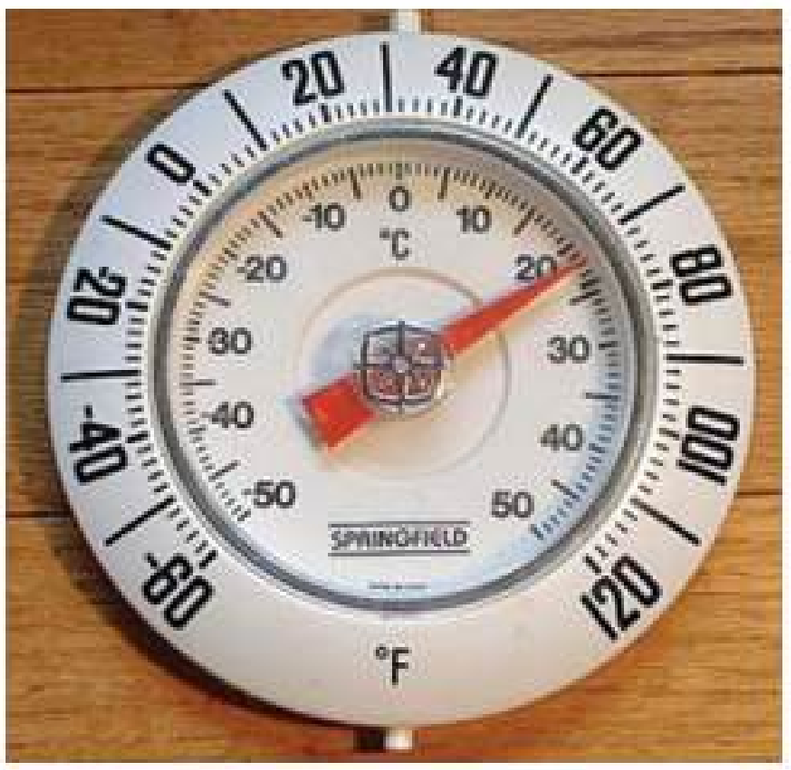
Вимірювати тепловий стан тіл почав Галілео Галілей. У 1597 році він продемонстрував на своїх лекціях перший термометр, точніше — термоскоп (мал. 1.1). Цей прилад складався з тонкої скляної трубки, один кінець якої закінчувався кулею, а другий відкритим кінцем занурений у посудину з підфарбованою водою. Термометр Галілея не був досконалим — він не мав температурної шкали, а принцип дії залежав від атмосферного тиску.

Мал. 1.1. Термоскоп Галілея

Перший справжній термометр для практичних цілей виготовив майстер-склодув з Нідерландів Габрієль Фаренгейт на початку XVIII ст. Опираючись на відомі дані, що лід тане, а вода кипить завжди за однієї й тієї ж температури, він запропонував шкалу, на якій за нульову точку прийняв температуру соляного розчину

(лід, вода і кухонна сіль) — 0 °F (−17,78 °C). Друга точка 32 °F (0 °C) була точкою плавлення льоду, а третя точка 212 °F (100 °C) — точка кипіння води (мал. 1.2). Нормальна температура людського тіла за його шкалою становила 96 °F.

Крім шкали Фаренгейта, у наш час використовують шкалу, запропоновану шведським астрономом Цельсієм. За нею реперними точками є: 0 °C — температура плавлення льоду і 100 °C — температура кипіння води, але за нормального атмосферного тиску. ***Реперні точки*** (від франц. «знак», «початкова точка») — це точки, на яких ґрунтується шкала вимірювань.



Мал. 1.2.
Термометр зі шкалою Фаренгейта (позначено на зовнішній частині корпуса) і Цельсія (позначено всередині)

Для переведення температури із шкали Фаренгейта у шкалу Цельсія можна скористатися формулою:

$$t(^\circ\mathrm{C}) = \frac{t(^\circ\mathrm{F}) - 32}{1{,}8}.$$

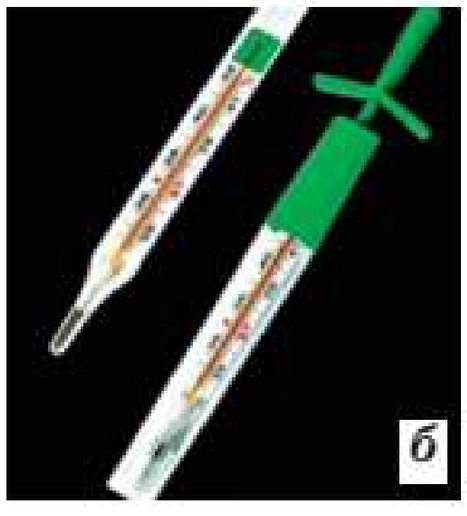
Поміркуйте і дайте відповідь

1. Якої температури у градусах Цельсія має бути вода для поливання кактусів за рекомендацією Джона (дивись початок параграфа)?

4. Види термометрів

Сфера застосування термометрів дуже широка. Їх використовують у медицині, метеорології, сільському господарстві, агрономії, будівництві, у побуті, під час ремонтних робіт у різних галузях тощо.

Найчастіше використовують ***медичні рідинні термометри*** (ртутний та безртутний, заповнений галінстаном, а саме сплавом металів галію, індію, олова і цинку) (мал. 1.3, *а*; 1.3, *б*) і ***цифрові термометри*** (мал. 1.4).



Мал. 1.3. Термометр медичний:
а — ртутний; *б* — безртутний

Мал. 1.4. Термометр медичний цифровий

Оскільки Україна приєдналася до Мінаматської конвенції про ртуть, то згідно з документом (закон № 0199), підписаним Президентом України, з 1 січня 2024 року припинено виробництво, імпорт та експорт продукції, що містить ртуть. Тепер під заборону потрапляють і ртутні термометри.

Приклади побутових термометрів: лабораторний (мал. 1.5), віконний (мал. 1.6), кімнатний, водний, кулінарний (мал. 1.7).

Мал. 1.5. Термометр лабораторний

Мал. 1.6. Термометр віконний

Мал. 1.7. Термометр кулінарний

Запам'ятайте

Тепловий рух — безладний рух частинок, з яких складаються тіла.

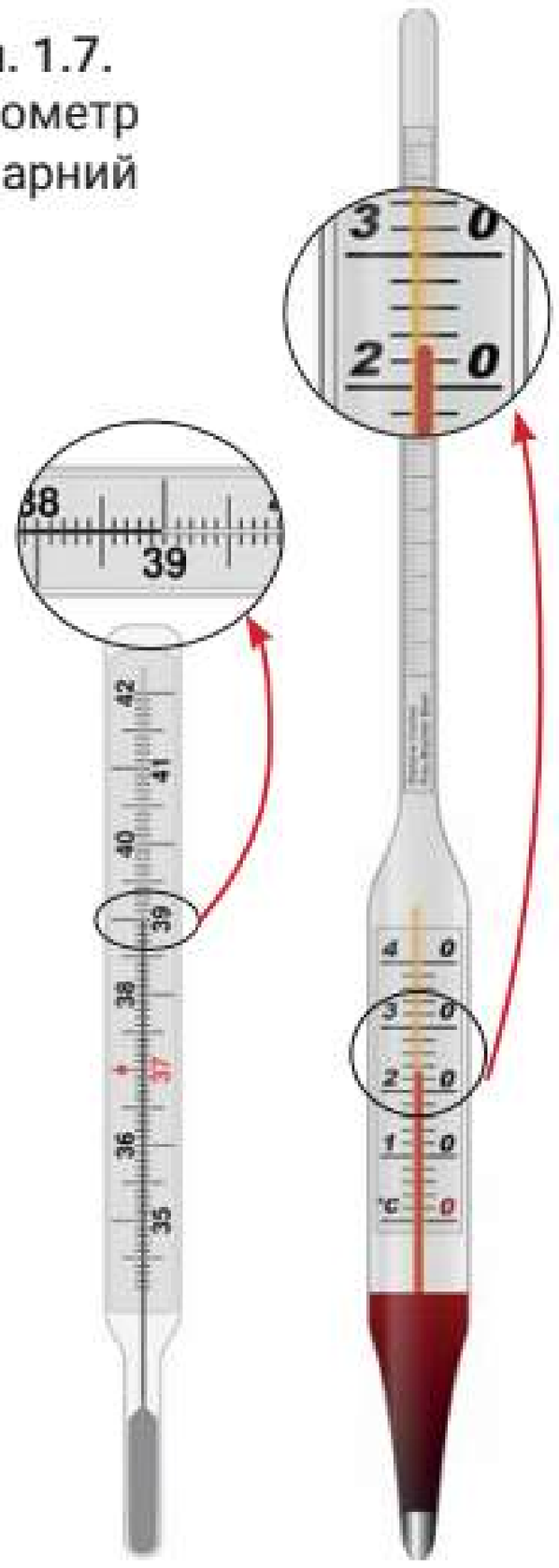
Теплова рівновага — стан, у якому тіла, що перебувають у контакті, мають однакову температуру.

Температура — фізична величина, що характеризує стан теплової рівноваги системи тіл і є мірою середньої кінетичної енергії руху частинок, з яких це тіло складається.

Перевірте себе

1. Розгляньте термометри, зображені на мал. 1.8 (*а*, *б*). Визначте:
   - найвищу і найнижчу температури, які ними можна виміряти;
   - ціну поділки кожного термометра;
   - температуру, яку вони показують.

   Яке призначення кожного із цих термометрів?
2. Для чого, вимірюючи температуру тіла, пацієнт тримає термометр під пахвою протягом 5 хвилин?



а *б*

Мал. 1.8. Термометри

3. Скориставшись написами на етикетках продуктів, які є у вас удома, заповніть табличку.

Таблиця 1

№ з/п	Назва продукту	Температура зберігання	Місце зберігання
			холодильник
			морозильна камера
			поличка у кухні

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Тепловий рух	Thermal motion
Температура	Temperature
Теплова рівновага	Thermal equilibrium

§ 2. Теплове розширення твердих тіл, рідин та газів

Матвій і Юстина разом з батьками чекали на пероні потяг, щоб поїхати в гості до бабусі. Діти помітили, що залізничні рейки не суцільні, а мають проміжки в місцях з'єднання. Тато усміхнувся і сказав, що це зроблено навмисно. А мама додала, що в школі вони це будуть вивчати і що таке саме явище лежить в основі роботи рідинного термометра. Для чого це роблять? Як працює термометр? Про це ви довідаєтеся в цьому параграфі.

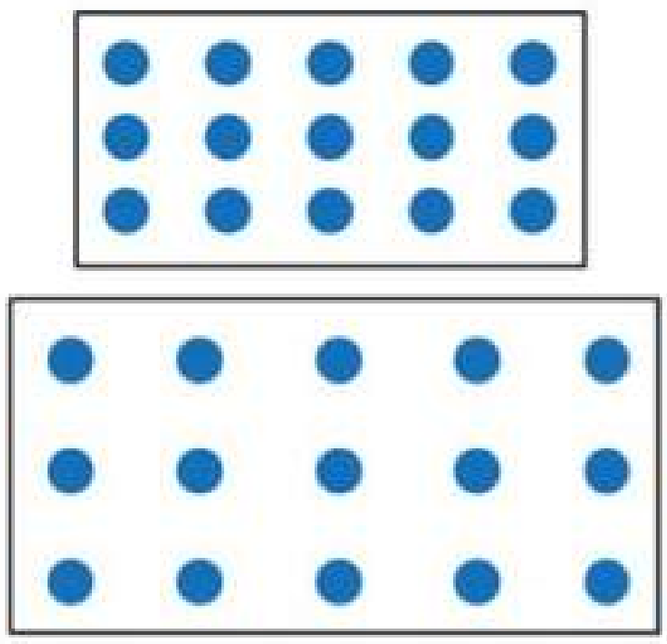
Дізнайтеся про...

- теплове розширення тіл;
- теплове розширення навколо нас.

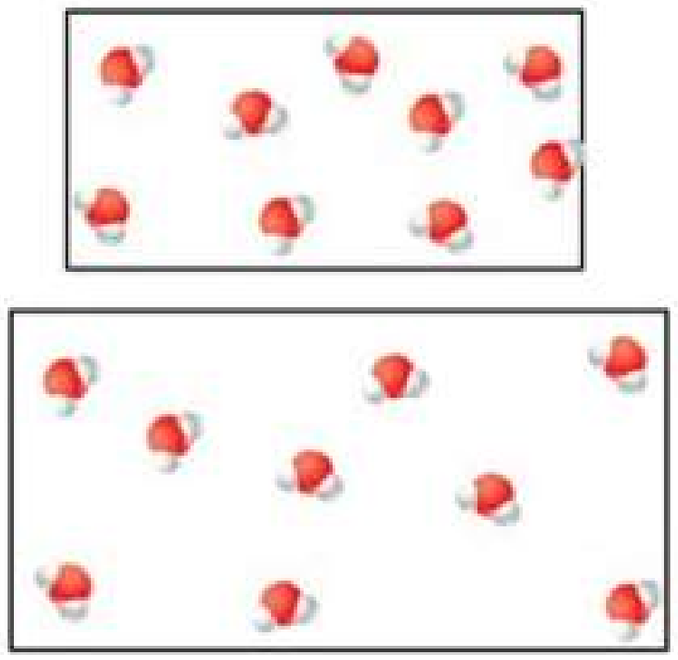
1. Теплове розширення твердих тіл, рідин та газів

Ми знаємо, що молекули та атоми постійно рухаються і взаємодіють між собою. Під час нагрівання тіла швидкість руху частинок зростає, відстані між ними збільшуються, а отже, вони займають більший простір. У результаті розміри тіла збільшуються — тіло розширюється

(мал. 2.1, 2.2). У разі охолодження тіла — навпаки, швидкість зменшується і тіла стискаються.



Мал. 2.1.
Зміна положення частинок твердого тіла при розширенні

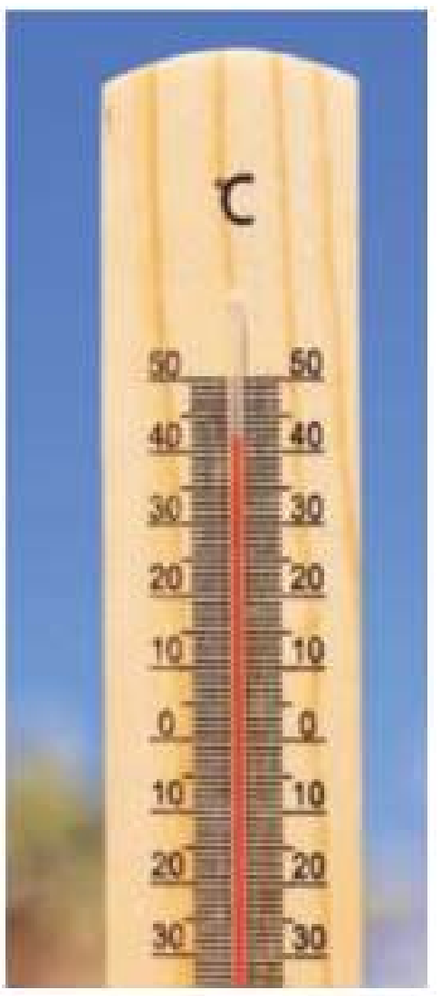


Мал. 2.2.
Зміна положення частинок газу (водяної пари) при розширенні

Процес розширення та стискання відбувається в газах, рідинах і твердих тілах. Найбільше під час нагрівання розширюються гази, менше — рідини, а найменше — тверді тіла. Винятком серед рідин є вода, яка під час замерзання розширюється.

Термометр (мал. 2.3) — це прилад, принцип роботи якого ґрунтується на тепловому розширенні рідини, що міститься в тоненькій скляній трубці. Під час нагрівання вона, розширюючись, піднімається по трубці. У разі охолодження рідина стискається і повертається в попередній стан.

Величина розширення залежить від розмірів тіл, матеріалу, з якого вони виготовлені, і зміни температури. Великі тіла розширюються значно більше, ніж малі. Наприклад, сталеві рейки довжиною 100 м у жаркий день можуть видовжитися на 4 см.



Мал. 2.3.
Термометр

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Чому під час концерту на сцені гітаристи часто налаштовують свої гітари?
2. Висота Ейфелевої вежі коливається аж на 12 сантиметрів. Чим це зумовлено?

2. Теплове розширення навколо нас

У холодних широтах або високо в горах породи руйнуються через низькі температури. Удень вода потрапляє в тріщини, замерзає вночі,

і через збільшення об'єму льоду тріщина поглиблюється. Наступного дня лід тане, вода просочується глибше й знову замерзає вночі (мал. 2.4).

Подібний процес відбувається в жарких кліматичних широтах. Нагріті до високих температур гірські породи збільшують свій об'єм удень і зменшують уночі. Навіть дуже міцний граніт руйнується від постійної зміни температур.

Явище теплового розширення враховують під час прокладання трамвайних і залізничних колій. У спекотний день вони можуть нагріватися до 70 °С і відповідно видовжуватися. Тому, монтуючи їх, між ними роблять зазори (мал. 2.5). Щоправда, на сучасних магістралях використовують безстиковий спосіб з'єднання.

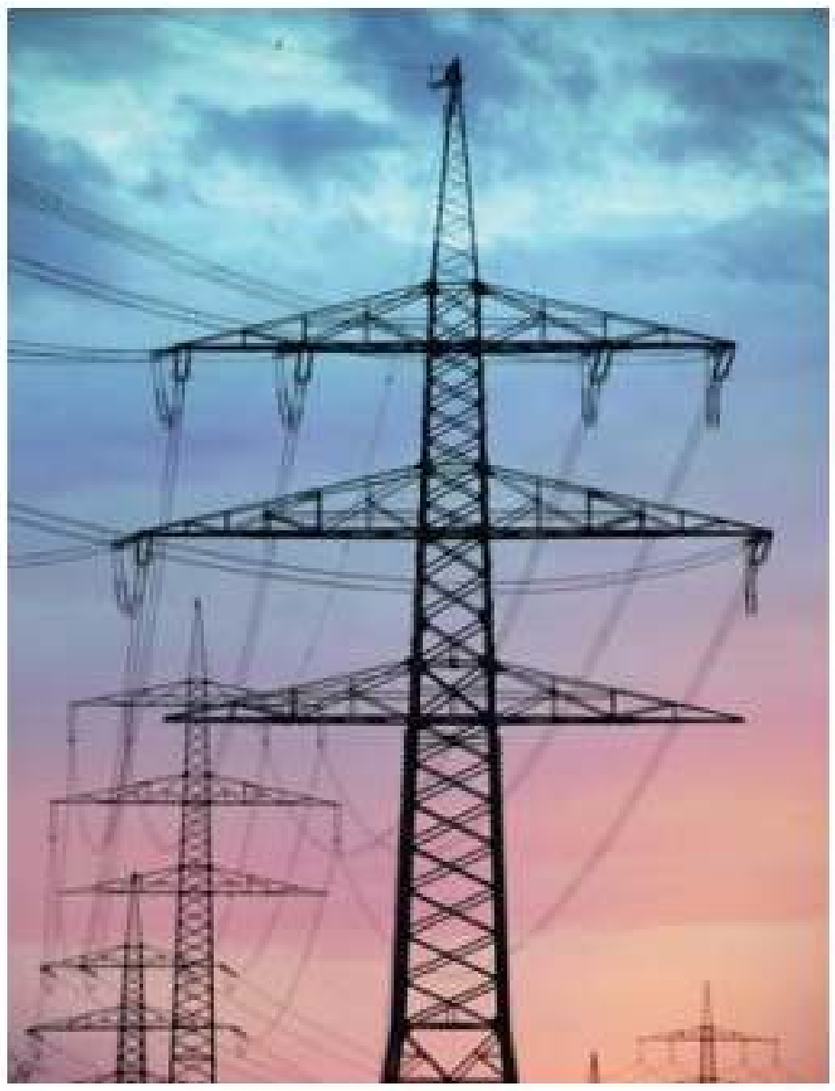
Лінії електропередачі між стовпами натягають не дуже туго, а так, щоб вони провисали. Це для того, щоб дроти не порвались. Узимку, коли температура повітря знижується, дроти стискаються, тобто їх довжина зменшується (мал. 2.6).

Під час будівництва різноманітних споруд, мостів, укладання колій, трубопроводів також обов'язково зважають на теплове розширення твердих тіл.

Транспортуючи рідке паливо (нафту, бензин) з північних районів до південних,

Мал. 2.4.
Руйнування гір

Мал. 2.5.
Зазори між рейками



Мал. 2.6.
Лінії електропередач

Мал. 2.7.
Транспортування рідкого палива

цистерни не заповнюють до самого верху, бо теплове розширення збільшить об'єм палива, хоча маса його не зміниться (мал. 2.7). З такої самої причини не наливають у пляшки по вінця напої.

Запам'ятайте

Зі зміною температури змінюються розміри тіл.

Величина розширення залежить від розмірів тіл, матеріалу, з якого вони зроблені, і зміни їхньої температури.

Перевірте себе

1. Чи правильним є твердження, що під час нагрівання тіло збільшує свої розміри, бо збільшуються розміри його молекул? Чому?
2. Яким термометром (ртутним чи спиртовим) краще вимірювати температуру повітря взимку за Полярним колом? Поясніть.
3. Чому колеса потягів під час руху стукають?
4. У яку пору року лінії електропередач провисають найбільше? Чому?
5. Надуту повітряну кульку взимку принесли з вулиці в теплу кімнату. Через деякий час її об'єм змінився. Збільшився чи зменшився? Чому?

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Теплове розширення	Thermal expansion
Теплове стискання	Thermal contraction

§ 3. Внутрішня енергія. Способи зміни внутрішньої енергії. Теплопровідність. Конвекція. Випромінювання

Матвій і Юстина відпочивали влітку в селі в бабусі. Їм дуже сподобався лимонад, яким вона частувала їх із глиняного глечика. Хоча на вулиці стояла спека, він був завжди холодний. Бабуся приносила його з погреба, звідки віяло прохолодою. Цікаво чому?

Дізнайтеся про...

- внутрішню енергію тіла;
- способи зміни внутрішньої енергії тіла.

1. Внутрішня енергія тіла

З курсу фізики 7 класу вам відомо, що рухомі фізичні тіла мають кінетичну енергію, а тіла або частини тіла, що взаємодіють між собою, — потенціальну енергію.

Оскільки частинки, з яких складається тіло, теж рухаються (здійснюють тепловий рух) і взаємодіють між собою, то вони мають і кінетичну, і потенціальну енергії.

Внутрішня енергія тіла — сума кінетичних енергій руху молекул і потенціальних енергій їх взаємодії.

Оскільки рух молекул безперервний, тобто ніколи не припиняється, то внутрішню енергію тіло має завжди (незалежно від механічного руху тіла, його положення відносно інших тіл), а механічної енергії може не мати. Що швидше рухаються молекули, то вища температура тіла, а отже, більша внутрішня енергія.

Внутрішню енергію тіла можна змінити за допомогою теплопередачі (теплообміну) та виконання механічної роботи.

Якщо наповнити гарячою водою холодну чашку, то вона нагріється. А якщо опустити в неї ложечку, то нагріється і вона. Теплова енергія від більш нагрітого тіла (води) передається менш нагрітим тілам (чашці, ложці) (мал. 3.1) без перенесення самої речовини. Внутрішня енергія води зменшилася, а ложечки і чашки збільшилася внаслідок ***теплопередачі***, або ***теплообміну***.

Мал. 3.1.
Передача теплової енергії від гарячого чаю до чашки та ложки

Теплопередача (теплообмін) — процес зміни внутрішньої енергії тіла без виконання роботи.

2. Види теплопередачі

Літо — це період дозрівання різних ягід і плодів, з яких можна приготувати варення. Цей процес вимагає постійного перемішування суміші фруктів із цукром. Для цього використовують дерев'яну ложку, а не звичайну металеву. Чому? У металах частинки розташовані дуже щільно і здійснюють коливальний рух. Коли частина ложки, занурена в гарячу суміш, отри-

мує тепло, то швидкість коливань її частинок збільшується. Температура цього кінця ложки підвищується. Унаслідок взаємодії та передачі енергії ланцюжком збільшується швидкість руху сусідніх частинок і ложка поступово нагрівається. З часом вона настільки нагріється, що її важко буде тримати в руках. ***Проте ніякого перенесення речовини не відбувається.***

Деревина теж складається з частинок, але між ними є багато молекул повітря. Оскільки відстані між молекулами газів значно більші, ніж між частинками твердих тіл, процес передачі енергії від частинки до частинки відбувається дуже повільно. Тому дерев'яна ложка майже не нагрівається.

Життєвий досвід підказує, що гаряче металеве деко (мал. 3.2) з духовки можна виймати лише за допомогою спеціальної полотняної рукавички або рушника, бо деко легко нагрівається, а рукавичка та рушник значно слабше.

Теплопровідність — це вид теплопередачі, під час якого відбувається передавання енергії від більш нагрітих частин тіла до менш нагрітих унаслідок теплового руху і взаємодії частинок.

Мал. 3.2.
Приклад теплопровідності

Метали добре передають тепло, рідини, за винятком розплавлених металів, — гірше, а найменше передають тепло — гази.

Речовини, які погано передають тепло, використовують у побуті для теплоізоляції. Теплоізоляторами є пінопласт, мінеральна вата, повітря, ворсисті тканини та хутро, цегла, деревина та інші пористі тіла.

Конвекція — передавання енергії потоками рідини або газу.

Повітря у приміщеннях нагрівають за допомогою теплої підлоги або різноманітних приладів, які встановлюють у нижніх частинах приміщення. Це пов'язано з тим, що повітря над нагрівальними приладами нагрівається, розширюється, а його густина зменшується. Разом із розширенням цього теплого повітря зростає виштовхувальна сила, яка діє на нього з боку холоднішого повітря, і вона стає більшою за силу тяжіння. Тож тепле повітря піднімається вгору конвекційним потоком, а на його місце «приходить» холодне.

Мал. 3.3.
Приклад конвекції

У такий самий спосіб нагрівається вода в чайнику. Теплі шари (конвекційні потоки)

виштовхуються холодними шарами води вгору, і тому вода рівномірно прогрівається. За таким самим принципом можна пояснити провітрювання приміщень (мал. 3.3). Отже, ***перенесення енергії відбувається за допомогою перенесення речовини.***

Гріючись біля вогнища (мал. 3.4), ми відчуваємо тепло. Як відбувається передавання енергії від вогнища? Між нами і багаттям — повітря, теплопровідність якого дуже мала. Конвекційні потоки завжди піднімаються вгору, а ми сидимо поруч. Отже, ***це інший вид теплопередачі, який відбувається у всіх можливих напрямках без перенесення речовини.***

Мал. 3.4.
Приклад теплового випромінювання

Випромінювання — передавання енергії електромагнітними хвилями у вакуумі чи середовищі.

Теплову енергію випромінюють усі тіла, що мають температуру, вищу за абсолютний нуль (−273 °С). Чим вища температура тіла, тим більше енергії передає внаслідок випромінювання.

Люди, тварини, рослини, автомобілі, стіни будинків, зорі випромінюють тепло. Темні тіла краще поглинають теплове випромінювання і тому сильніше нагріваються. Світлі або дзеркальні — відбивають випромінювання, тому значно слабше нагріваються.

Теплопровідність можлива в газах, рідинах і твердих тілах; конвекція — лише в рідинах і газах. Теплове випромінювання властиве твердим тілам, рідинам, газам та може поширюватися у вакуумі.

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Яке фото горобця (мал. 3.5) зроблено влітку, а яке взимку?

Мал. 3.5.

2. На парті лежать пенал і металева лінійка. Якщо до них доторкнутись, то складеться враження, що лінійка холодніша. Поясніть чому.

3. Чому в південних районах фасади будинків фарбують білим кольором?
4. Кіт Мурчик сидів на шафі та спостерігав, як діти готуються до уроків. Невдовзі йому це набридло, він зіскочив на підлогу і вийшов з кімнати. Чи змінилася його потенціальна енергія? Внутрішня енергія?
5. Літак, що здійснював посадку, володів механічною енергією. Після зупинки на злітній смузі його механічна енергія зникла. А як же закон збереження енергії? Куди вона поділася?
6. Чому термос є теплоізольованою системою?

3. Зміна внутрішньої енергії внаслідок виконання механічної роботи

Первісні люди добували вогонь спочатку тертям, а пізніше за допомогою кременя та кресала. В обох випадках тіла нагрівалися так, що з'являлися іскри. В автомобільних перегонах «Формула-1» пілотам постійно міняють колеса, бо через тертя з дорогою їхні протектори нагріваються і стираються. Якщо ви розпиляєте дерево, а потім торкнетеся полотна пилки, то відчуєте, що воно нагрілося. Для зігрівання рук на холоді ми потираємо їх одна об одну. У всіх наведених ситуаціях збільшується внутрішня енергія тіл. Причиною цієї зміни є ***виконання механічної роботи.***

Отже, ***внутрішню енергію тіла можна змінити теплопередачею та виконанням механічної роботи.***

Запам'ятайте

Внутрішня енергія тіла — сума кінетичних енергій руху молекул і потенціальних енергій їхньої взаємодії.

Теплопередача (теплообмін) — процес зміни внутрішньої енергії тіла без виконання роботи над тілом або самим тілом.

Теплопровідність — це вид теплопередачі, під час якого відбувається передавання енергії від більш нагрітих частин тіла до менш нагрітих унаслідок теплового руху і взаємодії частинок.

Конвекція — передавання енергії потоками рідини або газу.

Випромінювання — передавання енергії електромагнітними хвилями у вакуумі чи середовищі.

Перевірте себе

1. Розпізнайте неправдиву інформацію.

Сніг — поганий теплоізолятор. Повітря між двома шибками є теплоізоляцією. У спекотні дні поверхні доріг так нагріваються, що

можна побачити «тремтіння» повітря, яке відбувається внаслідок конвекції. Для кращого обігріву приміщення рекомендовано радіатори опалення встановлювати у верхній частині кімнати.

2. Чому кучеряве волосся на голові в людей, які живуть в екваторіальному поясі, допомагає їм уберегтися від перегрівання?
3. Для того щоб компот швидше вистиг, мама поклала на кришку каструлі мішечок з льодом. Чи правильно вона зробила? Поясніть.
4. Чому сучасні будинки часто «обшивають» пінопластом?
5. Чи можлива конвекція у твердих тілах? Чому?
6. Розгляньте мал. 3.6 (*а*—*в*). У якому положенні кулінарного газового пальника лід нагріється і розтопиться найшвидше? Чому?

Мал. 3.6.
Нагрівання льоду

Обдумайте, змоделюйте, зробіть...

Складіть власний алгоритм дій для збільшення внутрішньої енергії води в алюмінієвій посудині за допомогою лляної мотузки. Підтвердьте експериментально правильність ваших міркувань.

Дотримуйтеся правил безпеки під час роботи!

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Внутрішня енергія тіла	Internal energy (of an object)
Теплопередача	Heat transfer
Теплопровідність	Thermal (conduction)
Теплоізолятори	Thermal insulator
Конвекція	Convection
Випромінювання	Radiation

§ 4. Сонячне випромінювання та життя на Землі. Приклади теплопередачі в природі й техніці

На кожний квадратний кілометр земної поверхні за рік від Сонця надходить така кількість енергії, як від повного згоряння 400 000 тонн кам'яного вугілля. За півтори доби Сонце дає стільки енергії, скільки електростанції всіх країн світу протягом року. Цікаво?

Дізнайтеся про...

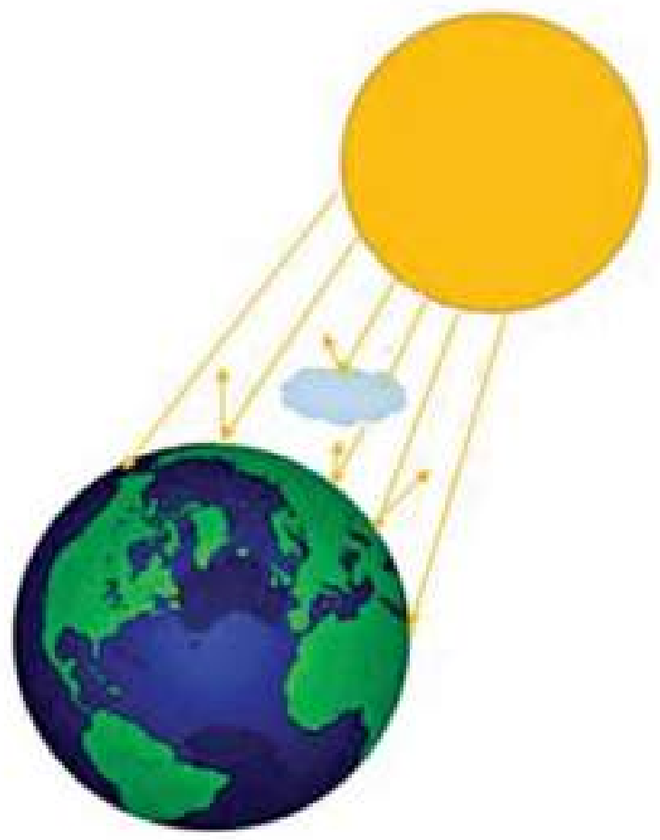
- передавання енергії від Сонця до Землі;
- значення сонячного випромінювання для життя на Землі;
- приклади теплопередачі в природі та техніці.

1. Сонячне випромінювання

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

Випромінювання Сонця досягає Землі, пройшовши крізь безповітряний простір приблизно 150 мільйонів кілометрів. 30 % сонячного випромінювання відбивається атмосферою Землі, а ще 20 % нею поглинається. Лише 50 % енергії Сонця досягає поверхні нашої планети. Таку енергію можуть виробити 170 мільйонів найпотужніших електростанцій нашої планети.

Частина випромінювання відбивається від поверхні Землі. Якби цього не відбувалося, то вона б нагрівалася ще більше. Хмари частково перешкоджають проходженню сонячного випромінювання до Землі і затримують випромінювання тепла від неї (мал. 4.1). Розподіл тепла по земній поверхні не є однаковим. Одні поверхні поглинають і накопичують енергію швидше, а інші — повільніше.



Мал. 4.1. Випромінювання енергії Сонця

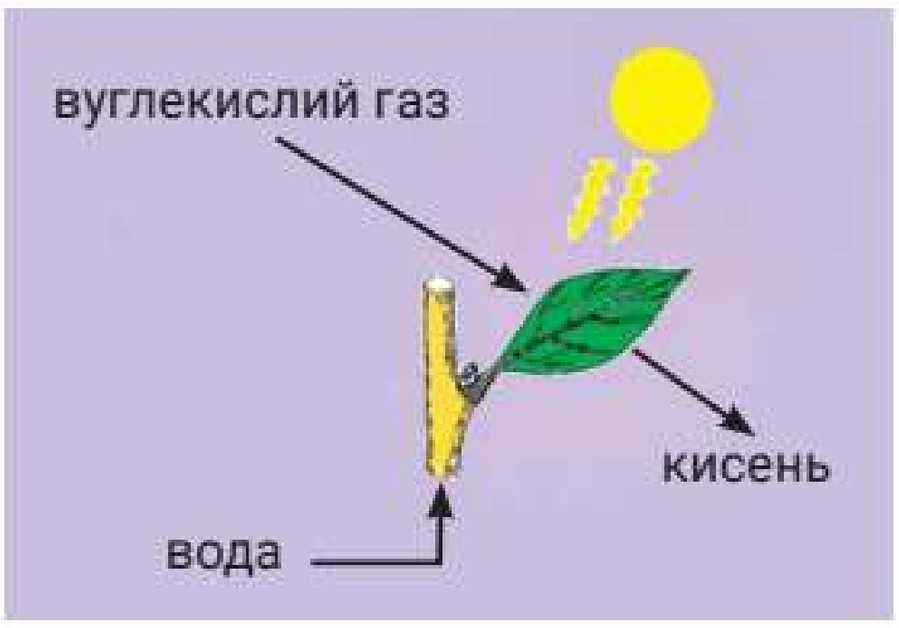
Поміркуйте і дайте відповідь

1. Чому суходіл нагрівається швидше, ніж море, вдень і охолоджується швидше вночі?
2. Чи випромінює теплову енергію кубик льоду?
3. Навіщо літаки фарбують сріблястою фарбою?

2. Сонячне випромінювання та життя на Землі

Без енергії Сонця було б неможливе життя на Землі. Енергія, отримана від Сонця у вигляді тепла та світла, значною мірою впливає на клімат, погоду, на живу й неживу природу.

У зеленому листі рослин під дією світла відбувається фотосинтез (мал. 4.2), унаслідок якого виробляється кисень, потрібний для дихання людям і тваринам.



Мал. 4.2.
Схема фотосинтезу

Слід пам'ятати, що сонячне випромінювання в надмірній кількості несе ризики для людини: сонячні опіки, сонячні удари, теплові ураження. МОЗ України рекомендує уникати перебування на сонці з 11:00 до 16:00.

Під дією сонячного випромінювання утворюється вітамін D, який є важливим для функціонування організму людини. Він сприяє зміцненню імунітету людини, кращому засвоєнню кальцію та фосфору. Оскільки Земля обертається навколо Сонця та одночасно навколо своєї осі, її поверхня та атмосфера прогріваються в різних місцях неоднаково. Це є причиною виникнення вітрів та утворення теплих і холодних течій у морях та океанах. Унаслідок зміни пір року відбуваються сезонні зміни в рослинному світі (опадання листя, відмирання трав'янистого покрову), що спричиняє утворення біомаси, а з часом (протягом тисячоліть) — торфу, кам'яного вугілля, нафти.

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Чому сонячні батареї на штучних супутниках Землі темного кольору?
2. Чому в південних країнах влітку люди носять білий одяг?

3. Приклади теплопередачі в природі й техніці

Чому сніг захищає рослини в ґрунті від вимерзання? Чому взимку носять хутряний одяг? Як зберегти тепло в будинку? Чому в термосі можна зберігати страви і гарячими, і холодними?

Матеріали по-різному проводять тепло. Якщо потрібно швидко передати тепло від одного тіла до іншого, використовують речовини з кращою теплопровідністю. Наприклад, із металів виготовляють радіатори опалення (батареї), каміни, каструлі (мал. 4.3, *а*) тощо. Речовини, які погано проводять тепло, застосовують там, де треба запобігти нагріванню чи охолодженню тіл. Наприклад, дерев'яна підставка, ложка, дерев'яна ручка сковорідки (мал. 4.3, *б*) дають змогу безпечно користуватися гарячими предметами.

Мал. 4.3. Різна теплопровідність матеріалів

Також погано проводять тепло повітря, шерсть, волосся, пір'я, папір, солома, скло, кераміка, рідини й гази. Так, шерсть і товстий прошарок жиру під шкірою захищає тварин від холоду (мал. 4.4, *а*, *б*). Завдяки теплоізоляційним властивостям землі мурахи та інші комахи взимку зариваються глибоко в ґрунт (мал. 4.4, *в*).

Мал. 4.4. Теплопередача в природі

Здавна для збереження тепла наші предки будували житло з глини і соломи. Його називали хата-мазанка (мал. 4.5). Таке житло було типове для мешканців Центральної та Східної України минулого століття.

Мал. 4.5.
Мазанка в Національному заповіднику «Хортиця», Запоріжжя

Мал. 4.6.
Екобудинок (пасивний будинок)

Глиняні стіни можуть накопичувати сонячну енергію вдень і повільно віддавати тепло вночі, бо глина має погану теплопровідність. Тепер стали популярними екобудинки (пасивні будинки) з природних матеріалів (мал. 4.6). Як будівельний матеріал знову використовують глину, дерево, скло, які виконують функцію природного терморегулятора.

Запам'ятайте

Сонячна енергія до Землі, а також до інших планет передається завдяки випромінюванню.

Перевірте себе

1. Проаналізуйте малюнки 4.7 та назвіть усі види теплопередачі, які зображено на них.

Мал. 4.7. Види теплопередачі

2. Як спекотного літнього дня донести додому морозиво?
3. Доповніть інтелект-карту, наведіть приклади способів зміни внутрішньої енергії.

4. Розгляньте мал. 4.8. Використавши додаткові джерела інформації, установіть відповідність між втратами тепла у відсотках та місцем цих втрат. Як, на вашу думку, зменшити ці втрати?

Мал. 4.8. Теплові втрати в будинку

1	Дах
2	Стіна
3	Вікно
4	Двері
5	Підлога

А	≈ 25 %
Б	≈ 18 %
В	≈ 10 %
Г	≈ 30 %
Д	≈ 15 %

1	
2	
3	
4	
5	

§ 5. Кількість теплоти. Питома теплоємність речовини

Одного холодного зимового вечора Шерлок Холмс сидів у своєму кріслі в будинку на Бейкер-стріт та аналізував деталі нової справи. Сухі дрова потріскували в каміні, язики полум'я тягнулися вгору, а тепло від нього огортало тіло детектива. Йому доводилося боротися з дрімотою... А що таке тепло чи теплота?

Дізнайтеся про...

- кількість теплоти;
- залежність кількості теплоти від різних фізичних величин;
- питому теплоємність як характеристику теплових властивостей різних речовин.

1. Кількість теплоти

Природу теплоти вчені не могли пояснити аж до середини XIX ст. Дехто з них вважав, що теплота — це особливий вид матерії, яка зумовлює нагрівання тіл, інші думали, що теплота — це стан руху частинок тіла.

Нині науковці трактують поняття ***теплоти*** як енергетичної характеристики процесу теплопередачі, що визначається кількістю енергії, яку отримує чи віддає тіло під час цього процесу.

Кількість теплоти — енергія, яку отримує чи віддає тіло під час теплопередачі.

Кількість теплоти позначають символом Q. Одиницею вимірювання кількості теплоти в системі СІ є ***джоуль*** (Дж). Використовують й інші частинні та кратні одиниці вимірювання: мДж, кДж, МДж.

1 мДж $= 0{,}001$ Дж 1 кДж $= 1000$ Дж 1 МДж $= 1\,000\,000$ Дж

Є ще позасистемна одиниця вимірювання кількості теплоти — ***калорія*** (**кал**). Це кількість теплоти, необхідна для нагрівання 1 г води на 1 °С.

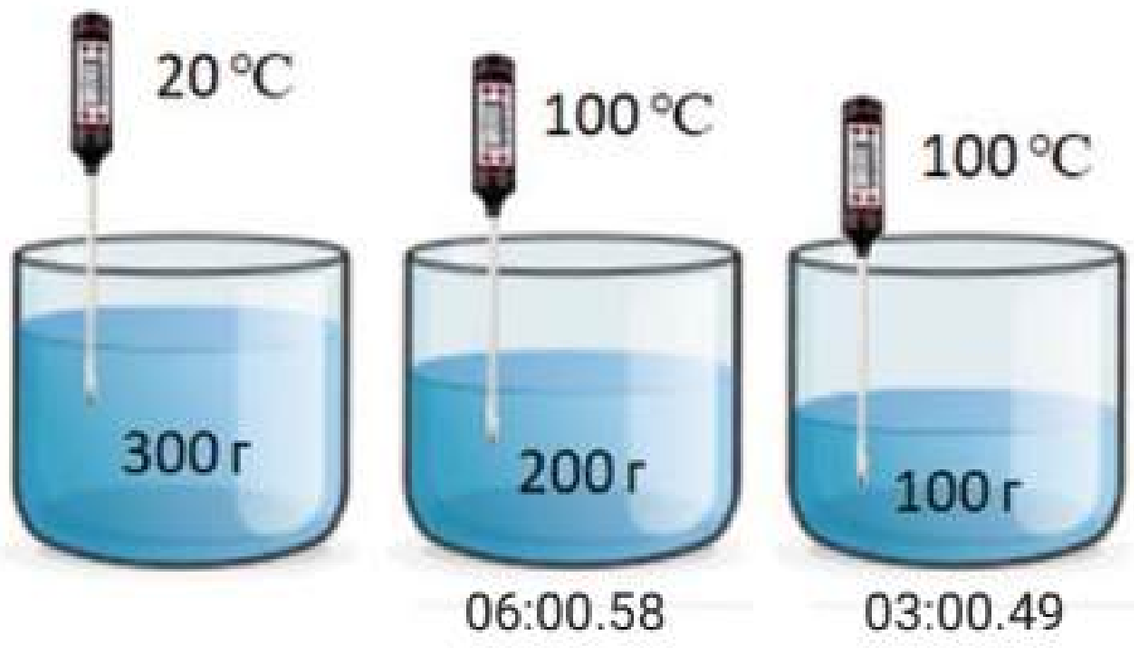
$$1 \text{ кал} \approx 4{,}19 \text{ Дж}$$

2. Залежність кількості теплоти від фізичних величин

З'ясуємо, від чого залежить кількість теплоти, необхідна для нагрівання тіла масою m на основі дослідів, виконаних у лабораторних умовах.

Дослід 1. Візьмемо три однакові посудини. Наллємо в одну з них 300 г води (температура 20 °С). Переллємо її у дві інші посудини так, щоб маса в одній була 100 г, а в другій — 200 г. Нагріватимемо воду в цих посудинах до температури кипіння (100 °С) на однакових нагрівниках. За допомогою секундомірів визначимо час її нагрівання.

Результати вимірювань (мал. 5.1) свідчать про те, що нагрівання більшої маси води триває довше. Отже, і кількість теплоти вона одержує більшу.

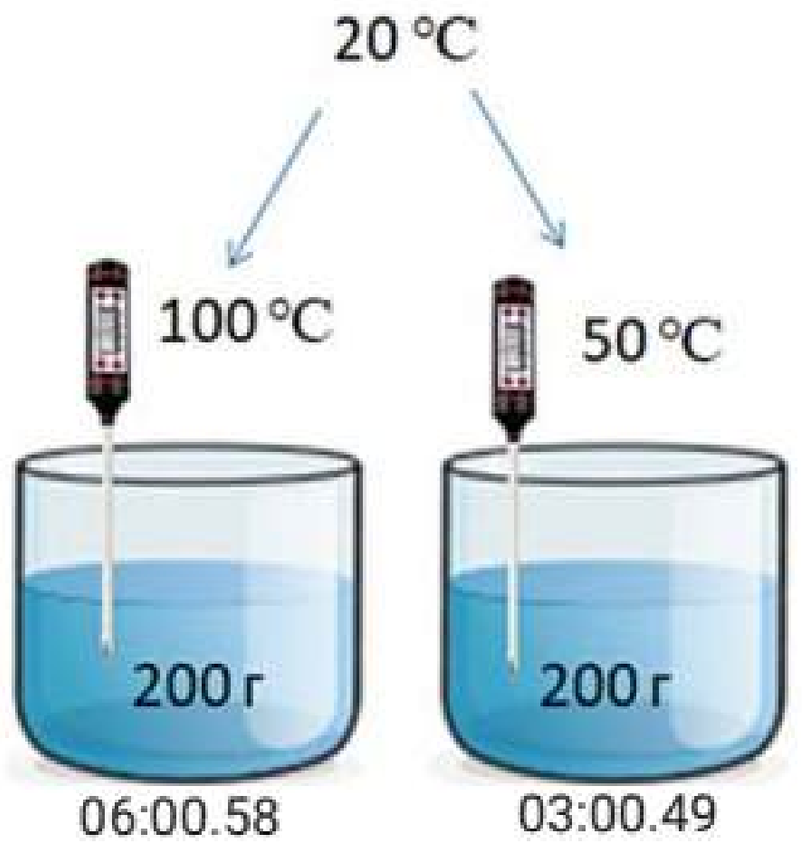


Мал. 5.1. Залежність кількості теплоти від маси речовини

Чим більша маса тіла, тим більшу кількість теплоти треба йому надати для зміни температури на однакову величину.

Дослід 2. Візьмемо дві однакових посудини. Наллємо в них по 200 г води (температура 20 °С). Нагріватимемо воду в одній посудині до температури кипіння (100 °С), а в другій — до 50 °С на однакових нагрівниках. Визначимо час її нагрівання.

Результати вимірювань (мал. 5.2) свідчать про те, що нагрівання до температури 100 °С триває довше, а отже, і кількість теплоти потрібна більша.



Мал. 5.2. Залежність кількості теплоти від зміни температури

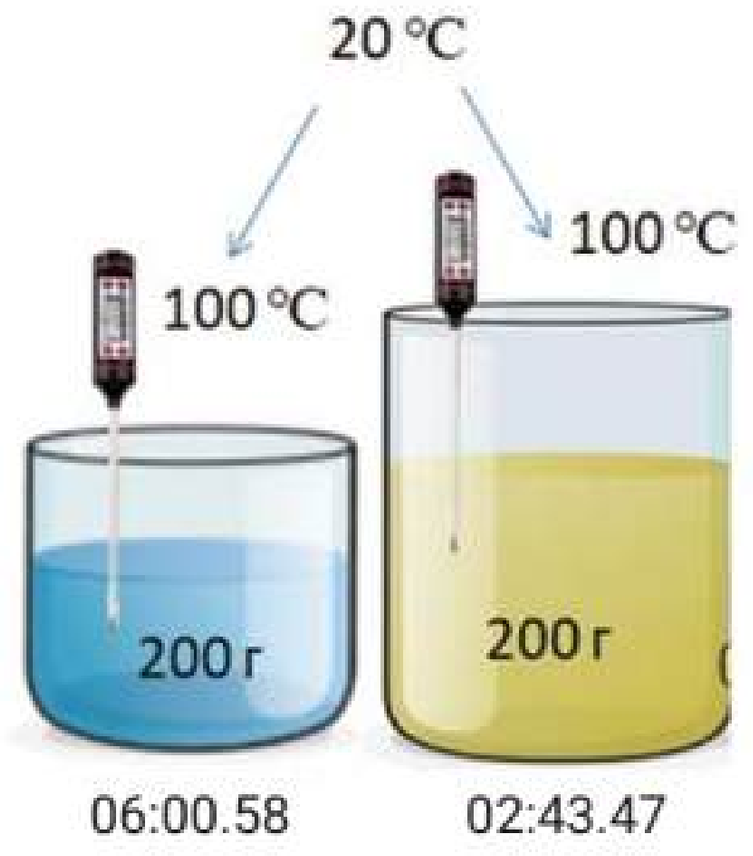
Чим більша зміна температури тіла під час нагрівання, тим більшу кількість теплоти потрібно йому надати.

Дослід 3. Наллємо у дві посудини по 200 г води та олії (температура 20 °С). Нагріватимемо воду та олію до 100 °С на однакових нагрівниках. Визначимо час їх нагрівання.

Результати вимірювань (мал. 5.3) свідчать про те, що нагрівання води до температури 100 °С триває довше. Тож і кількість теплоти потрібна більша.

Отже, кількість теплоти, необхідна для нагрівання тіла масою m, залежить від:

- маси тіла;
- зміни температури;
- роду речовини, з якої складається це тіло.



Мал. 5.3. Залежність кількості теплоти від роду речовини

3. Питома теплоємність речовини

З досліду 3 ми дізналися, що для зміни температури однакових мас різних речовин на однакову величину потрібно затратити різну кількість теплоти. Тобто кількість теплоти залежить від роду речовини, з якої складається це тіло.

Питома теплоємність речовини — це фізична величина, яка характеризує речовину і чисельно дорівнює кількості теплоти, яку потрібно передати речовині (або яку віддасть речовина) масою 1 кг, щоб змінити її температуру на 1 °С.

Питому теплоємність речовини позначають символом c і обчислюють за формулою:

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

Одиницею вимірювання питомої теплоємності в системі СІ є ***джоуль на кілограм-кельвін*** $(\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}})$.

Оскільки різниця температур за шкалою Кельвіна та Цельсія однакова, тобто 1 К = 1 °С, то за одиницю вимірювання питомої теплоємності речовини братимемо ***джоуль на кілограм-градус Цельсія*** $(\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot {}^\circ\text{С}})$.

У таблиці значень питомої теплоємності речовин (додаток 1, табл. 2) питома теплоємність води — 4200 $(\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot {}^\circ\text{С}})$. Це означає, що 4200 Дж теплоти потрібно передати воді масою 1 кг, щоб нагріти її на 1 °С.

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Використовуючи таблицю значень питомої теплоємності речовини (додаток 1, табл. 2), з'ясуйте, для нагрівання якої речовини (золота, заліза, свинцю) масою 1 кг на 1 °С потрібно затратити більшу кількість теплоти.

Щоб визначити кількість теплоти, яка необхідна для нагрівання речовини масою m, або кількість теплоти, яку виділяє тіло під час охолодження, потрібно її питому теплоємність помножити на масу і на різницю між вищою та нижчою температурами:

$$Q = cm(t_2 - t_1).$$

Оскільки $(t_2 - t_1) = \Delta t$, то $Q = cm\Delta t$.

3. Приклад розв'язування задачі

Задача. Визначте кількість теплоти, яка необхідна для нагрівання алюмінієвої деталі масою 500 г від 20 °С до 80 °С.

Дано:	СІ		Розв'язання:
$m = 500$ г	0,5 кг	$Q = cm(t_2 - t_1)$	$Q = 920 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot °\text{C}} \cdot 0{,}5 \text{ кг} \cdot$
$t_1 = 20$ °C			$\cdot (80 °\text{C} - 20 °\text{C}) = 27\,600$ Дж
$t_2 = 80$ °C			
$c = 920 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot °\text{C}}$			
Q — ?			

Відповідь: $Q = 27\,600$ Дж.

Запам'ятайте

Кількість теплоти — енергія, яку отримує чи віддає тіло під час теплопередачі.

Кількість теплоти, необхідна для нагрівання тіла масою m, залежить від:

- маси тіла;
- зміни температури;
- роду речовини, з якої складається це тіло.

Питома теплоємність речовини — фізична величина, яка характеризує речовину і чисельно дорівнює кількості теплоти, яку потрібно передати речовині масою 1 кг, щоб нагріти її на 1 °C.

Перевірте себе

1. Виразіть запропоновану кількість теплоти в одиницях СІ: 3500 кДж, 5 МДж, 600 мДж, 8 кДж. Розмістіть їх у порядку зростання.
2. Мідну та срібну ложки однакової маси, що мають однакову температуру, помістили в окріп. Яка з них отримає більшу кількість теплоти?
3. Визначте масу води, яку можна нагріти від 20 °C до кипіння, надавши їй 168 кДж теплоти.
4. Визначте кількість теплоти, яка виділяється у процесі охолодження 1 л олії від 50 °C до 48 °C.
5. Щоб нагріти 110 г алюмінію на 94 °C, потрібно 9,5 кДж енергії. Визначте питому теплоємність алюмінію.
6. На скільки градусів охолонув окріп у баку об'ємом 27 л, віддавши навколишньому середовищу 1500 кДж теплоти?

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Кількість теплоти	Heat
Питома теплоємність речовини	Specific heat capacity of a substance

§ 6. Тепловий баланс

«Тепло і холод — це дві руки природи, якими вона дає майже все» (Френсіс Бекон).

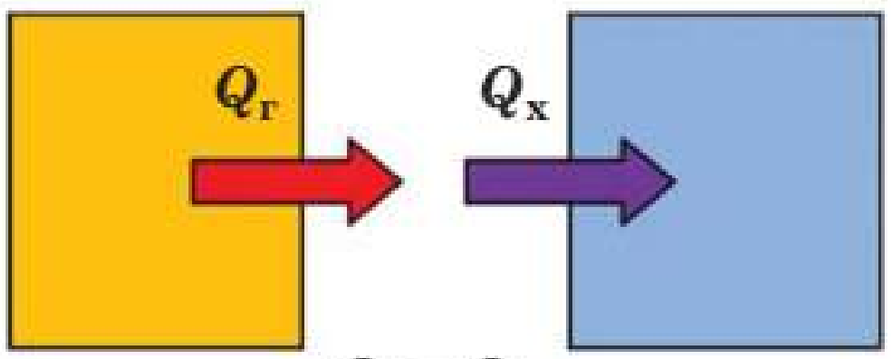
Природа завжди намагається підтримувати баланс (від франц. balance — терези, рівновага) у всьому. Одні корисні копалини вичерпуються, інші утворюються. Одні живі організми помирають, інші народжуються. Вода випаровується з річок, морів, океанів, а відтак у вигляді дощу повертається на землю. Тіло з більшою енергією завжди віддає її тілу з меншою енергією. А доки триває цей процес?

Дізнайтеся про...

- тепловий баланс;
- рівняння теплового балансу.

1. Тепловий баланс

Якщо привести в контакт два тіла, які мають різні температури, то через певний час настане стан теплової рівноваги. Їхні температури вирівняються: гаряче тіло дещо охолоне, віддавши певну кількість теплоти, а холодне тіло нагріється, прийнявши цю кількість теплоти.



Мал. 6.1. Тепловий баланс

Якщо в теплообміні беруть участь тільки два тіла, то кількість теплоти, що віддає гаряче тіло ($Q_г$), дорівнює кількості теплоти, яку приймає холодне тіло ($Q_х$) (мал. 6.1). Це називають ***тепловим балансом.***

$$Q_г = Q_х.$$

2. Рівняння теплового балансу

Британський чай з молоком (мал. 6.2) готують дуже просто: змішують гарячий чай з декількома ложками холодного молока, а потім додають цукор за смаком. Під час доливання молока в чашку з гарячим напоєм кількість теплоти, яку віддає чай, іде на нагрівання молока та ложечки. Процес передавання тепла відбувається до моменту встановлення теплової рівноваги. Тоді всі тіла, що беруть участь у теплообміні, матимуть однакову температуру. У розглянутій ситуації чай, молоко, ложечка утворюють ***замкнуту (ізольовану) систему тіл***, бо обмінюються теплотою тільки між собою.

Мал. 6.2. Приготування британського чаю

Замкнута система тіл — система тіл, які обмінюються енергією тільки між собою і не обмінюються з навколишнім середовищем.

Теплообмінні процеси, які відбуваються в замкнутій системі, описують ***рівнянням теплового балансу***: у замкнутій теплоізольованій системі тіл, між якими відбувається теплообмін, сумарна кількість теплоти, яку віддали одні тіла (Q^-), дорівнює сумарній кількості теплоти, яку отримали інші тіла цієї системи (Q^+).

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

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Між якими тілами встановлюється тепловий баланс у разі вимірювання температури повітря? Води? Людського тіла?

3. Приклад розв'язування задачі

Задача 1. У гарячий чай масою 100 г занурили срібну ложечку масою 25 г. Температура ложечки зросла на 80 °С. На скільки градусів знизилася температура чаю?

Дано:	СІ		Розв'язання:
$\Delta t_1 = 80$ °С		$Q_1^+ = c_1 m_1 \Delta t_1$	$Q_1^+ = 250 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{°С}} \cdot 0{,}025$ кг $\cdot$
$m_1 = 25$ г	0,025 кг	$Q_1^+ = Q_2^-$	$\cdot 80$ °С $= 500$ Дж
$c_1 = 250 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{°С}}$		$Q_2^- = c_2 m_2 \Delta t_2$	$Q_2^- = 500$ Дж
$m_2 = 100$ г	0,1 кг	$\Delta t_2 = \frac{Q_2^-}{c_2 m_2}$	$\Delta t_2 = \frac{500 \text{ Дж}}{4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{°С}} \cdot 0{,}1 \text{ кг}} \approx$
$c_2 = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{°С}}$			$\approx 1{,}2$ °С
Δt_2 — ?			

Відповідь: $\Delta t_2 = 1{,}2$ °С.

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Чому в той час, коли ложечка нагрілася аж на 80 °С, чай остиг лише на 1,2 °С?

Задача 2. На етикетці джинсів указано, що температура прання становить 30 °С. Ми нагріли 3 л води до температури 50 °С. Визначте масу холодної води, яку потрібно долити, щоб отримати воду температурою 30 °С. Температура холодної води дорівнює 20 °С.

Дано:	СІ		Розв'язання:
$t = 30\ °C$		$Q_1^- = cm_1(t_1 - t)$	$m_1 = 1000\ \frac{кг}{м^3} \cdot 0{,}003\ м^3 =$
$t_1 = 50\ °C$		$m_1 = \rho V_1$	$= 3\ кг$
$V_1 = 3\ л$	$0{,}003\ м^3$	$Q_1^- = Q_2^+$	$Q_1^- = 4200\ \frac{Дж}{кг \cdot °C} \cdot 3\ кг \cdot$
$\rho = 1000\ \frac{кг}{м^3}$		$Q_2^+ = cm_2(t - t_2)$	$\cdot (50\ °C - 30\ °C) = 252\ 000\ Дж$
$c = 4200\ \frac{Дж}{кг \cdot °C}$		$m_2 = \frac{Q_2^+}{c(t - t_2)}$	$Q_2^+ = 252\ 000\ Дж$
$t_2 = 20\ °C$			$m_2 = \frac{252\ 000\ Дж}{4200\ \frac{Дж}{кг \cdot °C} \cdot (30\ °C - 20\ °C)} =$
$m_2 - ?$			$= 6\ кг$

Відповідь: $m_2 = 6$ кг

Запам'ятайте

Замкнута система тіл — система тіл, які обмінюються енергією тільки між собою і не обмінюються з навколишнім середовищем.

Теплообмінні процеси, які відбуваються в замкнутій системі, описують ***рівнянням теплового балансу***: у замкнутій теплоізольованій системі тіл, між якими відбувається теплообмін, сумарна кількість теплоти, яку віддали одні тіла, дорівнює сумарній кількості теплоти, яку отримали інші тіла цієї системи.

Перевірте себе

1. У три однакові посудини з водою опустили мідне, алюмінієве та залізне тіла однакової маси, нагріті до 100 °С. У якій посудині вода нагріється до найвищої температури?
2. Для того щоб надати міцності сталевим виробам, їх «загартовують» — нагрівають до високої температури, а тоді різко охолоджують. Давній майстер, викувавши меч, нагрів його до 800 °С, а потім опустив у бочку, у котрій було 50 л води, температура якої 20 °С. Унаслідок цього температура води стала вищою на 2 °С. Визначте масу меча.
3. Для приготування чаю в порцелянову чашку масою 250 г влили 100 г окропу. Після встановлення теплової рівноваги температура чаю в чашці досягла 68 °С. Визначте питому теплоємність порцеляни, якщо чашка мала температуру 20 °С.
4. У ванну налили 30 л води, температура якої 20 °С, а потім ще долили 12 л води, температура якої 60 °С. Визначте температуру води, що встановилася. Втратами теплоти на нагрівання ванни та навколишнього середовища знехтуйте.

Обдумайте, змоделюйте, зробіть...

Складіть алгоритм дій та виготовте модель термоса, використовуючи дві пластикові пляшки різної місткості або паперовий і пластиковий стакани більшого та меншого діаметра, теплоізоляційні матеріали (пінопласт, монтажну піну, медичну вату, картонний папір), фольгу, ножиці, клей, скріпки або інші матеріали, наявні вдома.

Дотримуйтеся правил безпеки під час роботи!

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Тепловий баланс	Energy (budget\balance)
Рівняння теплового балансу	(Heat\energy) balance equation, (calorimetry\thermal equilibrium) equation

Лабораторна робота № 1
ПОРІВНЯННЯ КІЛЬКОСТІ ТЕПЛОТИ ПІД ЧАС ЗМІШУВАННЯ ВОДИ РІЗНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ

Мета: ознайомитися з будовою та принципом дії калориметра; дослідним шляхом переконатися, чи справджується рівняння теплового балансу в разі змішування води різної температури.

Обладнання: калориметр, вимірювальний циліндр (мензурка), термометр, склянка.

Дотримуйтеся правил безпеки життєдіяльності під час роботи!

Хід роботи

1. Ознайомтеся з будовою та принципом дії калориметра.
2. Налийте в калориметр 100 г гарячої води, а в склянку — 100 г холодної.
3. Виміряйте температури гарячої (t_1) та холодної (t_2) води.
4. Обережно налийте холодну воду в посудину з гарячою водою, помішайте термометром утворену суміш і виміряйте її температуру (t_c).
5. Визначте кількість теплоти, яку віддала гаряча вода під час охолодження до температури суміші, за формулою $Q_1 = cm_1(t_1 - t_c)$.
6. Визначте кількість теплоти, яку отримала холодна вода під час нагрівання до температури суміші, за формулою $Q_2 = cm_2(t_c - t_2)$.
7. Результати вимірювань та обчислень запишіть у таблицю 1.

Таблиця 1

Маса гарячої води m_1, кг	Початкова температура гарячої води t_1, °С	Температура суміші t_c, °С	Кількість теплоти, яку віддала гаряча вода Q_1, Дж
1	2	3	4

Маса холодної води m_2, кг	Початкова температура холодної води t_2, °С	Кількість теплоти, яку отримала холодна вода Q_1, Дж
5	6	7

8. Порівняйте кількість теплоти, яку віддала гаряча вода, з кількістю теплоти, яку отримала холодна вода. Поясніть причини можливих розбіжностей отриманих результатів.

Проаналізуйте результати експерименту. Зробіть висновок (що саме визначали під час виконання лабораторної роботи; значення яких величин обчислювали та які результати отримали; чи можна вважати результати експерименту абсолютно точними; яку функцію виконує прошарок повітря в калориметрі; де здобуті знання можна використати на практиці).

Додаткове завдання

Три тіла однакової маси й температури з латуні, чавуну та свинцю занурили в посудину з гарячою водою. Чи до однакової температури нагрілися ці тіла? Чи однакову кількість теплоти передала тілам вода під час остигання? Чи на однакову величину змінилася внутрішня енергія тіл? Відповідь обґрунтуйте.

Лабораторна робота № 2

ВИЗНАЧЕННЯ ПИТОМОЇ ТЕПЛОЄМНОСТІ РЕЧОВИНИ

Мета: визначити питому теплоємність речовини, з якої виготовлено металевий циліндр.

Обладнання: калориметр, вимірювальний циліндр (мензурка), посудина з гарячою водою, металевий циліндр на нитці, терези, набір тягарців, термометр.

Дотримуйтеся правил безпеки життєдіяльності під час роботи!

Хід роботи

1. Налийте в калориметр 100 г холодної води (m_1) та виміряйте її температуру (t_1).
2. Виміряйте масу циліндра за допомогою важільних терезів (m_2).
3. Помістіть циліндр у посудину з гарячою водою і залиште його там на кілька хвилин.
4. Виміряйте температуру води, у яку занурено циліндр, — це буде початкова температура циліндра (t_2).
5. Опустіть циліндр у калориметр з холодною водою, залиште його там на кілька хвилин.
6. Виміряйте температуру води в калориметрі після занурення в неї циліндра (t).
7. Результати вимірювань запишіть у таблицю 1.

Таблиця 1

Маса холодної води m_1, кг	Початкова температура холодної води t_1, °C	Маса циліндра m_2, кг	Початкова температура циліндра t_2, °C	Загальна температура води і циліндра t, °C

8. Визначте кількість теплоти Q_1, яку отримала холодна вода під час нагрівання, за формулою $Q_1 = c_1 m_1 (t - t_1)$, де c_1 — питома теплоємність води.
9. Знаючи, що кількість теплоти, яку отримала вода під час нагрівання (Q_1), дорівнює кількості теплоти, яку віддає, охолоджуючись, циліндр (Q_2), можна визначити питому теплоємність речовини циліндра (c_2) за формулою

$$c_2 = \frac{Q_1}{m_2(t_2 - t)}.$$

10. За отриманим значенням питомої теплоємності речовини, скориставшись таблицею, визначте речовину, з якої виготовлено циліндр.

Проаналізуйте результати експерименту. Зробіть висновок (що саме визначали під час виконання лабораторної роботи; значення яких величин обчислювали та які результати отримали; чи можна вважати результати експерименту абсолютно точними; чому є розбіжності між експериментальним і табличним значенням даної речовини; де набуті знання можна використати на практиці).

Додаткове завдання

Для отримання точних результатів вимірювання температури в лабораторних умовах і медицині застосовували ртутні термометри. Чому ртуті віддавали перевагу порівняно з іншими рідинами, попри її таку малу питому теплоємність? Відповідь обґрунтуйте.

§ 7. Енергія палива. Питома теплота згоряння палива

Перед наближенням холодів домовласники замислюються над питанням опалення житла. Обираючи обігрівальні прилади, вони прагнуть не тільки зекономити сімейний бюджет, а й звести до мінімуму частоту підкидання дров, особливо в нічну пору. Тому багато з них купує піролізні котли. У котлі спочатку повільно згоряє (тліє) дерево, а за підвищення температури в ньому до 300—750 °С виділяється піролізний газ. Цей газ змішується з киснем у котлі, починає горіти й виділяти додаткове тепло, що забезпечує тривалу автономну роботу. Отже, принцип роботи такого котла полягає в тому, щоб із палива «витиснути» якомога більше енергії. А що ж таке паливо?

Дізнайтеся про...

- паливо та його види;
- історію видобутку та використання палива;
- енергію, яка виділяється під час повного згоряння палива.

1. Вогонь і паливо

Життю первісної людини загрожували не лише природні стихії та хижі звірі, а й холод. На допомогу їй прийшов вогонь. Першим вогнем, яким первісна людина скористалася для своїх потреб, був вогонь «небесний». Його спричиняли пожежі, що виникали під час блискавки та виверження вулканів. Але існувала проблема — вогонь потрібно було постійно оберігати, не давати йому згаснути.

Минав час, і людина навчилася добувати вогонь тертям (мал. 7.1), висіканням іскор за допомогою кременю, іншими способами, а також підтримувати його за допомогою палива. Підкоривши вогонь, вона перестала бути «рабом природи». Що ж таке паливо?

Мал. 7.1.
Добування вогню тертям

Паливо — речовина, яка, згоряючи, виділяє теплову енергію.

Процес горіння палива відбувається за наявності кисню.

Є різні види палива: ***тверде*** (*дрова, кам'яне вугілля, буре вугілля, торф, сухий спирт, горючі сланці*), ***рідке*** (*нафта, бензин, дизельне паливо, гас*) та ***газоподібне*** (*природний газ, пропан, бутан*).

2. Історія видобутку та використання палива

500 000 років тому людина навчилася добувати вогонь і підтримувати вогнище на місці стоянки. Першим паливом були дрова. Понад 200 років тому на дровах працювали металургійні заводи та паровози.

У Давньому Китаї ще в 1000 році до нашої ери видобували вугілля та використовували його для виплавки міді, а дещо пізніше — для виробництва фарфорових виробів, кольорових металів, паперу, пороху.

У Європі першими почали видобувати вугілля мешканці Британії. І вже в XIV—XIX ст. саме Англія стала найбільшим видобувачем вугілля у світі.

На території України кам'яне та деревне вугілля почали використовувати в X—XI ст.

Перші згадки про видобуток і використання нафти належать до 400—300 років до н. е.

Александр Македонський завоював територію нинішнього Азербайджану і закріпився на узбережжі Каспійського моря. Місцеві жителі показали йому світильники, що горіли яскравим білим полум'ям. Для них вони використовували рідкий жир жовтого кольору, який називали «нафата», тобто «той, що просочується». Очевидно, звідти й походить слово «нафта».

Західна Україна — один із найдавніших нафтових регіонів світу. Перші свідчення про видобування на цій території нафти належать до середини XVII ст. Важку працю робітників (ріпників) (мал. 7.2) на нафтових копальнях описав Іван Франко в повісті «Борислав сміється».

Мал. 7.2. Ріпники

У XIX ст. Австро-Угорщина посідала третє місце з видобутку нафти у світі. А найбагатшим нафтовим регіоном імперії була Галичина.

Саме галицькі містечка, серед яких і Борислав, давали понад 90 % видобувної нафти, що становило 5 % світового видобутку.

3. Енергія палива

Для приготування їжі як паливо можна використовувати вугілля, торф, сухі дрова; для плавлення сталі, чавуну — кам'яне вугілля; у транспорті — бензин, дизельне паливо, газ. А чому?

Під час згоряння 1 кг різних видів палива виділяється неоднакова кількість теплоти. Експериментально визначено цю кількість теплоти і названо її питомою теплотою згоряння палива.

Питома теплота згоряння палива — фізична величина, що показує, яка кількість теплоти виділяється внаслідок повного згоряння палива масою1 кг.

Питому теплоту згоряння палива позначають символом q і розраховують за формулою:

$$q = \frac{Q}{m}.$$

Одиницею вимірювання питомої теплоти згоряння палива в системі СІ є ***джоуль поділити на кілограм*** $\left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}\right)$.

У таблиці значень питомої теплоти згоряння палива (додаток 1, табл. 3) знайдемо питому теплоту згоряння нафти — 45 $\frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$. Це означає, що внаслідок повного згоряння нафти масою 1 кг виділяється 45 МДж теплоти.

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Використовуючи таблицю значень питомої теплоти згоряння палива (додаток 1, табл. 3), установіть, під час згоряння якого палива однакової маси — мазуту, соломи чи спирту — виділиться більша кількість теплоти.

Щоб обчислити кількість теплоти, яка виділяється внаслідок повного згоряння довільної маси палива, потрібно питому теплоту згоряння палива помножити на його масу:

$$Q = qm.$$

4. Приклад розв'язування задачі

Задача. Визначте масу кам'яного вугілля, яку потрібно спалити, щоб отримати 50 МДж теплоти.

Дано:	СІ		Розв'язання:
$Q = 50$ МДж	50 000 000 Дж	$Q = qm$	$m = \dfrac{50\,000\,000\ \text{Дж}}{25\,000\,000\ \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}} = 2\ \text{кг}$
$q = 25\ \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$	$25\,000\,000\ \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	$m = \dfrac{Q}{q}$	
m — ?			

Відповідь: $m = 2$ кг.

Запам'ятайте

Питома теплота згоряння палива — фізична величина, що показує, яка кількість теплоти виділяється внаслідок повного згоряння палива масою 1 кг.

Перевірте себе

1. Використовуючи таблицю значень питомої теплоти згоряння палива (додаток 1, табл. 3), розмістіть у порядку зростання питомої теплоти згоряння такі види палива: порох, тротил, нафта, антрацит.
2. Визначте масу торфу, яка повинна повністю згоріти, щоб виділилося 75 МДж теплоти.
3. Під час спалювання якого виду палива масою 1,5 кг виділиться 66 МДж теплоти?
4. Обчисліть масу сухих дров, які потрібно спалити, щоб отримати таку саму кількість теплоти, як у разі повного згоряння 3 кг бензину.
5. Визначте масу природного газу, яку необхідно спалити, щоб нагріти 3 л води від 20 °С до кипіння.

Обдумайте, змоделюйте, зробіть...

Складіть алгоритм дій для визначення енергії, яка виділяється внаслідок повного згоряння дерев'яного бруска правильної геометричної форми, та обчисліть її.

Дотримуйтеся правил безпеки під час роботи!

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Паливо	Fuel
Згоряння	Combustion\burning
Питома теплота згоряння палива	Specific heat of combust

§ 8. Закон збереження енергії в механічних і теплових процесах. Коефіцієнт корисної дії нагрівника

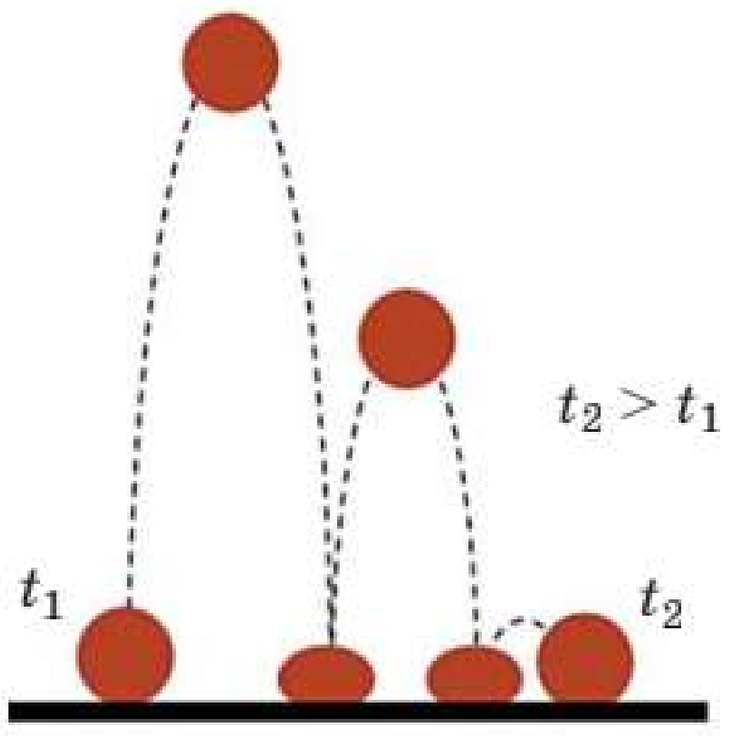
Наукових доказів того, що молоко сприяє сну, немає. Проте давній домашній метод боротьби з безсонням популярний і нині. Багато дітей не можуть заснути без чашки теплого молока. А як його швидко нагріти? Наші прабабусі молоко розігрівали на плиті печі, у якій горіли дрова або вугілля. А мами використовують газові плити, і це значно зручніше й швидше. А чи «зручно і швидко» — завжди «економно»? Як оцінити ефективність нагрівника? Як обрати найбільш економний спосіб приготування улюбленого напою з урахуванням ощадливості у використанні енергоресурсів?

Дізнайтеся про...

- закон збереження та перетворення енергії;
- нагрівники;
- коефіцієнт корисної дії нагрівника.

1. Закон збереження енергії в механічних і теплових процесах

Пригадайте, які фізичні процеси відбуваються під час підкидання м'яча вгору (мал. 8.1). Кінетична енергія, надана м'ячу, поступово переходить у потенціальну доти, поки м'яч не досягне максимальної висоти. Потім, під час падіння, іде зворотний перехід потенціальної енергії в кінетичну. У момент зіткнення із землею м'яч має максимальну кінетичну енергію, за рахунок якої знову піднімається вгору й поступово набуває максимальної потенціальної енергії. В описаному випадку виконується закон збереження енергії.



Мал. 8.1. Перетворення механічної енергії під час руху м'яча

За ідеальних умов такі «перетікання» енергії мали б відбуватися вічно. Але це не так. Висота відбивання м'яча від землі поступово зменшується, і він доволі швидко зупиняється, тобто втрачає механічну енергію. Куди вона зникає?

Виявляється, не зникає, а перетворюється на інший вид енергії — внутрішню (теплову). Доказом цього є підвищення температури м'яча.

Чому так відбувається? Це пов'язано з деформацією м'яча під час зіткнення із землею. Тоді зростає потенціальна енергія взаємодії атомів і кінетична енергія їх руху. А це, як уже відомо, зумовлює збільшення внутрішньої енергії м'яча.

Іншою незначною причиною цього явища є опір повітря. Він виконує таку ж саму функцію, як і тертя між поверхнями двох тіл під час їх руху, — тіла нагріваються, тобто їхня внутрішня енергія зростає.

Як бачимо, механічна енергія тіла може перетворюватися на його внутрішню енергію. Чи можливе зворотне явище? Так, внутрішня енергія тіла може перетворюватися на механічну. Наприклад, повітряна куля піднімається вгору, тобто має механічну енергію, завдяки енергії, яка виділяється під час згоряння палива (мал. 8.2, *а*); пара, яка утворюється внаслідок кип'ятіння води, піднімає кришку каструлі (мал. 8.2, *б*).

Усі розглянуті нами приклади є доказами фундаментального закону фізики — **закону збереження і перетворення енергії:** ***енергія не виникає з нічого і не зникає безслідно, вона лише перетворюється з одного виду на інший або передається від одного тіла до іншого.***

а

б

Мал. 8.2. Перетворення внутрішньої енергії палива на механічну

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Які перетворення енергії відбуваються під час заточування ножів? Свердління отворів у металі? Гальмування автомобіля?

2. Коефіцієнт корисної дії нагрівника

Пристрій, який перетворює внутрішню енергію палива на теплову, називають ***нагрівником***. Залежно від обставин ми використовуємо різні нагрівники: удома — газову плиту (мал. 8.3, *а*), піч чи камін (мал. 8.3, *б*); у туристичному поході — примус (мал. 8.3, *в*) чи багаття (мал. 8.3, *г*); на виробництві — паяльну лампу (мал. 8.3, *д*); у шкільній лабораторії — спиртівку (мал. 8.3, *е*).

Мал. 8.3. Нагрівники

А чи вся внутрішня енергія, що виділяється під час повного згоряння палива, витрачається на нагрівання тіла? Чи ефективний для використання обраний нагрівник?

Показником ефективності нагрівника є його коефіцієнт корисної дії (ККД).

Коефіцієнт корисної дії нагрівника **(η)** — фізична величина, яка дорівнює вираженому у відсотках відношенню кількості теплоти, що витрачається на нагрівання тіла ($Q_{кор}$ — корисна) до кількості теплоти, яка виділяється внаслідок повного згоряння палива ($Q_{пов}$ — повна).

$$\eta = \frac{Q_{кор}}{Q_{пов}} \cdot 100\% .$$

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Чому корисна теплота завжди менша за повну?

3. Приклад розв'язування задачі

Задача. В інструкції з використання туристичного газового пальника вказано, що для кип'ятіння 1 л води, узятої за температури 20 °С, витрачається 15 г природного газу. Визначте ККД пальника.

Дано:	СІ		Розв'язання:
$t_1 = 20\ °C$		$\eta = \frac{Q_{кор}}{Q_{пов}} \cdot 100\ \%$	$m_1 = 1000\ \frac{кг}{м^3} \cdot$
$t_2 = 100\ °C$		$Q_{кор} = cm_1(t_2 - t_1)$	$\cdot\ 0{,}001\ м^3 = 1\ кг$
$V_1 = 1\ л$	$0{,}001\ м^3$	$m_1 = \rho V_1$	$Q_{кор} = 4200\ \frac{Дж}{кг} \cdot 1\ кг \cdot$
$\rho = 1000\ \frac{кг}{м^3}$		$Q_{пов} = qm_2$	$\cdot\ (100\ °C - 20\ °C) =$
$c = 4200\ \frac{Дж}{кг}$			$= 336\ 000\ Дж$
$m_2 = 15\ г$	$0{,}015\ кг$		$Q_{пов} = 44\ 000\ 000\ \frac{Дж}{кг} \cdot$
$q = 44\ \frac{МДж}{кг}$	$44\ 000\ 000\ \frac{Дж}{кг}$		$\cdot\ 0{,}015\ кг = 660\ 000\ Дж$
$\eta - ?$			$\eta = \frac{336\ 000\ Дж}{660\ 000\ Дж} \cdot 100\% \approx$
			$\approx 51\ \%$

Відповідь: $\eta \approx 51\ \%$.

Запам'ятайте

Нагрівник — пристрій, який перетворює внутрішню енергію палива на теплову.

Коефіцієнт корисної дії нагрівника — фізична величина, що показує, яка частина теплоти, що виділяється під час згоряння палива, витрачається на нагрівання тіла.

Перевірте себе

1. У якій посудині економніше нагрівати воду — сталевій чи алюмінієвій?
2. Під час забивання молотком цвяха в дошку цвях нагрівається. Які перетворення енергії відбуваються при цьому?
3. На спиртівці нагріли 350 г води від 20 °С до 80 °С. Початкова маса спиртівки зі спиртом була 183 г, а після закінчення нагрівання стала 170 г. Визначте ККД нагрівника.
4. Визначте масу гасу в примусі, який потрібно спалити, щоб нагріти 20 л води на 80 °С, якщо ККД нагрівника дорівнює 36 %.
5. Визначте ККД печі, у якій повністю згоряє 1 кг сухих дров, нагріваючи воду об'ємом 10 л у мідній посудині масою 2,5 кг від 18 °С до 68 °С.

Обдумайте, змоделюйте, зробіть...

Складіть алгоритм дій для визначення ККД вашої газової плити. Для розрахунку вважайте, що 1 $м^3$ природного газу, що надходить у домівку, має масу ≈1,1 кг. Розхід газу треба взяти з показників газового лічильника.

Дотримуйтеся правил безпеки під час роботи!

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Нагрівник	Heat source\heater
Коефіцієнт корисної дії	Energy conversion efficiency

Здійсніть самоперевірку

- Заповнити пропущене
- Класифікація «Зміна внутрішньої енергії»
- Вільна текстова відповідь
- Логічні пари «Кількість теплоти»
- Просте упорядкування «Етапи експериментального дослідження»
- Розв'яжи задачу

https://f8.academiabook.club/samoperevirka.html

Виконайте проєкт, дотримуючись алгоритму (додаток 2)

Орієнтовні теми проєктів:

- Як зберегти тепло в нашій оселі?
- Як заощадити енергоресурси та сімейний бюджет?
- Ефективне використання теплової енергії.

Зміна агрегатних станів речовини

§ 9. Агрегатні стани речовини. Плавлення і кристалізація

Усім з дитинства відомий вірш Платона Воронька «Падав сніг»:

Падав сніг на поріг,
Кіт зліпив собі пиріг.
Поки смажив, поки пік,
А пиріг водою стік.
Кіт не знав, що на пиріг
Треба тісто, а не сніг.

Чому ж сніг «водою стік»? Чому сніг надворі лежить, з нього можна ліпити сніжки, а під час нагрівання перетворюється на воду? Чому сніжинки, які потрапляють нам на долоні, зникають, а на їх місці залишаються краплинки води?

Дізнайтеся про...

- плавлення твердих тіл;
- температуру плавлення кристалічних тіл;
- кристалізацію тіл;
- графіки плавлення та кристалізації.

Пригадайте вивчене

Речовина може перебувати у трьох агрегатних станах: твердому, рідкому та газоподібному.

У твердому стані молекули розташовані в певному порядку близько одна до одної на відстанях, сумірних з розмірами молекул. Вони коливаються навколо певних положень рівноваги та не переміщуються в тілі. **Тверді тіла зберігають не лише об'єм, а й форму.** У багатьох твердих тілах молекули зберігають порядок у розміщенні — утворюють **кристали**. Якщо ж молекули твердого тіла не мають строгого порядку в розміщенні, то такі речовини називають **аморфними**.

У рідкому стані молекули розміщені на відстанях, сумірних з їхніми розмірами, тому рідини важко стиснути. Молекули здійснюють коливальний рух на одному місці, а інколи можуть «перестрибнути» на інше місце. Тому **рідини зберігають об'єм, легко змінюють свою форму, їм властива плинність (текучість).**

Молекули в газах розміщені на великих відстанях (у десятки разів більших за розміри молекул), тому притягання між ними слабке. Унаслідок цього **гази не мають власної форми й сталого об'єму, заповнюють весь наданий їм об'єм.**

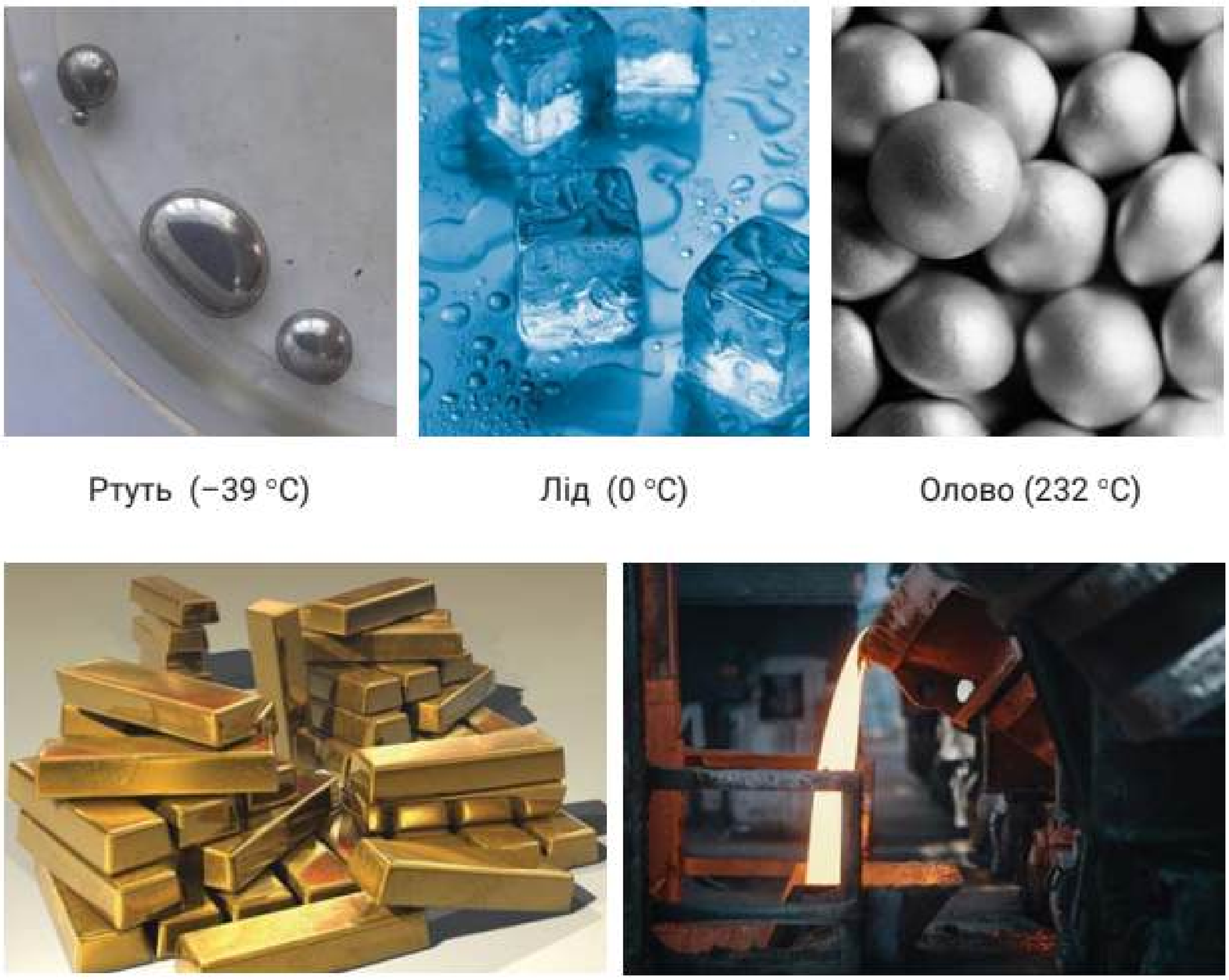
1. Процес плавлення. Температура плавлення

Якщо грудочку снігу принести з вулиці до кімнати, то за якийсь час вона перетвориться на воду, тобто розплавиться. Тепле повітря в кімнаті віддає свою енергію снігу, він спочатку нагрівається до 0 °С і аж тоді починає плавитися — перетворюватися на воду. Такий процес можливий з будь-яким кристалічним тілом за умови нагрівання до певної температури. По-іншому себе поведе льодяник, забутий на деякий час у кишені одягу. Він розм'якне і стане липким та тягучим — розплавиться, хоча для цього нагрівання до певної температури не потрібне. Цю властивість проявляють аморфні тіла.

Плавлення — процес переходу речовини з твердого агрегатного стану в рідкий.

Температура плавлення — температура, за якої тверда кристалічна речовина переходить у рідкий стан.

Кожна речовина у кристалічному стані має свою температуру плавлення (мал. 9.1). Особливу увагу слід звернути на ртуть — метал, який пла-



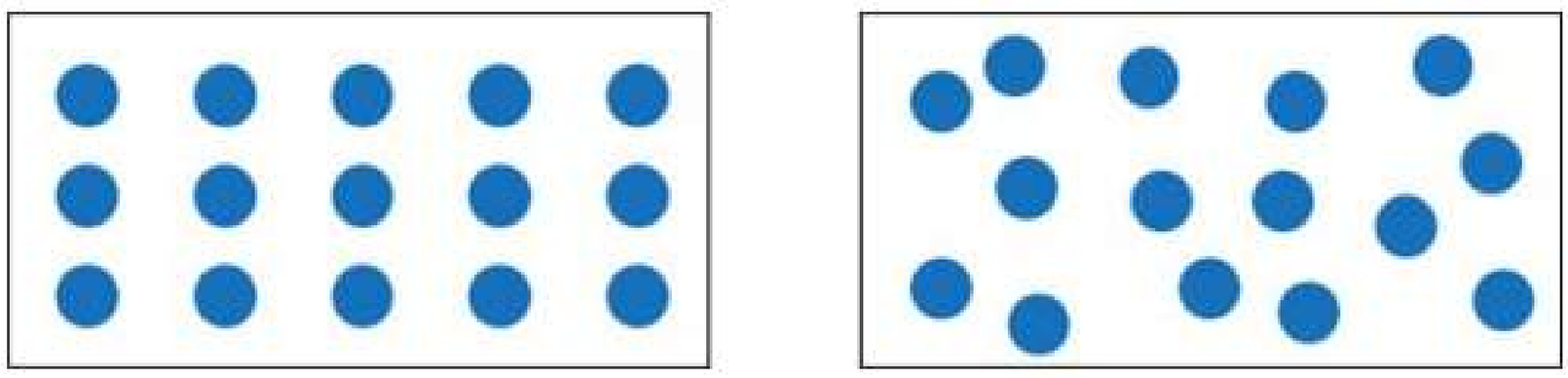
Ртуть (−39 °С) Лід (0 °С) Олово (232 °С)

Золото (1064 °С) Сталь (1500 °С)

Мал. 9.1.
Речовини та їхні температури плавлення

виться за температури −39 °С, а за звичайних умов перебуває в рідкому стані. Аморфні тіла не мають визначеної температури плавлення. Вони поступово пом'якшуються в певному інтервалі температур.

У разі нагрівання твердого кристалічного тіла його температура підвищується внаслідок збільшення внутрішньої енергії. Зростає амплітуда коливань частинок, сили взаємодії між ними зменшуються, і за температури плавлення кристалічна ґратка твердого тіла починає руйнуватися. Речовина поступово переходить у рідкий стан. Тобто енергія, яку одержує тіло, витрачається на руйнування кристалічної ґратки (перехід з твердого стану (мал. 9.2, *а*) у рідкий (мал. 9.2, *б*)). Температура залишатиметься однаковою до того часу, поки все тверде тіло не перетвориться на рідину. Якщо продовжувати і далі надавати енергію тілу, то температура утвореної рідини буде підвищуватись.



а *б*

Мал. 9.2.
а — твердий стан речовини; *б* — рідкий стан речовини

Температури плавлення більшості кристалічних тіл відомі (додаток 1, табл. 4).

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Чи залишиться свинцевий дріт у твердому стані, якщо його занурити в розплавлений цинк?
2. Чи можна розплавленим металом заморозити воду?
3. Чому для виготовлення корпусу космічного корабля використовують особливо тугоплавкі метали?

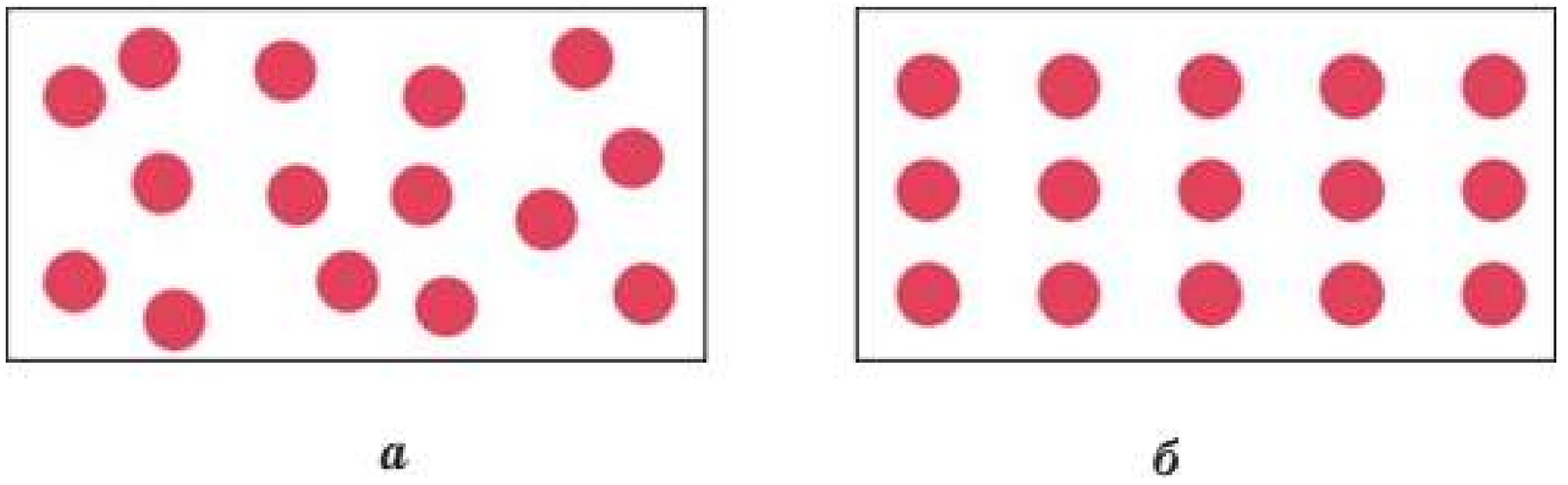
2. Процес кристалізації

Обернений до плавлення процес називають кристалізацією, або твердненням.

Кристалізація — процес переходу речовини з рідкого агрегатного стану у твердий.

Цей процес відбувається також за певної температури, яку називають **температурою кристалізації. Ця температура дорівнює температурі**

плавлення. Щоб тіло почало кристалізуватися, його спочатку потрібно охолодити до температури кристалізації. Процес кристалізації відбувається з виділенням тепла (енергії), а процес плавлення — з поглинанням енергії. Під час кристалізації температура тіла буде однаковою доти, поки вся рідина не кристалізується. У цей час відбувається перехід речовини з рідкого стану (мал. 9.3, *а*) у твердий (мал. 9.3, б).

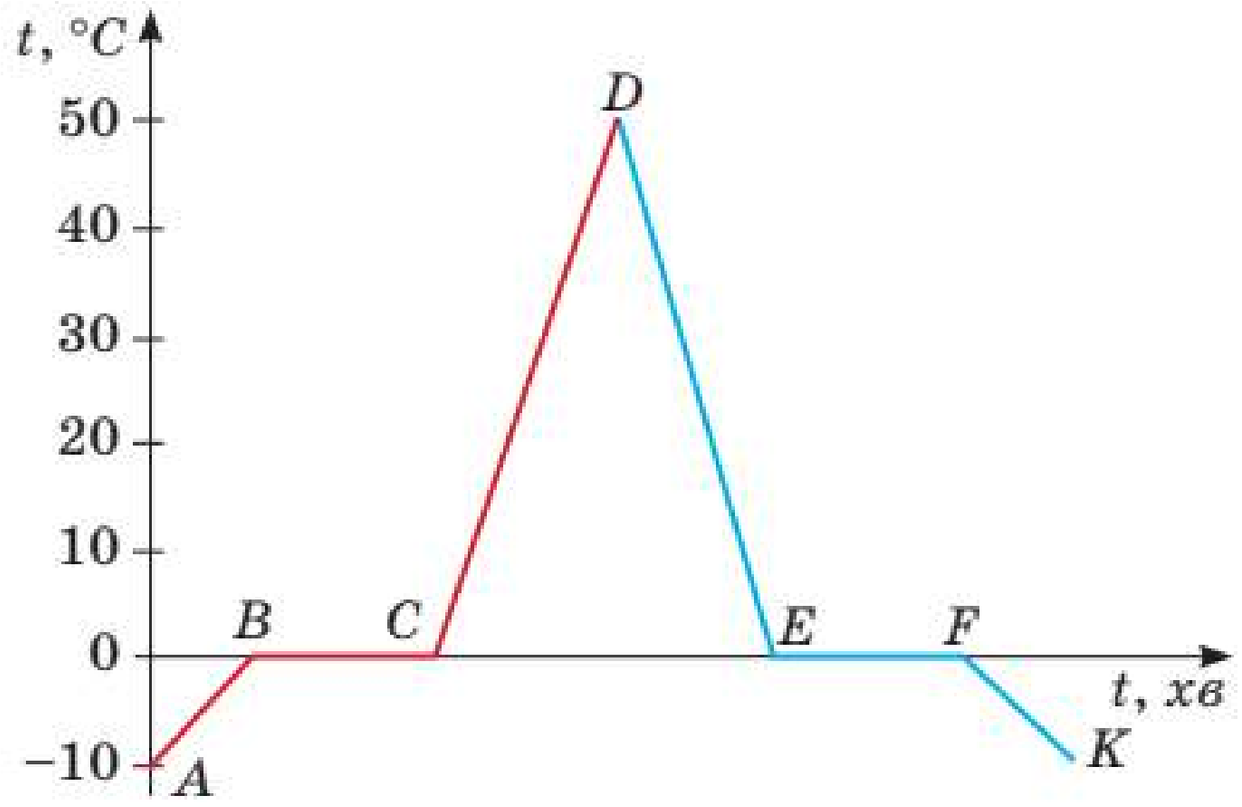


а *б*

Мал. 9.3.
а — рідкий стан речовини; *б* — твердий стан речовини

3. Графіки плавлення та кристалізації

Процеси плавлення та кристалізації можна описати графічно. Розглянемо процеси, що відбуваються з льодом, температура якого −10 °С, у разі перетворення його на воду, температура якої 50 °С (мал. 9.4).



Мал. 9.4.
Графік плавлення льоду
та кристалізації води

Оскільки початкова температура льоду дорівнює −10 °С, графік починається у т. ***A***. На ділянці ***AB*** відбувається нагрівання льоду від −10 °С до 0 °С за допомогою нагрівника. Тіло поглинає енергію, але ще перебуває у твердому агрегатному стані. За 0 °С починається процес плавлення льоду (ділянка ***BC***). Поки весь лід не перетвориться на воду, його

температура залишатиметься рівною 0 °С, тож на цій ділянці будуть одночасно і лід, і вода (мал. 9.5). Цей процес триватиме деякий час, тому горизонтальна ділянка графіка досить велика. Наступна ділянка ***CD*** відповідає процесові нагрівання вже води до 50 °С.

Якщо вимкнути нагрівник, то вода охолоджуватиметься. Її внутрішня енергія зменшиться до температури навколишнього середовища (настає стан теплової рівноваги). Для подальшого зниження температури води до 0 °С (ділянка ***DE***) її треба помістити в морозильну камеру. За 0 °С вода почне кристалізуватися (ділянка ***EF***). Упродовж цього процесу температура не змінюватиметься. Якщо на початку цієї ділянки була вода, то в кінці вже буде лід. Подальше охолодження льоду спричинить зниження його температури до −10 °С (ділянка ***FK***).

Мал. 9.5.
Лід і вода

Запам'ятайте

Плавлення — процес переходу речовини з твердого агрегатного стану в рідкий.

Температура плавлення — температура, за якої тверда кристалічна речовина переходить у рідкий стан.

Кристалізація — процес переходу речовини з рідкого агрегатного стану у твердий.

Температура кристалізації — температура, за якої речовина з рідкого стану переходить у твердий.

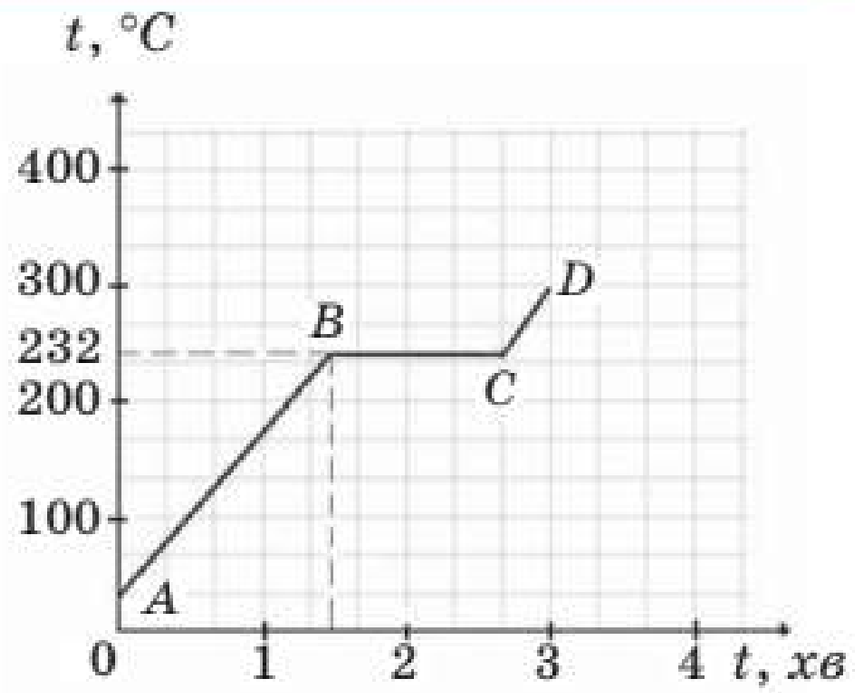
Для кожної речовини температури плавлення і кристалізації є однаковими.

Перевірте себе

1. Чому невеликий шматок олова можна розплавити в полум'ї свічки, а такої самої маси шматок заліза не можна?
2. Під час подорожей у спекотну погоду для запобігання псуванню їжі її кладуть у пластмасові коробки із замороженою в холодильнику рідиною. Яка рідина найкраще підходить для цього? Чому?
3. Дайте відповідь на запитання рубрики «Мотивація».
4. Розгляньте графік плавлення речовини (мал. 9.6). Дайте відповіді на запитання: які теплові процеси відбуваються на ділянках *AB*, *BC*

та CD? У яких агрегатних станах перебуває речовина на цих ділянках? Якій речовині відповідає наведений графік?

5. Намалювати графік (схематично) кристалізації цинку з подальшим охолодженням його до температури 20 °С, якщо на початку спостереження він мав температуру 600 °С.



Мал. 9.6.
Графік плавлення речовини

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Плавлення	Melting\fusion
Температура плавлення	Melting point\melting temperature
Кристалізація	Crystallization
Температура кристалізації	Crystallization temperature\ Crystallization point

§ 10. Питома теплота плавлення та кристалізації

Одна з найдавніших галузей промисловості — металургія. Ще шість тисяч років тому люди навчилися одержувати перший сплав — бронзу. Для цього сплавляли мідь і олово. Значно пізніше почали отримувати залізо з руди. Продуктами сучасної металургії є понад 75 металів і велика кількість сплавів. Метали в сучасному світі залишаються важливим матеріалом для виробництва різноманітних інструментів, машин та обладнання. Розвиток

електротехніки, електроніки, робототехніки зумовив зростання виробництва кольорових та рідкісноземельних металів. В авіакосмічній, автомобільній, радіотехнічній, авіаційній, харчовій промисловості, медицині дедалі частіше використовують металокераміку. Процеси плавлення і кристалізації лежать в основі будь-якої галузі металургії. Як розрахувати енергію, що потрібна для плавлення кристалічних тіл і виділяється в процесі їх тверднення (кристалізації), дізнаємося в цьому параграфі.

Дізнайтеся про...

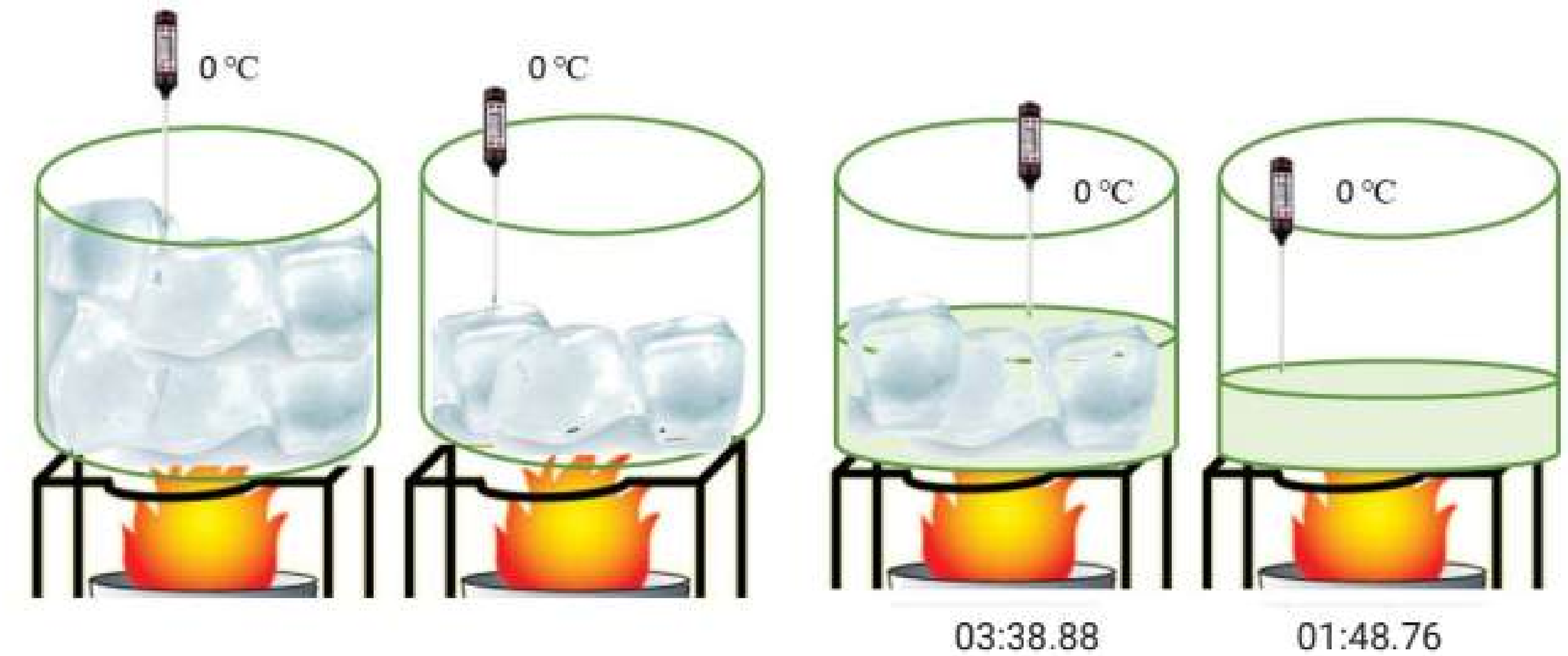
- кількість теплоти, яка необхідна для процесу плавлення;
- питому теплоту плавлення кристалічних тіл.

1. Кількість теплоти, яка необхідна для плавлення кристалічного тіла

З'ясуємо, від чого залежить кількість теплоти, яку необхідно надати кристалічному тілу, щоб його розплавити за температури плавлення.

Для цього виконаємо декілька дослідів у лабораторних умовах.

Дослід 1. Візьмемо дві однакові посудини. В одну посудину покладемо 200 г, а в другу — 100 г подрібненого льоду за температури 0 °С. Поставимо їх на однакові нагрівники (мал. 10.1, *а*) й увімкнемо секундоміри. Як бачимо на малюнку 10.1, *б*, для плавлення більшої маси льоду потрібно більше часу, а отже, необхідна більша кількість теплоти.



а *б*

Мал. 10.1.
Плавлення льоду

Чим більша маса кристалічного тіла, узятого за температури плавлення, тим більша кількість теплоти йому необхідна для повного переходу в рідкий стан.

Експериментально встановлено, що для плавлення різних кристалічних тіл однакової маси, узятих за температури плавлення, потрібна різна кількість теплоти.

Кількість теплоти, яку потрібно надати тілу, щоб його повністю розплавити, залежить від роду речовини.

2. Питома теплота плавлення та кристалізації речовини

Питома теплота плавлення — це фізична величина, що характеризує кристалічну речовину та показує, яку кількість теплоти потрібно надати речовині у твердому стані масою 1 кг, нагрітій до температури плавлення, щоб повністю перетворити її на рідкий стан за незмінної температури.

Внутрішня енергія речовини масою 1 кг, узятої за температури плавлення, у рідкому стані більша, ніж внутрішня енергія цієї ж маси речовини у твердому стані, на величину, яка чисельно дорівнює питомій теплоті плавлення.

Питому теплоту плавлення позначають символом λ і розраховують за формулою:

$$\lambda = \frac{Q}{m}.$$

Одиницею вимірювання питомої теплоти плавлення в системі СІ є ***джоуль на кілограм*** ($\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$).

У таблиці значень питомої теплоти плавлення (додаток 1, табл. 5) знайдемо питому теплоту плавлення олова — 58 $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$. Це означає, що для плавлення олова масою 1 кг, узятого за температури 232 °С (температури плавлення), потрібно затратити 58 000 Дж теплоти.

Отже, за температури плавлення внутрішня енергія олова масою 1 кг у рідкому стані більша на 58 кДж, ніж внутрішня енергія такої самої маси олова у твердому стані.

Також експериментально доведено, що під час зворотного процесу — кристалізації (твердіння) — виділяється така ж енергія (кількість теплоти), яка поглинається під час плавлення. Процес кристалізації починається за умови охолодження рідини до температури кристалізації (твердіння).

Щоб визначити кількість теплоти, яка необхідна для перетворення твердого кристалічного тіла масою m, узятого за температури плавлення, на рідину, потрібно питому теплоту плавлення λ помножити на масу тіла m:

$$Q = \lambda m.$$

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Питома теплота плавлення алюмінію дорівнює 393 $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$. Що це означає?

3. Приклад розв'язування задачі

Задача. Рибалки вирішили зробити собі нові грузила різних форм. Для цього їм знадобився шматок олова масою 200 г, який вони розплавили та залили в заздалегідь підготовлені форми. Визначте кількість теплоти, витраченої на весь процес плавлення олова, якщо його початкова температура була 22 °С.

Дано:	СІ		Розв'язання:
$m = 200$ г	0,2 кг	$Q = Q_1 + Q_2$	$Q_1 = 230 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot°\text{С}} \cdot 0{,}2 \text{ кг} \cdot$
$t_1 = 22$ °С		$Q_1 = cm(t_2 - t_1)$	$\cdot (232 °\text{С} - 22 °\text{С}) = 9660$ Дж
$t_2 = 232$ °С		$Q_2 = \lambda m$	$Q_2 = 58\,000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot°\text{С}} \cdot 0{,}2 \text{ кг} =$
$c = 230 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot°\text{С}}$			$= 11\,600$ Дж
$\lambda = 58 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot°\text{С}}$	$58\,000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot°\text{С}}$		$Q = 9660 \text{ Дж} + 11\,600 \text{ Дж} =$
			$= 21\,260$ Дж
Q — ?			

Відповідь: $Q = 21\,260$ Дж.

Запам'ятайте

Чим більша маса кристалічного тіла, узятого за температури плавлення, тим більша кількість теплоти йому необхідна для повного плавлення.

Кількість теплоти, яку потрібно надати тілу, щоб його повністю розплавити, залежить від роду речовини.

Питома теплота плавлення — фізична величина, що характеризує кристалічну речовину та показує, яку кількість теплоти потрібно надати речовині у твердому стані масою 1 кг, нагрітій до температури плавлення, щоб повністю перетворити її на рідкий стан за незмінної температури.

Внутрішня енергія речовини масою 1 кг, узятої за температури плавлення, у рідкому стані більша, ніж внутрішня енергія цієї ж маси речовини у твердому стані, на величину питомої теплоти плавлення.

Перевірте себе

1. Визначте кількість теплоти, яку необхідно затратити, щоб 100 г льоду, узятого за температури 0 °С, повністю розплавити.

2. Визначте енергію, що виділиться під час кристалізації свинцю масою 2 кг. Початкова температура свинцю дорівнює 327 °С.
3. Визначте кількість енергії, яка потрібна для плавлення бруска міді масою 400 г, узятого за температури 23 °С.
4. Для плавлення бруска із цинку, узятого за температури 20 °С, потрібна енергія 136 кДж. Визначте масу бруска.
5. Туристи для приготування води температурою 80 °С, поклали в казанок брилу льоду масою 4 кг. Температура льоду була −5 °С. Визначте енергію, необхідну для приготування води. Теплоємністю казанка знехтуйте.
6. Скільки торфу потрібно спалити, щоб розплавити олово масою 1 кг, узяте за температури 32 °С? Уся теплота, що виділяється під час повного згоряння палива, витрачається на цей процес.

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Питома теплота плавлення речовини	Specific heat of fusion

§ 11. Пароутворення та конденсація

Коли в спекотний літній день стовпчик термометра ледь «не злітає» від високої температури, тіло людини, незважаючи на легкий одяг, спожиті прохолодні напої та великі порції морозива, вкривається крапельками поту, який виділяють потові залози. Це створює певний дискомфорт, але допомагає нашому організмові охолодитися.

А як захищається від перегрівання тіло наших чотирилапих друзів — собак, яке вкрите густою шерстю? Не раз ми спостерігали, як вони важко дихають і висолоплюють язик, з якого стікає крапельками слина. Чому в спеку собаки висовують язик?

Дізнайтеся про...

- пароутворення та його способи;
- чинники, які впливають на швидкість випаровування;
- процес конденсації.

1. Пароутворення та його способи

Ми часто спостерігали за тим, як улітку дуже швидко висихає випрана білизна, зникають калюжі після дощу, річки та озера міліють, рослини в'януть, а домашні улюбленці ховаються в затінку. Як це пояснити?

Відомо, що будь-яка речовина може переходити з одного агрегатного стану в інший.

Пароутворення — процес переходу речовини з рідкого стану в газоподібний.

Є два способи пароутворення: **випаровування та кипіння** (про кипіння ви дізнаєтеся в наступному параграфі).

Випаровування — процес пароутворення, який може відбуватися з вільної поверхні рідини за будь-якої температури.

Молекули рідини безперервно рухаються з різними швидкостями і мають різні енергії. Якщо молекула перебуває біля вільної поверхні рідини і має велику енергію, достатню для того, щоб подолати притягання сусідніх молекул, то вона вирівається з рідини, утворюючи над нею пару (мал. 11.1). При цьому внутрішня енергія рідини зменшується, вона охолоджується.

Мал. 11.1.
Утворення пари

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Люди, відпочиваючи біля водойм у спеку, люблять поплавати в них. Коли ж вони виходять з води, то відчувають прохолоду? Чому?

2. Від чого залежить швидкість випаровування?

Рослинам для росту потрібні не лише сонячне світло і тепло, а й вода. У посушливий період їх поливають рано-вранці або ввечері. А чому не в обідню пору?

Вранці та ввечері температура повітря нижча, ніж у полудень. Вода під час поливу потрапляє в ґрунт. Більша її частина просочується до кореневої системи, щоб живити рослини, а менша — випаровується. Коли температура повітря дуже висока, вода інтенсивно випаровується з ґрунту і майже не доходить до коріння.

Швидкість випаровування залежить **від температури**. ***Чим вища температура рідини, тим швидше вона випаровується.***

Виправши білизну, хочемо, щоб вона якнайшвидше висохла, тобто щоб молекули води швидше випарувалися. Для цього її треба розвісити. Можна

перекинути білизну через шнур, але краще прикріпити за кінчики прищіпками (мал. 11.2). Так площа вільної поверхні буде більша і вода випаровуватиметься інтенсивніше, тому що випаровуються тільки ті молекули, які перебувають на вільній поверхні рідини.

Флора Землі дуже різноманітна. Розглянувши листок рослини, можна сказати, у яких умовах вона росте. Рослини вологих тропічних лісів (мал. 11.3) мають велике, широке, шкірясте листя. А рослини пустель — колючки або маленькі листочки (мал. 11.4). Таке пристосування допомагає регулювати випаровування води з їхньої поверхні. Велика площа поверхні листя сприяє випаровуванню більшої кількості води. А маленька площа поверхні дрібних листочків або колючок зменшує швидкість випаровування.

То чому ж у спеку собаки висовують язик? Потові залози в собаки розташовані між пальцями лап і на язиці. Для того щоб хоч якось допомогти собі під час сильної задухи, тварина висовує язик. Так вона збільшує поверхню, з якої відбувається випаровування рідини, необхідне для охолодження тіла.

Швидкість випаровування залежить **від площі вільної поверхні рідини.** ***Чим площа вільної поверхні рідини більша, тим рідина випаровується швидше.***

Мал. 11.2.
Сушіння білизни

Мал. 11.3.
Тропічні рослини

Мал. 11.4.
Рослини пустелі

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Чому в спекотні дні чай краще пити з з неглибокої посудини відносно широкого діаметра?
2. Традиційним українським напоєм є узвар, який готують із сухофруктів, нарізаних тонкими скибками. Чому їх так нарізають для сушіння?

За даними супутникової розвідки, значна частина океану вкрита розлитою з танкерів

нафтою. Це суттєво впливає не тільки на екосистему океану, а й на кількість опадів у цьому регіоні. Чому так? Нафта утворює плівку на воді й перешкоджає її випаровуванню. Кількість вологи, що потрапляє в атмосферу, зменшується. Сама нафта дуже повільно випаровується, тому для очищення океану використовують спеціальні судна-нафтозбірники, які збирають розлиту нафту за допомогою механічних засобів і технології поглинання нафти різними сорбентами (мал. 11.5).

Мал. 11.5.
Забруднення
Світового океану нафтою

Швидкість випаровування залежить **від роду рідини**. ***Швидше випаровуються ті рідини, молекули яких притягуються одна до одної з меншою силою і мають меншу масу.***

У культурі кожного народу є свої сталі вирази — ідіоми, для розуміння яких необхідно знати особливості мови, літератури й культури конкретної країни. У нас, в Україні, коли діти вередують, не хочуть їсти гарячий суп, від дорослих можна почути: «А що, гаряче? Маєш вітер під носом». Що означає цей вираз з погляду фізики?

Випаровуючись з поверхні рідини, молекули забирають енергію, і рідина охолоджується. Але молекули пари в повітрі рухаються хаотично, тому частина з них повертається назад у рідину. Разом з ними повертається енергія. Щоб цього уникнути, потрібно дмухати на страву, тоді менше молекул повертатиметься в рідину. Чим сильніший рух повітря над рідиною, тим менше їх повертатиметься і тим швидше охолоджуватиметься рідина.

Отже, ***швидкість випаровування залежить від швидкості руху повітря над поверхнею рідини.***

Поміркуйте і дайте відповідь

1. У яку погоду швидше висихає скошена трава — тиху чи вітряну?
2. Як впливають полезахисні лісосмуги на швидкість випаровування води з ґрунту?

Вивішена білизна взимку в морозяну погоду замерзає, але все одно висихає. Це свідчить про те, що твердим тілам теж властиве випаровування. Для твердих тіл цей процес називають **сублімацією**. У разі сублімації, як і під час випаровування, речовина охолоджується.

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

3. Процес конденсації

Поряд із процесом випаровування існує зворотний процес — **конденсація.**

Конденсація — явище перетворення речовини з газоподібного стану на рідкий.

Конденсація супроводжується виділенням теплоти.

Прикладом конденсації є випадання роси влітку ввечері, коли знижується температура; утворення туману та хмар (мал. 11.6).

Мал. 11.6.
Приклади конденсації

За певних умов можливий перехід речовини з газоподібного у твердий стан без конденсації (***десублімація***). Прикладом цього явища у природі є утворення взимку інею та сніжинок (мал. 11.7).

Мал. 11.7.
Утворення інею (паморозі)

Запам'ятайте

Пароутворення — процес переходу речовини з рідкого стану в газоподібний.

Випаровування — процес пароутворення, який може відбуватися з вільної поверхні рідини за будь-якої температури.

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

Конденсація — явище перетворення речовини з газоподібного стану на рідкий.

Конденсація супроводжується виділенням теплоти.

Перевірте себе

1. Які теплові процеси зображено на малюнках 11.8?

Мал. 11.8.
Зображення теплових процесів

2. Чому, щоб захистити у спеку продукти від псування, інколи їх накривають вологою тканиною?
3. Чому, протираючи спиртовим розчином руки для дезінфекції, лікар відчуває прохолоду?
4. Якщо резервуар одного термометра обгорнути сухою ватою, а іншого — вологою, то їхні показники будуть різні. Чому?

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Пароутворення	Vaporization
Випаровування	Evaporation
Конденсація	Condensation
Сублімація	Sublimation

§ 12. Кипіння

Малий Чарлі Бакет мешкав у дерев'яній хатинці на краю великого міста. Він дуже любив шоколад, яким міг поласувати, перед тим поділившись зі своєю родиною, лише один раз на рік у день свого народження. Хлопчик мав заповітну мрію — відвідати шоколадну фабрику Віллі Вонки. І ось одного разу вона здійснилася. «...Чарлі Бакет почав розглядати велетенську залу, у якій вони опинилися. Зала нагадувала якусь відьомську кухню! Скрізь кипіли й булькали на величезних плитах чорні металеві казани, а ще свистіли чайники, шипіли каструлі, бряжчали й шкварчали дивні залізні апарати, по стінах і по стелі звиїлися труби, і всю залу наповнювали дим, пара та розкішні смачні пахощі» (Роальд Дал, «Чарлі і шоколадна фабрика»).

І знову фізика! У приготуванні шоколаду «сховалися» теплові процеси — відомі й невідомі. Які?

Дізнайтеся про...

- кипіння;
- питому теплоту пароутворення і конденсації.

1. Кипіння

З попереднього параграфа ми знаємо, що випаровування відбувається за будь-якої температури. Але є ще один спосіб утворення пари — це **кипіння**. Що таке кипіння і як воно відбувається?

Якщо взяти посудину з водою і поставити її на нагрівник (мал. 12.1, *а*), то через деякий час на її дні можна побачити маленькі сріблясті кульки. Що це таке? У воді, як і в інших рідинах, завжди є розчинене повітря. Коли вода холодна — воно невидиме для неозброєного людського ока. Під час нагрівання води повітря теж нагрівається, його об'єм збільшується і воно стає видимим — утворюються бульбашки, усередині яких є не лише повітря, а й молекули водяної пари (мал. 12.1, *б*). Чим вища температура води, тим об'єм бульбашок стає більшим і пари в них — теж більше.

а

б

Мал.12.1.
а — вода в чайнику перед кипінням; *б* — вода в чайнику під час кипіння

Пригадайте вивчене

На тіло, занурене в рідину або газ, діє виштовхувальна (архімедова) сила. Вона залежить від густини цієї рідини та об'єму зануреної частини тіла і напрямлена вертикально вгору.

На будь-яке тіло, що перебуває на Землі, діє сила земного тяжіння, напрямлена вертикально вниз до центра Землі.

Повітряна бульбашка перебуватиме на дні посудини до того часу, поки сила тяжіння більша за архімедову силу. У міру збільшення її об'єму внаслідок нагрівання архімедова сила зростає і виштовхує бульбашку з води. Теплопередача під час нагрівання рідини здійснюється за допомогою конвекційних потоків (спочатку прогріваються нижні шари рідини, а верхні залишаються холодними). Коли бульбашка піднімається вгору та потрапляє в холодну воду, її об'єм різко зменшується і ми чуємо потріскування. Такий шум спостерігається завжди перед закипанням води. Тільки тоді, коли вся рідина прогріється рівномірно, ці звуки припиняться і почнеться процес кипіння. Бульбашки зможуть досягнути поверхні, тріснути, і водяна пара вийде з них.

Кипіння — інтенсивний процес пароутворення, який відбувається не лише з вільної поверхні рідини, а й з її середини за допомогою бульбашок.

Кожна рідина має свою **температуру кипіння**, яка залежить від роду речовини та атмосферного тиску. ***Чим атмосферний тиск більший, тим температура кипіння вища. Під час кипіння температура рідини не змінюється, оскільки вся отримана енергія витрачається на руйнування зв'язків між молекулами.***

Таку залежність температури кипіння від атмосферного тиску закладено у принцип роботи стерилізаторів медичних (мал. 12.2) і перукарських інструментів, каструль-скороварок (мал. 12.3), автоклавів для консервування. Температури кипіння більшості рідин відомі (додаток 1, табл. 6).

Мал.12.2.
Стерилізатор медичний

Мал.12.3.
Каструля-скороварка

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Українські Карпати мають багато високих гір. Серед них — Говерла висотою 2061 м, Бребенеску — 2032 м, Піп Іван Чорногірський — 2028 м, Петрос — 2020 м, Ребра — 2001 м, Брескул — 1911 м. На якій вершині Українських Карпат температура кипіння води буде найнижчою? Найвищою? Чому?

2. Питома теплота пароутворення

Щоб температура рідини під час кипіння не змінювалася, до неї треба підводити теплоту.

Різні рідини однакової маси потребують різної кількості теплоти, щоб за своєї температури кипіння повністю перейти з рідкого агрегатного стану в газоподібний.

Їх визначено експериментально для рідин масою 1 кг і названо ***питомою теплотою пароутворення***.

Питома теплота пароутворення — фізична величина, що характеризує речовину і показує, яка кількість теплоти необхідна для перетворення рідини масою 1 кг, узятої за температури кипіння, на пару.

Питому теплоту пароутворення речовини позначають символом r і розраховують за формулою:

$$r = \frac{Q}{m}.$$

Одиницею вимірювання питомої теплоти пароутворення речовини в системі СІ є ***джоуль на кілограм*** ($\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$).

У таблиці значень питомої теплоти пароутворення речовин (додаток 1, табл. 7) знайдемо питому теплоту пароутворення води — 2260 $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$. Це означає, що для перетворення води масою 1 кг, узятої за температури 100 °С (температури кипіння) та нормального атмосферного тиску (760 мм рт. ст.), з рідкого стану в газоподібний (пару) потрібно затратити 2260 кДж теплоти.

Отже, за температури кипіння внутрішня енергія водяної пари масою 1 кг у газоподібному стані більша на 2 260 000 Дж, ніж внутрішня енергія такої самої маси води в рідкому стані.

Щоб визначити кількість теплоти, необхідної для перетворення рідини масою m, узятої за температури кипіння, на пару, потрібно питому теплоту пароутворення r помножити на масу тіла m:

$$Q = rm.$$

Також експериментально доведено, що під час зворотного процесу — **конденсації** — виділяється така ж енергія (кількість теплоти), яка погли-

ається під час пароутворення. Процес конденсації починається за умови охолодження пари до температури конденсації.

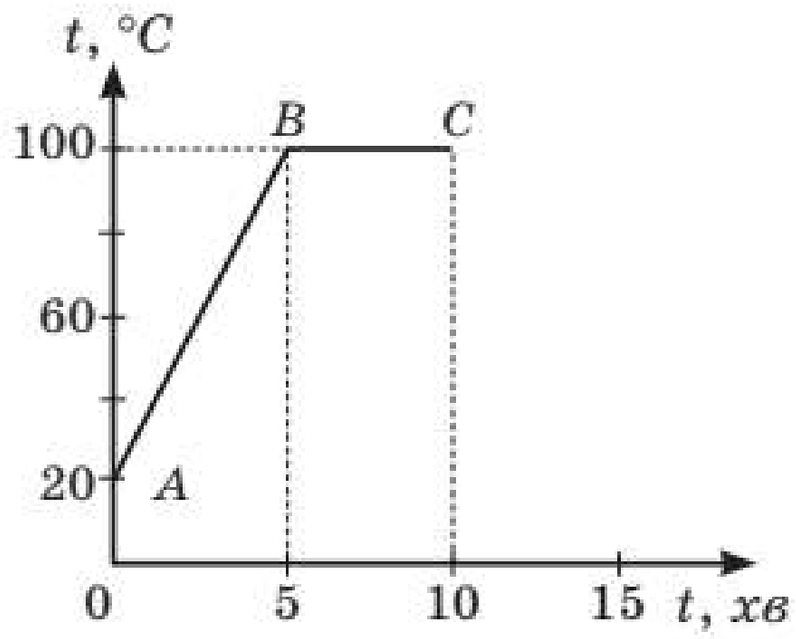
Для кожної речовини температури кипіння і конденсації однакові.

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Використовуючи таблицю значень питомої теплоти пароутворення речовин (додаток 1, табл. 7), установіть, для перетворення якої рідини масою 1 кг, узятої за температури кипіння, на пару потрібно затратити найбільшу та найменшу кількість теплоти.

3. Приклад розв'язування задачі

Розглянемо графік кипіння рідини (мал. 12.4). Ділянка AB відповідає процесу нагрівання речовини в рідкому стані. Ділянка BC — процесу кипіння рідини. З графіка видно, що температура кипіння рідини дорівнює 100 °C (під час кипіння температура рідини не змінюється). Отже, він побудований для води.



Мал.12.4. Графік кипіння рідини

Задача. За графіком кипіння (мал. 12.4) визначте загальну кількість теплоти, яку потрібно витратити для здійснення теплових процесів, що відбуваються з водою масою 500 г.

Дано:	СІ		Розв'язання:
$m = 500$ г	0,5 кг	$Q = Q_1 + Q_2$	$Q_1 = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot°\text{C}} \cdot 0{,}5$ кг $\cdot (100\ °\text{C} - 20\ °\text{C}) =$
$t_1 = 20$ °C		$Q_1 = cm(t_2 - t_1)$	$= 168\,000$ Дж
$t_2 = 100$ °C		$Q_2 = rm$	$Q_2 = 2\,260\,000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot°\text{C}} \cdot 0{,}5$ кг $= 1\,130\,000$ Дж
$c = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot°\text{C}}$			$Q = 168\,000$ Дж $+ 1\,130\,000$ Дж $=$
$r = 2260 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}\cdot°\text{C}}$	$2\,260\,000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot°\text{C}}$		$= 1\,298\,000$ Дж
Q — ?			

Відповідь: $Q = 1\,298\,000$ Дж.

Запам'ятайте

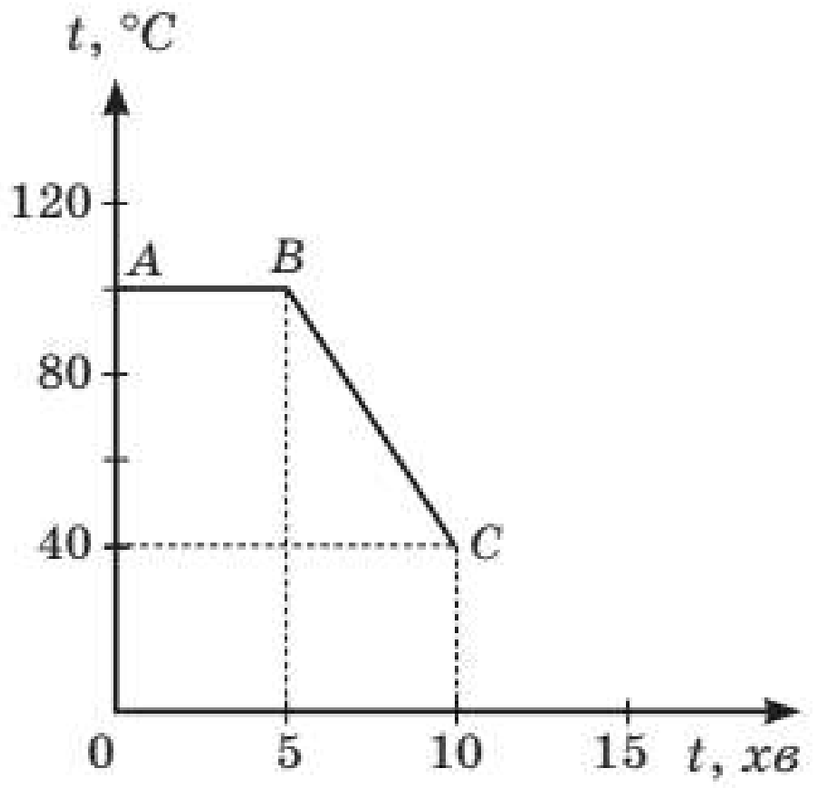
Кипіння — інтенсивний процес пароутворення, який відбувається не лише з вільної поверхні рідини, а й з її середини за допомогою бульбашок.

Питома теплота пароутворення — фізична величина, що характеризує речовину і показує, яка кількість теплоти необхідна для перетворення рідини масою 1 кг, узятої за температури кипіння, на пару.

Внутрішня енергія речовини масою 1 кг, узятої за температури кипіння, у газоподібному стані більша, ніж внутрішня енергія цієї ж маси речовини в рідкому стані, на величину питомої теплоти пароутворення.

Перевірте себе

1. Визначте кількість теплоти, яку необхідно затратити, щоб 100 г спирту, узятого за температури кипіння, повністю перетворити на пару.
2. Для випаровування рідкого ефіру, узятого за температури 35 °С, потрібна енергія 71 кДж. Визначте масу ефіру.
3. Розгляньте графік конденсації (мал. 12.5) для рідини масою 1,5 кг. Назвіть теплові процеси, яким відповідають ділянки графіка *AB* та *BC*. Для якої речовини побудовано цей графік? Визначте кількість теплоти, яка виділиться під час цих теплових процесів.
4. Визначте кількість теплоти, яку потрібно затратити, щоб розплавити лід масою 5 кг, узятий за температури −15 °С, нагріти воду до температури кипіння і п'яту її частину перетворити на пару.



Мал.12.5.
Графік конденсації

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Кипіння	Boiling
Температура кипіння	Boiling point\ temperature
Питома теплота пароутворення	Specific heat of vaporization

§ 13. Робота газу й пари під час розширення. Теплові машини. Двигун внутрішнього згоряння. Парова турбіна

Люди здавна прагнули полегшити собі роботу, але це було непросто. Спочатку почали застосовувати прості механізми. У II ст. до н. е. Герон Александрійський створив першу парову машину — прообраз парової турбіни. Однак двигун був занадто малий, щоб здійснювати будь-яку роботу. Згодом навчилися використовувати енергію води та вітру для виконання деяких видів робіт — з'явилися водяні та вітрові двигуни. І аж у XVII ст. сконструювали перші теплові двигуни, які згодом здійснили революцію у виробництві — почали виконувати величезний обсяг різноманітної роботи за рахунок енергії палива. Зараз теплові двигуни є лідером серед пристроїв для виконання робіт.

Дізнайтеся про...

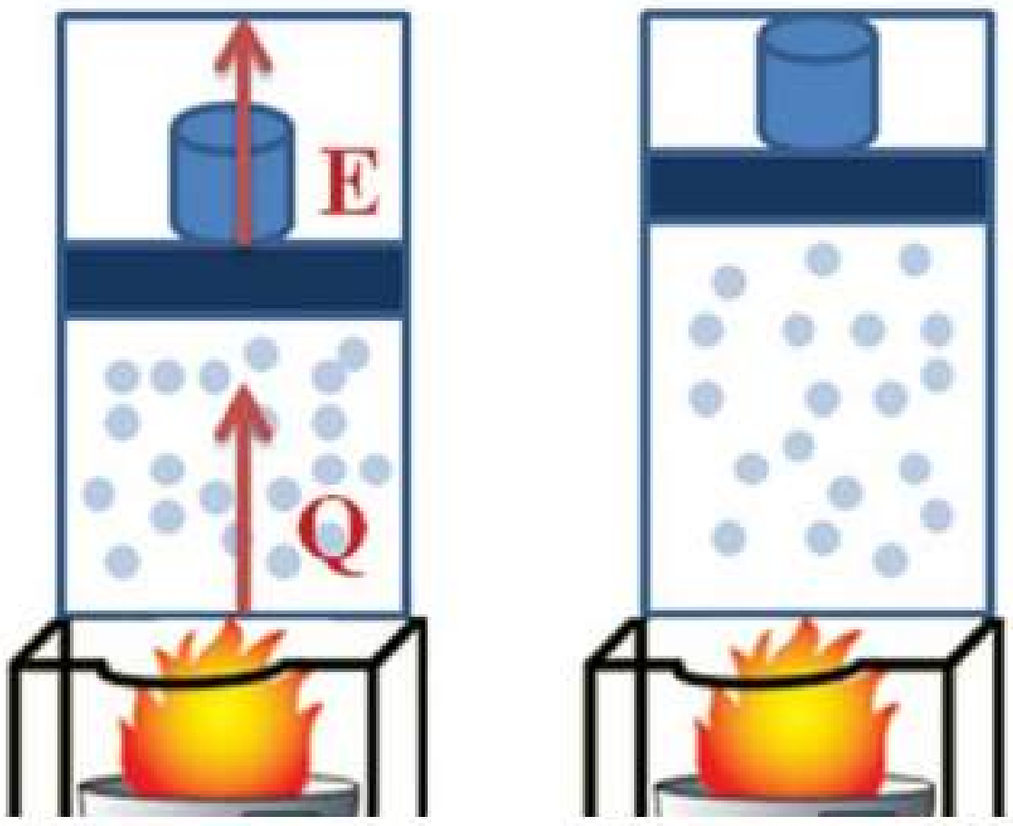
- теплові машини;
- теплові двигуни;
- двигун внутрішнього згоряння;
- парову турбіну.

1. Робота газу й пари під час розширення

Якщо пробірку з водою щільно закрити корком і нагрівати, то через деякий час пара, що утвориться внаслідок кипіння води, виштовхне його. Внутрішня енергія пари перетворюється на механічну.

Замінимо пробірку на металевий циліндр, у якому є газ, закритий поршнем, що щільно прилягає до стінок циліндра і може переміщуватись у ньому (мал. 13.1). Під час нагрівання газ буде розширюватися і піднімати поршень, навіть з вантажем.

У більшості теплових машин нагрітий до високої температури газ або пара виконує механічну роботу.



Мал. 13.1.
Перетворення теплової енергії на механічну

Теплова машина — механізм, що виконує механічну роботу за рахунок теплової енергії.

Теплові машини використовують у транспорті, промисловості, сільському господарстві, побуті.

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Наведіть відомі вам приклади теплових машин.

2. Теплові двигуни

Різновидом теплових машин є теплові двигуни.

Тепловий двигун — пристрій, у якому внутрішня енергія палива перетворюється на механічну.

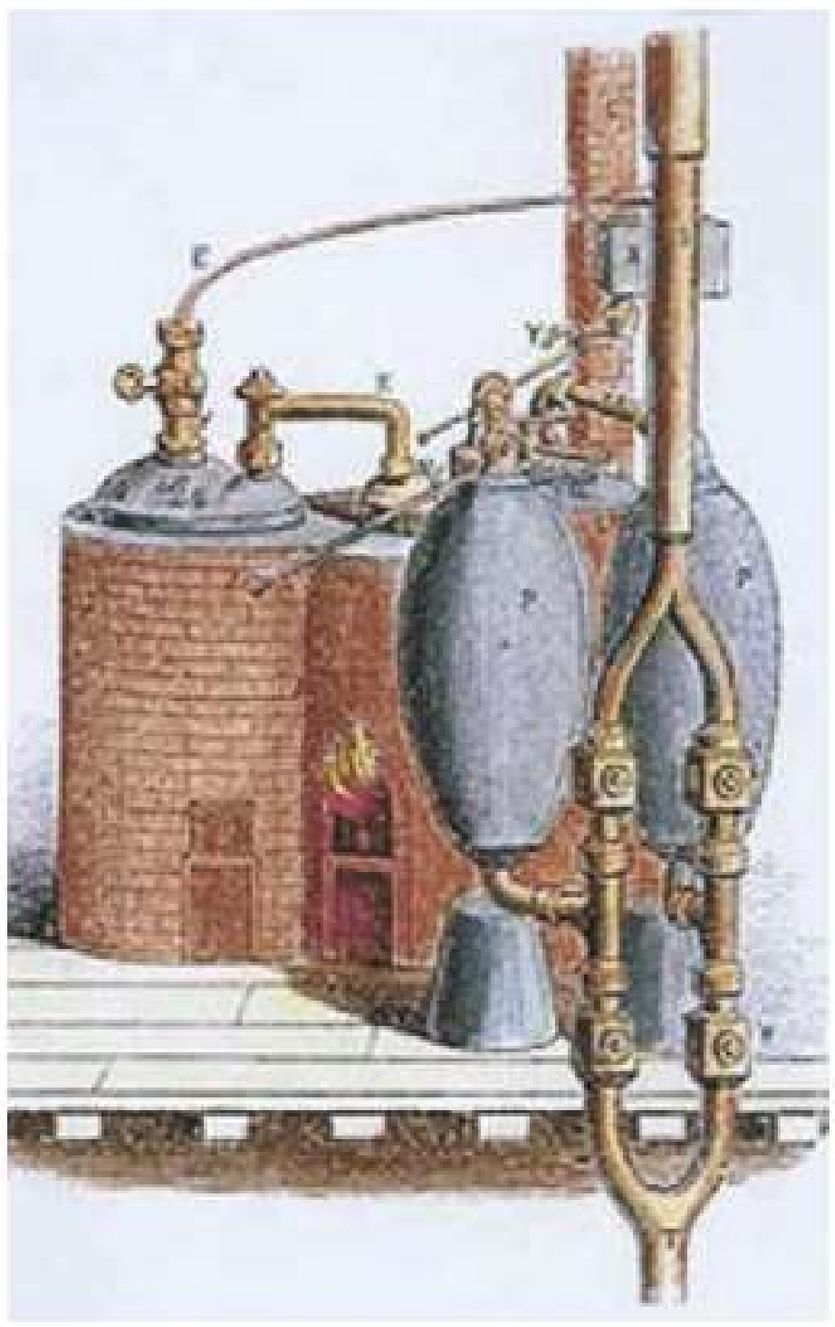
Теплові двигуни є таких видів: *двигун внутрішнього згоряння, реактивний двигун, парова або газова турбіна*.

Першим тепловим двигуном була парова машина, яку в 1698 р. винайшов Томас Севері. Він назвав її «Вогневою машиною» (мал. 13.2). Цю машину використовували для відкачування води із затоплених шахт. Вона споживала надто багато палива. Тому навіть шахті з вугіллям, розташованій поряд, було б не під силу забезпечити її паливом.

Парова машина — основний вид теплових двигунів у XVIII—XIX ст. Тепер такий двигун не використовують, бо його ефективність дуже низька.

Будову і принцип дії реактивного двигуна ви будете вивчати у старших класах.

Зараз ми детально поговоримо про двигун внутрішнього згоряння і парову турбіну.

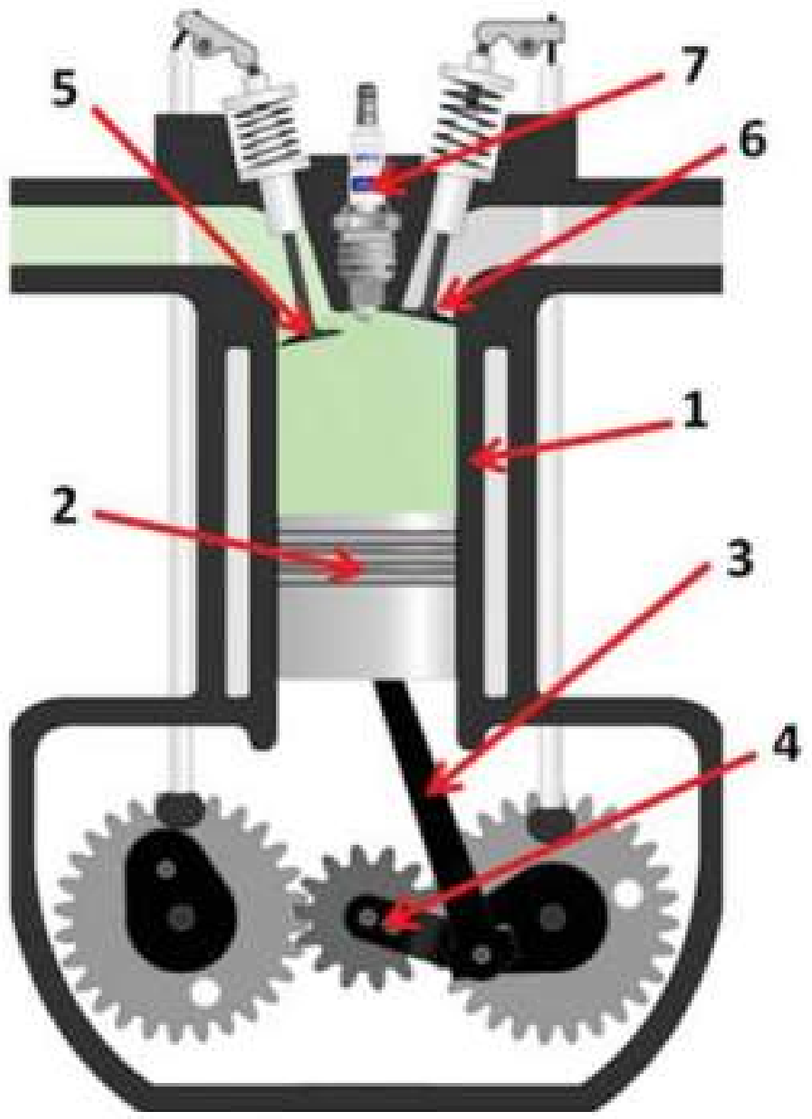


Мал. 13.2.
Машина Севері, 1698 р.

3. Двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ)

Натепер найпоширенішим видом теплового двигуна є двигун внутрішнього згоряння. Він — «серце» автомобільного транспорту, морських і річкових суден, тепловозів на залізниці, легкомоторних літаків, генераторів електричного струму.

Двигун внутрішнього згоряння — тепловий двигун, усередині якого згоряє паливо. У ДВЗ використовують бензин, дизельне паливо, спирт, а також горючий газ. Розглянемо принцип дії бензинового двигуна (його ще називають карбюраторним).

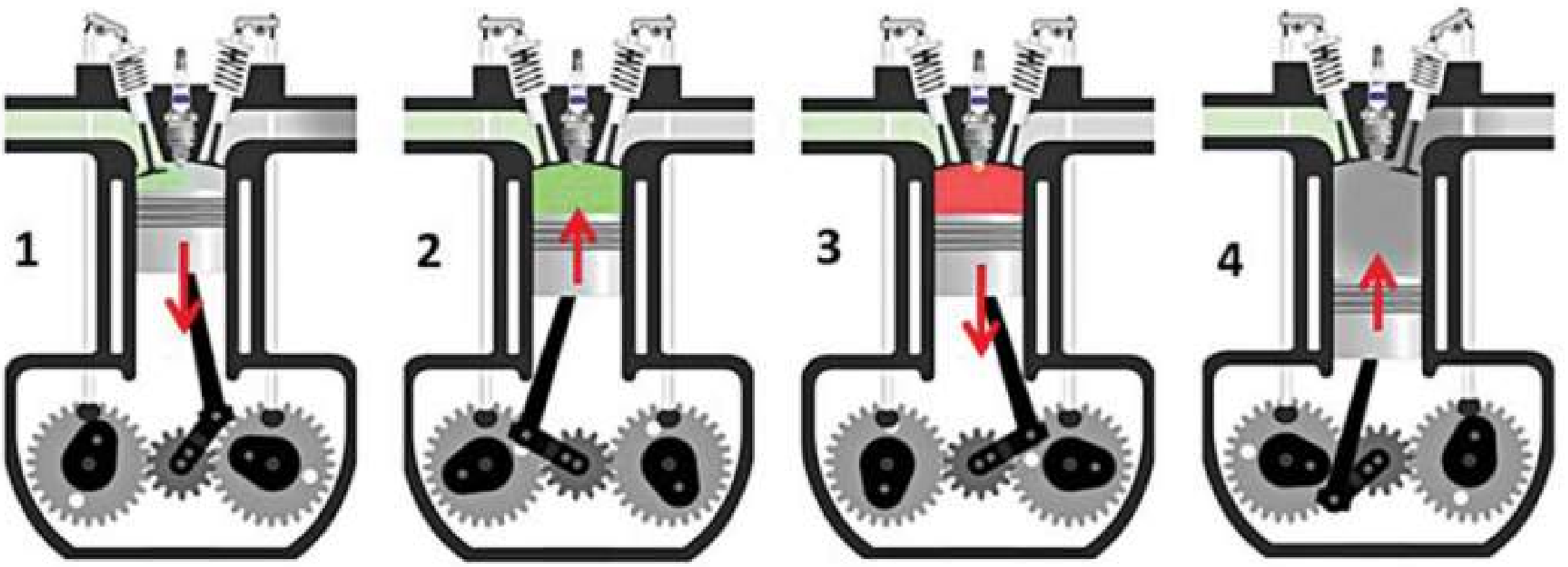


Мал. 13.3.
Будова двигуна внутрішнього згоряння

Основою такого двигуна (мал. 13.3) є циліндр (1). У циліндрі рухається поршень (2). Максимальне верхнє розташування поршня називають верхньою мертвою точкою. Відповідно, найнижче розташування поршня — нижньою мертвою точкою. Перехід поршня між цими точками називають ***тактом***. Поршень за допомогою шатуна (3) з'єднаний з колінчастим валом (4).

Таке поєднання призводить до перетворення поступального руху поршня на обертальний рух колінвала. Для того щоб обертальний рух колінвала був рівномірний, на одному з його кінців закріплено масивний диск (маховик). У верхній частині циліндра є впускний (5) і випускний (6) клапани та свічка запалювання (7).

Робочий цикл у такому двигуні відбувається за 4 такти (мал. 13.4).



Мал. 13.4.
Такти робочого циклу двигуна внутрішнього згоряння

1 такт (впуск). Поршень рухається вниз, створюючи розрідження в циліндрі. У цей час відкривається впускний клапан, через який надходить суміш бензину з повітрям.

2 такт (стиск). Поршень рухається вгору. Обидва клапани закриті. Робоча суміш стискається. Коли поршень доходить до верхньої мертвої точки, пальна суміш загоряється від іскри, створеної свічкою.

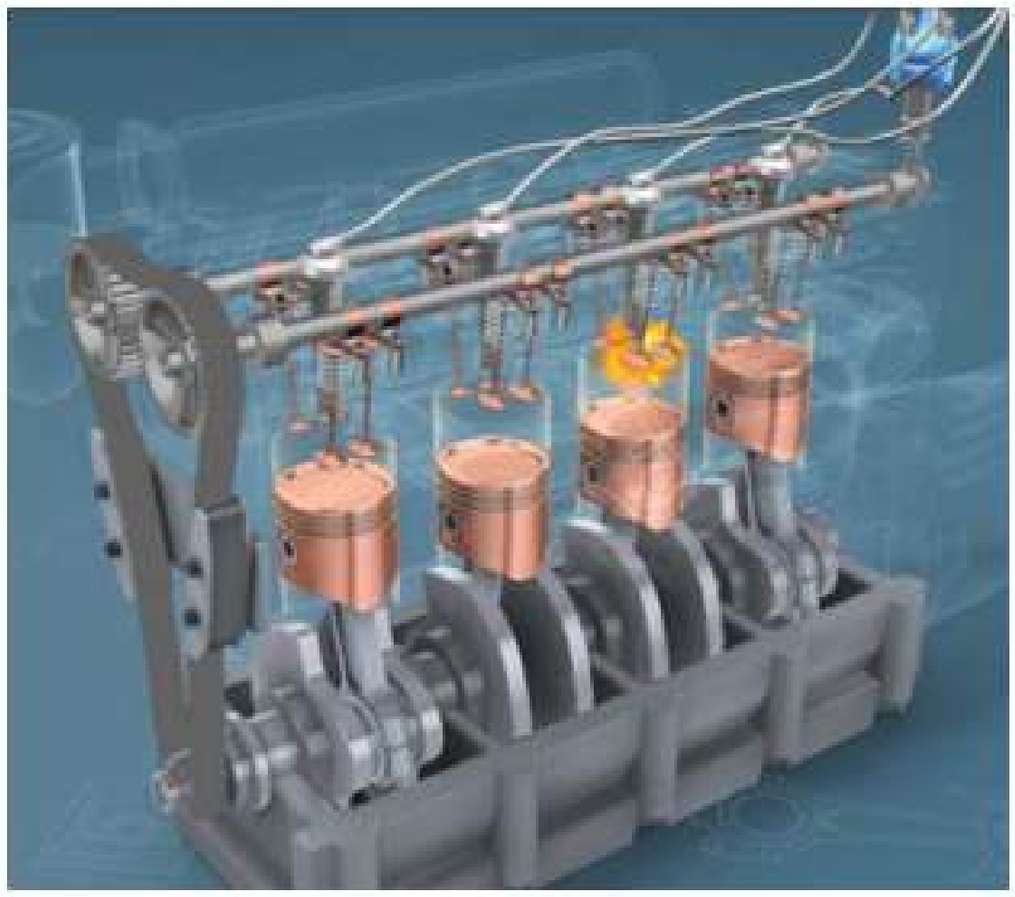
3 такт (робочий хід). Газ, який утворюється внаслідок згоряння палива, розширюючись, тисне на поршень і переміщує його вниз. Поршень діє на шатун, а шатун — на колінчастий вал, змушуючи його разом з маховиком обертатися. Саме під час цього такту двигун виконує роботу.

4 такт (випуск). Оскільки маховик має велику масу, то він за інерцією продовжує обертатися і поршень починає рухатися вгору. У цей час відкривається випускний клапан, через який із циліндра виходить відпрацьований газ.

Потім знову все повторюється в наступному робочому циклі.

Двигун, у якому робочий цикл здійснюється за 4 такти, називають **чотиритактним**. Це найпоширеніший тип ДВЗ.

Для скутера, мотоцикла достатньо одноциліндрового ДВЗ. Щоб збільшити потужність ДВЗ, збільшують кількість циліндрів у ньому (мал. 13.5).



Мал. 13.5.
Модель чотирициліндрового двигуна внутрішнього згоряння

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Чи можна вважати ДВЗ такими, що не шкодять навколишньому середовищу?

4. Парова турбіна

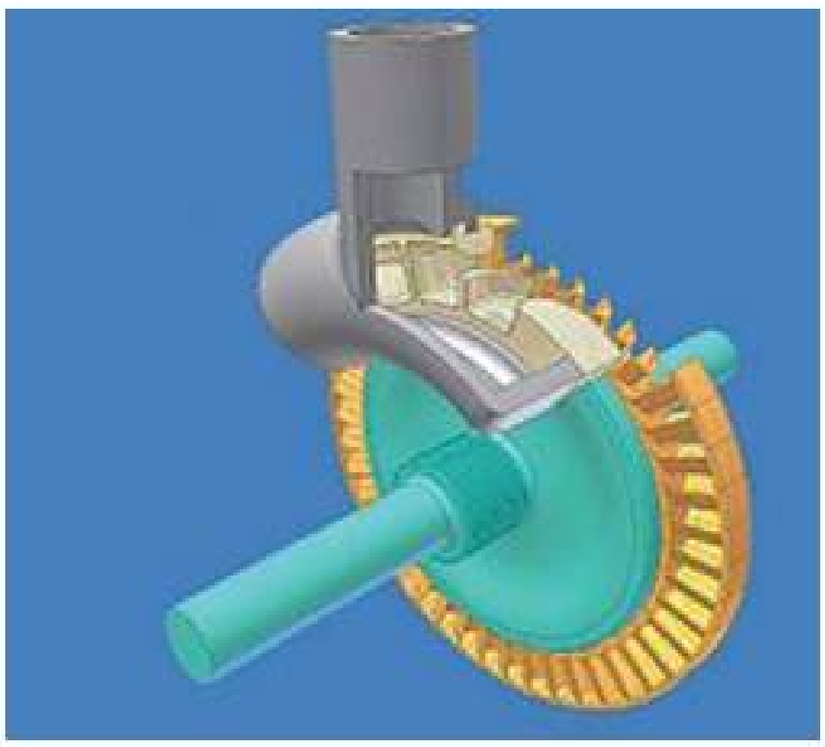
На теплових і атомних електростанціях використовують такий вид теплового двигуна, як парова турбіна.

Парова турбіна — тепловий двигун, у якому пара обертає вал без допомоги поршня, шатуна і колінчастого вала (мал. 13.6).

Парова турбіна (мал. 13.7) складається з диска з лопатками, закріпленого на валу, і сопел — трубок з вузькими отворами.

Пара, на яку перетворюється вода, отримавши енергію внаслідок згоряння палива, виривається під високим тиском із сопел, тисне на лопатки турбіни та обертає її. На одному валу з турбіною розташований генератор, який уже механічну енергію перетворює на електричну.

Мал. 13.6.
Парова турбіна



Мал. 13.7.
Модель одного щабля
парової турбіни

Запам'ятайте

Теплова машина — механізм, що виконує роботу за рахунок теплової енергії.

Тепловий двигун — пристрій, у якому внутрішня енергія палива перетворюється на механічну.

Перевірте себе

1. Заповніть таблицю.

Такт	Впуск	Стиск	Робочий хід	Випуск
Рух поршня	вниз			
Стан впускного клапана	відкритий			
Стан випускного клапана	закритий			
Виконання роботи	не виконується			

2. Порівняйте теплові двигуни: ДВЗ і парову турбіну. Оцініть переваги та недоліки кожного.
3. Підготуйте інформацію про історію винайдення дизельного двигуна внутрішнього згоряння.

Обдумайте, змоделюйте, зробіть...

Складіть алгоритм дій і виготовте модель парової турбіни, використавши тонку жерсть або картон, стальний дріт, ножиці, плоскогубці, клей.

Дотримуйтеся правил безпеки під час роботи!

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Теплова машина	Thermal machine\heat machine
Тепловий двигун	Heat engine
Двигун внутрішнього згоряння	Internal combustion engine (ICE or IC engine)
Парова турбіна	Steam turbine

§ 14. Коефіцієнт корисної дії (ККД) теплового двигуна. Екологічні проблеми використання теплових машин

Усі мріють мати власний автомобіль. За яким принципом його обирають? Хтось — за зовнішнім виглядом, хтось — за функціональними можливостями. Але всі цікавляться насамперед тим, яка кількість пального споживається на 100 км шляху. «Чим менше, тим краще», — такими словами ми оцінюємо коефіцієнт корисної дії двигуна автомобіля. Чому?

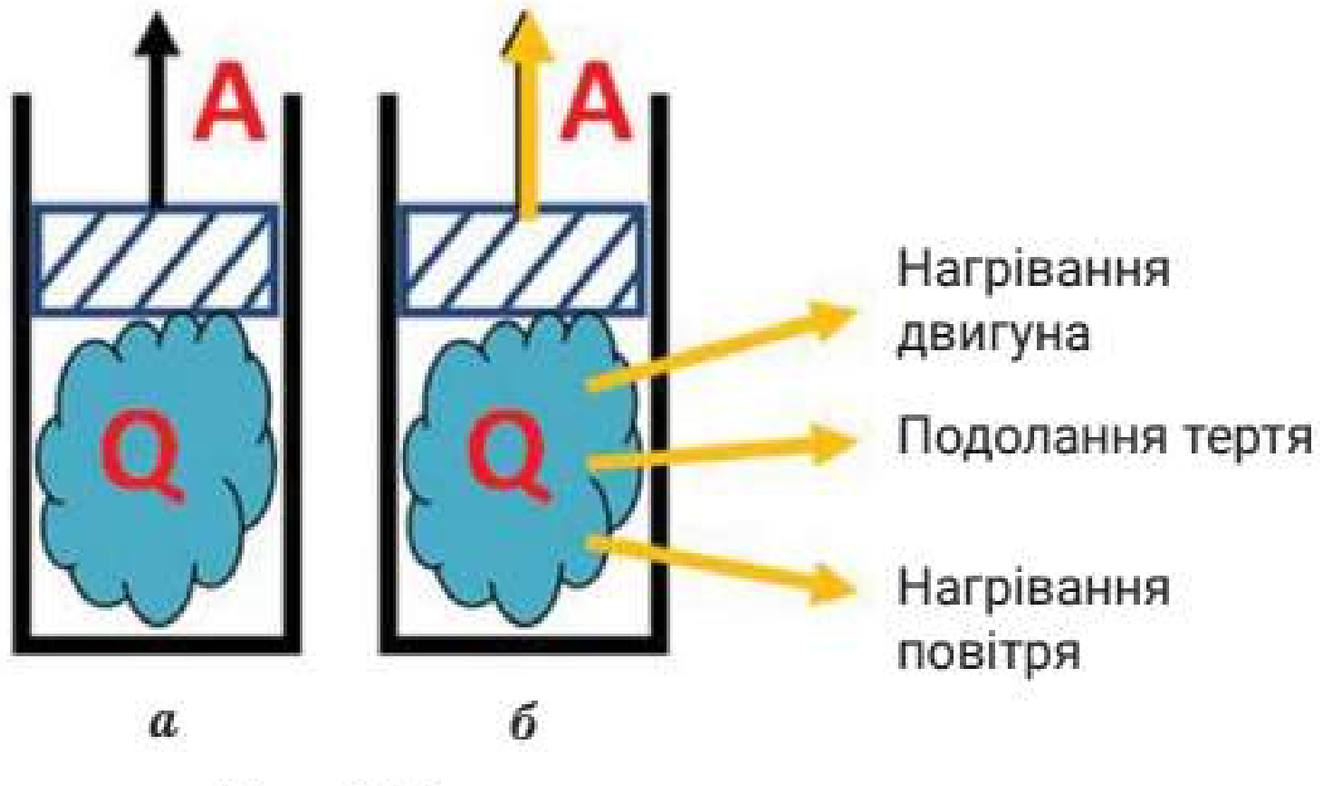
Дізнайтеся про...

- коефіцієнт корисної дії теплового двигуна;
- екологічні проблеми, пов'язані з використанням теплових двигунів.

1. Коефіцієнт корисної дії теплового двигуна

Кожен тепловий двигун виконує роботу за рахунок енергії, яка виділяється в процесі згоряння палива. У теорії — ефективність двигуна буде максимальною, коли вся виділена теплота піде на виконання роботи (мал. 14.1, *а*).

Але на практиці це не так. Бо за рахунок цієї теплоти нагрівається сам двигун, виконується робота для подолання сили тертя між рухомими деталями двигуна, що теж призводить до нагрівання, а ще частину теплоти виносять у навколишнє середовище відпрацьовані гази. Решта енергії іде на виконання роботи (мал. 14.1, *б*).



Мал. 14.1.
Розподіл теплоти

Очевидно, чим більша частина енергії палива витрачається на виконання роботи, тим ефективніший двигун. Показником його ефективності є коефіцієнт корисної дії.

Коефіцієнт корисної дії (ККД) теплового двигуна (η) — виражене у відсотках відношення роботи, яку виконує двигун (A), до кількості теплоти, що виділяється під час згоряння палива (Q).

$$\eta = \frac{A}{Q} \cdot 100\ \%.$$

ККД теплового двигуна завжди набагато менший за 100 %. У таблиці 1 наведено приклади ККД різних теплових двигунів.

Таблиця 1

Теплові двигуни	ККД
Парова машина	6—10 %
Двигун внутрішнього згоряння	25—40 %
Парова турбіна	40—50 %
Реактивний двигун	20—30 %

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Чому ККД турбіни більший за ККД двигуна внутрішнього згоряння?

2. Екологічні проблеми, пов'язані з використанням теплових машин

У побуті, техніці, транспорті, промисловості використовують велику кількість теплових машин і двигунів. Але їхня робота спричиняє екологічні проблеми, а саме: теплове, хімічне, шумове та інші види забруднення навколишнього середовища (мал. 14.2).

Мал. 14.2.
Джерела забруднення повітря

Відпрацьовані гази теплові двигуни викидають в атмосферу. Це спричиняє не лише забруднення повітря оксидом азоту та оксидом вуглецю, а й поступове підвищення середньої температури на Землі, яке може призвести до танення льодовиків (мал. 14.3) і катастрофічного підвищення рівня світового океану.

Танення льодових шапок уповільнює обертання Землі, і науковці не знають, як подолати цю проблему.

Деякі види теплових машин викидають в атмосферу речовини, які зумовлюють зменшення товщини озонового шару. А озоновий шар захищає від ультрафіолетового випромінювання Сонця все живе на Землі.

Мал. 14.3.
Танення льодовика

Паливо майже ніколи не згоряє цілком, тому відбувається забруднення повітря золою, пластівцями сажі. Крім того, викиди автомобільних вихлопних газів (мал. 14.4) можуть призводити до забруднення ґрунту та води. Це відбувається, коли шкідливі речовини осідають на поверхні ґрунту та рослинності, а потім можуть потрапляти в підземні води та поверхневі водойми.

Мал. 14.4.
Викиди вихлопних газів

Дизельне паливо містить сірку, яка під час горіння перетворюється на сірчану кислоту й виділяється в атмосферу. Це може спричинити кислотні дощі та підвищену кислотність ґрунту. Уже десятки років через забруднення атмосфери над Північною Америкою і Європою на ці території випадають кислотні дощі, що негативно впливає на екосистему.

Теплові двигуни, спалюючи органічне паливо (вугілля, газ, нафту), поступово вичерпують природні ресурси, які накопичувалися століттями. Робота цих двигунів супроводжується шумами, що згубно впливає на стан нервової системи. Тому нині перед людством постає завдання усунення причин, які призводять до забруднення навколишнього середовища. Ми маємо зберегти цей світ прекрасним і неповторним для себе й для наступних поколінь.

3. Приклад розв'язування задачі

Задача. Визначте масу дизельного палива, витраченого шкільним автобусом за годину роботи, якщо потужність його двигуна 114 кВт, а ККД 30 %.

Дано:	СІ		Розв'язання:
$t = 1$ год	3600 с	$\eta = \frac{A}{Q} \cdot 100\%$	$A = 114\,000$ Вт $\cdot$ 3600 с =
$N = 114$ кВт	114 000 Вт		$= 410\,400\,000$ Дж
$\eta = 30\%$		$Q = \frac{A \cdot 100\%}{\eta}$	$Q = \frac{410\,400\,000 \text{ Дж} \cdot 100\ \%}{30\ \%} =$
$q = 42\ \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$	$42\,000\,000\ \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	$A = Nt$	$= 1\,368\,000\,000$ Дж
m — ?		$Q = qm$	$m = \frac{1\,368\,000\,000 \text{ Дж}}{42\,000\,000 \text{ Дж}} \approx$
		$m = \frac{Q}{q}$	≈ 32 кг

Відповідь: $m \approx 32$ кг.

Запам'ятайте

Коефіцієнт корисної дії (ККД) теплового двигуна **(η)** — виражене у відсотках відношення роботи, яку виконує двигун (A) до кількості теплоти, що виділяється під час згоряння палива(Q).

Перевірте себе

1. Як збільшити ККД двигуна внутрішнього згоряння?
2. У яких галузях промисловості використовують парові машини?
3. Визначте корисну роботу, яку виконає тепловий двигун, ККД якого 20 %, якщо в ньому згоряє повністю 5 л бензину.
4. Визначте ККД двигуна вантажного автомобіля, який на виконання роботи 40 МДж витратив 5 л бензину.
5. Двигун трактора може розвивати потужність 60 кВт, споживаючи при цьому в середньому 18 кг дизельного палива за 1 год. Визначте ККД цього двигуна.
6. Визначте масу гасу, яка була витрачена для роботи двигунів літака, що пролетів відстань 500 км із середньою швидкістю 70 м/с. Середня потужність двигунів — 2 МВт, а їхній ККД — 50 %.

Обдумайте, змоделюйте, зробіть...

За складеним вами алгоритмом дій визначте ККД двигуна автомобіля улюбленої марки, дізнавшись з додаткових джерел інформації потужність двигуна і витрату палива на 100 км шляху. Вважайте, що автомобіль рухається із середньою швидкістю 72 км/год.

Дотримуйтеся правил безпеки під час роботи!

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Коефіцієнт корисної дії теплового двигуна	(Heat) engine efficiency\ efficiency of a (heat) engine

Здійсніть самоперевірку

- Заповнити пропущене «Зміна агрегатних станів»
- Логічні пари «Зміна агрегатних станів»
- Вільна текстова відповідь
- Правда чи брехня?
- Розв'яжи задачу

(https://f8.academiabook.club/samoperevirka-2-rozdil.html)

Виконайте проєкт, дотримуючись алгоритму (додаток 2)

Орієнтовні теми проєктів:

- Теплові двигуни — за і проти.
- Еволюція теплових машин.
- Альтернативна енергетика.
- Використовуємо знання фізики для збереження природних ресурсів.

Електричне поле.

Електричний струм

§ 15. Будова атома. Електризація тіл. Електричний заряд. Два роди електричних зарядів. Взаємодія заряджених тіл

Уявіть, що в зимовий вечір ви сидите біля каміна. Тихе потріскування полін, дрібні іскорки, які додають чарівності затишній атмосфері. Подібні іскорки можна побачити, коли знімаємо синтетичний одяг, розчісуємо волосся пластмасовим гребінцем, гладимо кота, торкаємося залізної дверної ручки, перед тим пройшовши по шерстяному килимку. Усі ці явища пов'язані з виділенням енергії, але джерела їх походження різні. Перші — це результат термічної реакції та горіння, а інші — ...?

Дізнайтеся про...

- будову атома;
- електризацію тіл;
- електричний заряд;
- два роди електричного заряду;
- взаємодію заряджених тіл.

1. Екскурс в історію дослідження атома

Ґрунтовне вивчення електричних явищ почалося у XVIII ст., але ще філософи Давньої Греції спростовували уявлення про існування духів і намагалися пояснити такі явища законами природи. Учені стверджували, що всі тіла складаються з дрібних матеріальних неподільних частинок — ***атомів***. Згідно з їхнім баченням, крім атомів і порожнечі, у якій атоми рухаються, нічого не існує. Усі явища природи можна пояснити рухом атомів. Слово «атом» грецького походження і означає «неподільний». Основоположник атомістичної теорії — Демокріт (460—370 рр. до н. е.).

Упродовж тривалого часу вчені, здійснюючи різноманітні дослідження, намагалися розгадати таємницю атома. У 1897 р. англійський фізик Джозеф-Джон Томсон припустив, що у складі атома містяться негативно заряджені «корпускули» (так він називав негативно заряджені частинки — ***електрони***). На основі своїх досліджень учений у 1904 р. запропонував «пудингову» модель атома (модель атома Томсона). Згідно із цією моделлю, неподільний атом складається зі сфери, що рівномірно заряджена «позитивною електрикою». У цю сферу («пудинг») вкраплені електрони («родзинки»). Сумарний від'ємний електричний заряд

електронів дорівнює позитивному заряду сфери, тому загалом атом є нейтральним.

На зміну «пудинговій» моделі прийшла планетарна модель атома, яку запропонував у 1911 р. британський фізик Ернест Резерфорд. Згідно із цією моделлю, атом складається з невеликого позитивно зарядженого ядра, де зосереджена майже вся маса атома, навколо якого рухаються електрони, подібно до того, як планети рухаються навколо Сонця. Планетарна модель атома відповідає сучасним уявленням про його будову. Але на цьому дослідження атома не закінчилися. У 1932 р. незалежно один від одного український фізик Дмитро Іваненко та німецький фізик Вернер Гейзенберг запропонували протонно-нейтронну модель ядра атома, згідно з якою до складу атомного ядра входять позитивно заряджені частинки — ***протони*** — та електрично нейтральні частинки — ***нейтрони***. Кількість протонів у ядрі дорівнює кількості електронів, які рухаються навколо нього.

2. Електризація тіл

Перші відомості про електричні явища стали надбанням людства з появою праць грецького філософа Фалеса Мілетського. До досліджень цих явищ вченого підштовхнула донька, яка помітила, що до її бурштинового веретенця під час прядіння прилипають усілякі дрібні ниточки й легкі частинки сміття. Якщо їх зчищати, то вони знову стрімко летять до бурштину.

Проводячи експерименти з натирання шматка бурштину хутром, Фалес помітив, що камінь почав притягувати до себе дрібні й легкі предмети — став наелектризованим.

Електризація тіл — процес набуття макроскопічними тілами електричного заряду.

Унаслідок електризації тіла набувають властивості притягувати до себе інші тіла. Самі тіла називають ***наелектризованими***, тобто такими, що мають ***електричний заряд***.

Електричний заряд — фізична величина, що є мірою електричної взаємодії (притягання чи відштовхування) заряджених частинок.

Електричний заряд позначають символом q. Одиницею його вимірювання в системі СІ є ***кулон*** (**Кл**).

Тіла можна наелектризовувати різними способами: тертям, дотиком та через вплив.

Чому ж шматок бурштину під час дослідів Фалеса Мілетського став наелектризованим? Річ у тім, що через його тертя об хутро відбувалося перетікання частини електричного заряду з одного тіла на інше (тобто електрони від хутра переміщувалися до шматка бурштину), а не виникав новий заряд.

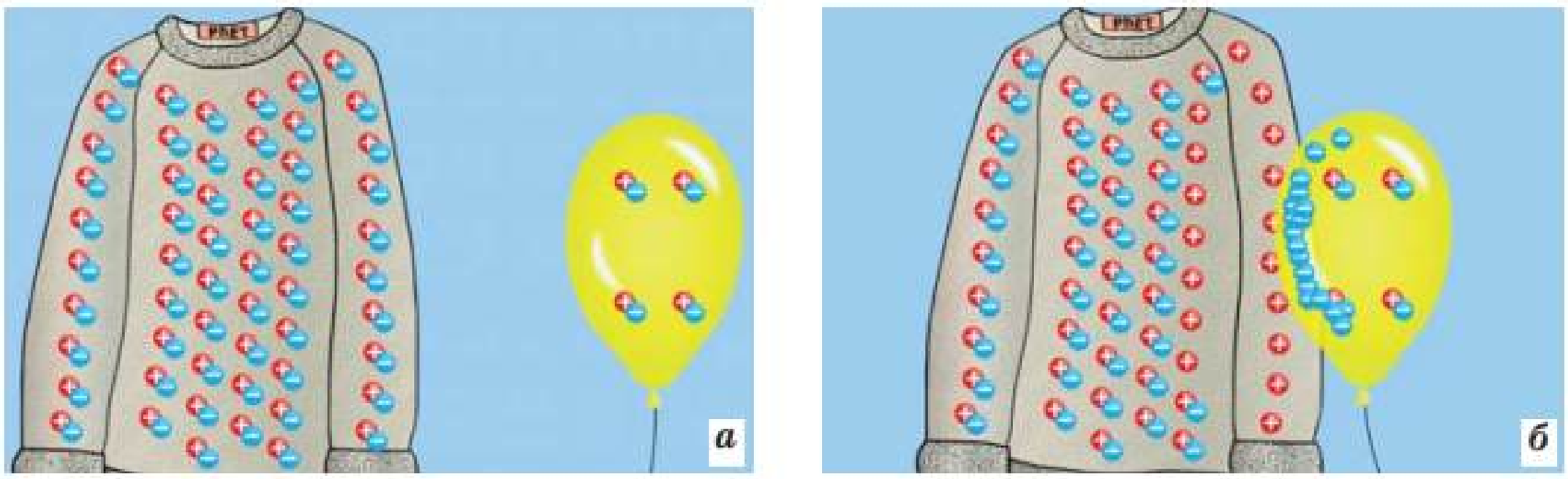
Було виявлено, що, крім бурштину, властивості притягувати легкі тіла під час тертя набувають і багато інших речовин (скло, сірка, смола тощо).

В електризації завжди беруть участь два тіла (мал. 15.1), електризуються при цьому обидва (шерсть собаки і щітка для розчісування).

Мал. 15.1.
Електризація тертям

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Розгляньте мал. 15.2. Що відбулося після тертя повітряної кульки об светр?



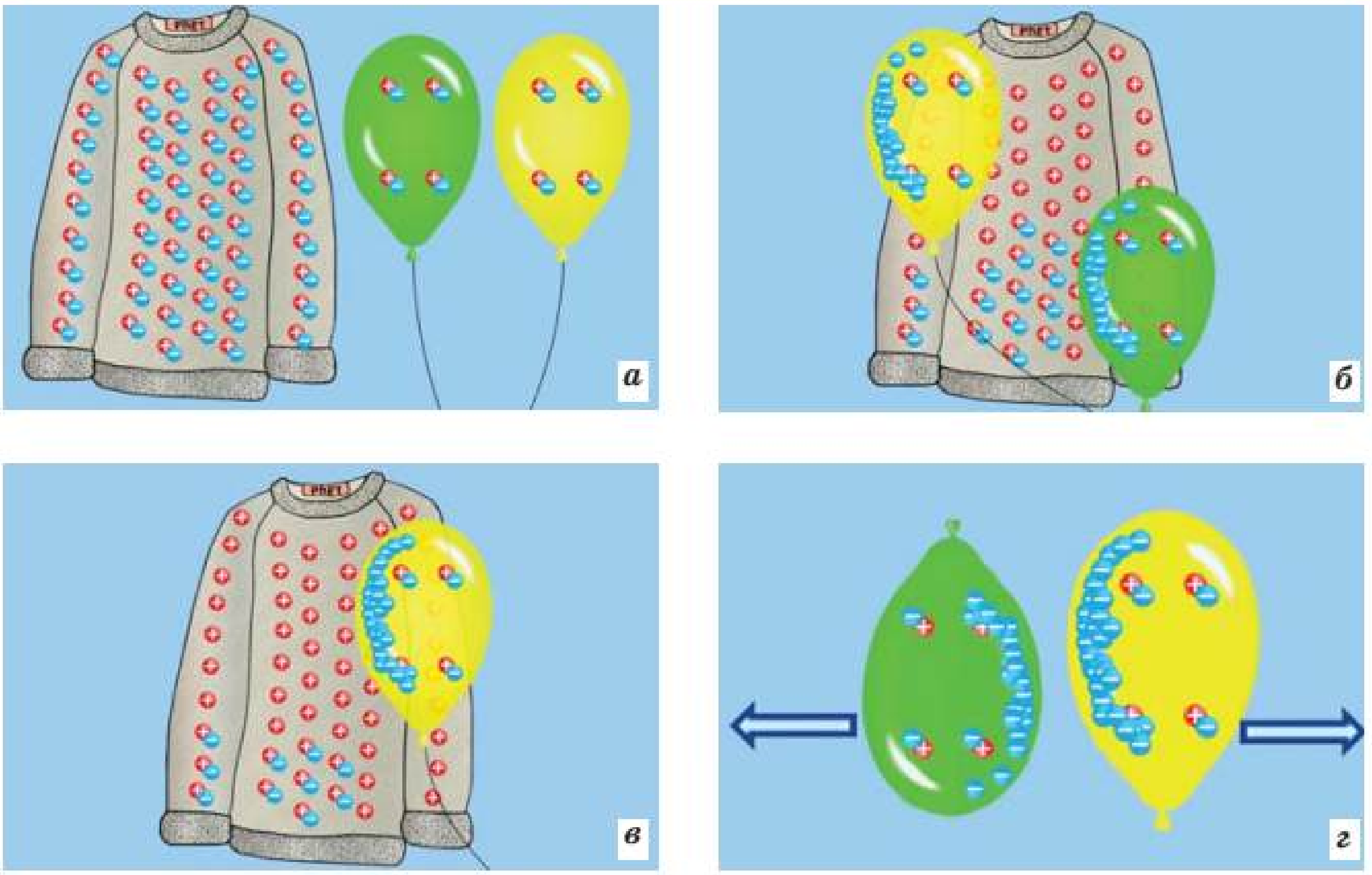
Мал. 15.2.
Електризація тертям

3. Взаємодія заряджених тіл

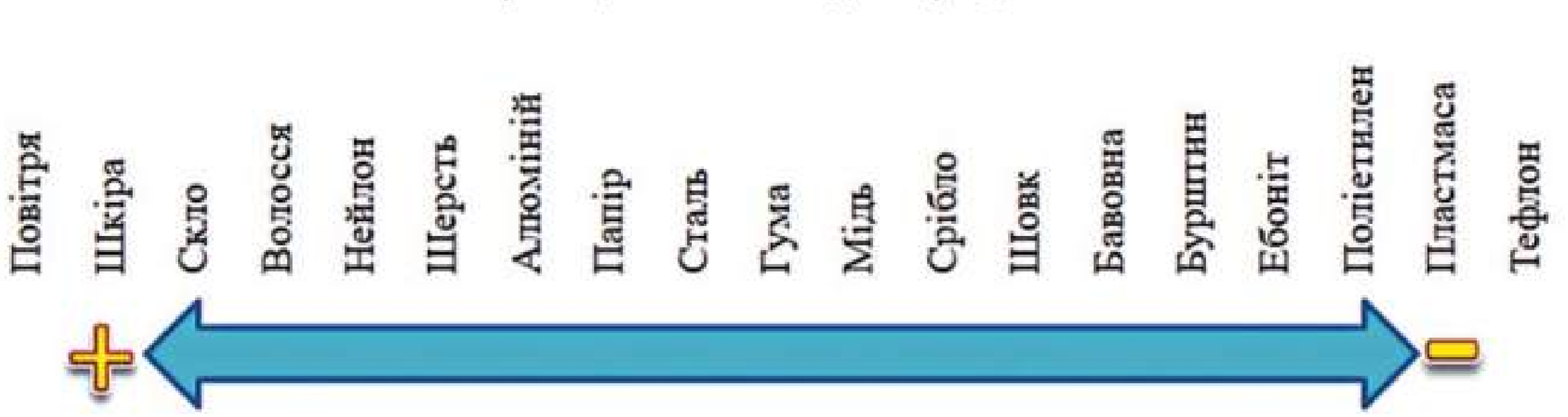
Існує два роди електричних зарядів — позитивний і негативний. З'ясуємо, як вони взаємодіють між собою.

Розглянемо мал. 15.3. Дві повітряні кульки та светр не мають електричного заряду, тому що кількість позитивних і негативних частинок у кожного з них однакова (мал. 15.3, *а*). Після тертя двох кульок об светр вони набули додаткових негативних зарядів (мал. 15.3, *б*), бо електрони зі светра перемістилися на кульки. Відповідно на светрі виникла нестача електронів, тому він став позитивно зарядженим (мал. 15.3, *б*). Як бачимо, кулька жовтого кольору притягнулася до светра (мал. 15.3, *в*), але між собою кульки відштовхнулися (мал. 15.3, *г*). Чому?

Тіла, які мають електричні заряди однакового знака (однойменно заряджені), взаємно відштовхуються. Тіла, що мають заряди протилежного знака (різнойменно заряджені), взаємно притягуються. Одне й те саме тіло під час електризації тертям може набувати зарядів різного



Мал. 15.3.
Електризація та взаємодія заряджених тіл



Мал. 15.4.
Трибоелектричний ряд речовин

знака залежно від тіла, з яким воно взаємодіє. На основі низки дослідів було складено трибоелектричний ряд речовин (мал. 15.4).

За цим рядом можна визначити знак носіїв набутого тілом електричного заряду залежно від того, з яким тілом воно контактує. Тіло з речовини, що розташована лівіше, набуває позитивного заряду, тіло з речовини, що правіше в ряді, — негативного.

Що далі одна від одної в цьому ряді речовини, то сильніше будуть проявлятися електричні властивості тіл після тертя. Одна й та сама речовина, яка контактує з речовинами, що розташовані лівіше або правіше, може накопичити позитивний або негативний заряд залежно від контактної речовини.

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Скориставшись трибоелектричним рядом речовин, установіть знак заряду, який отримало кожне тіло після тертя.

Скляна паличка — шовкова тканина, ебонітова паличка — шерстяна тканина, шовкова тканина — ебонітова паличка, аркуш паперу — шерстяна тканина.

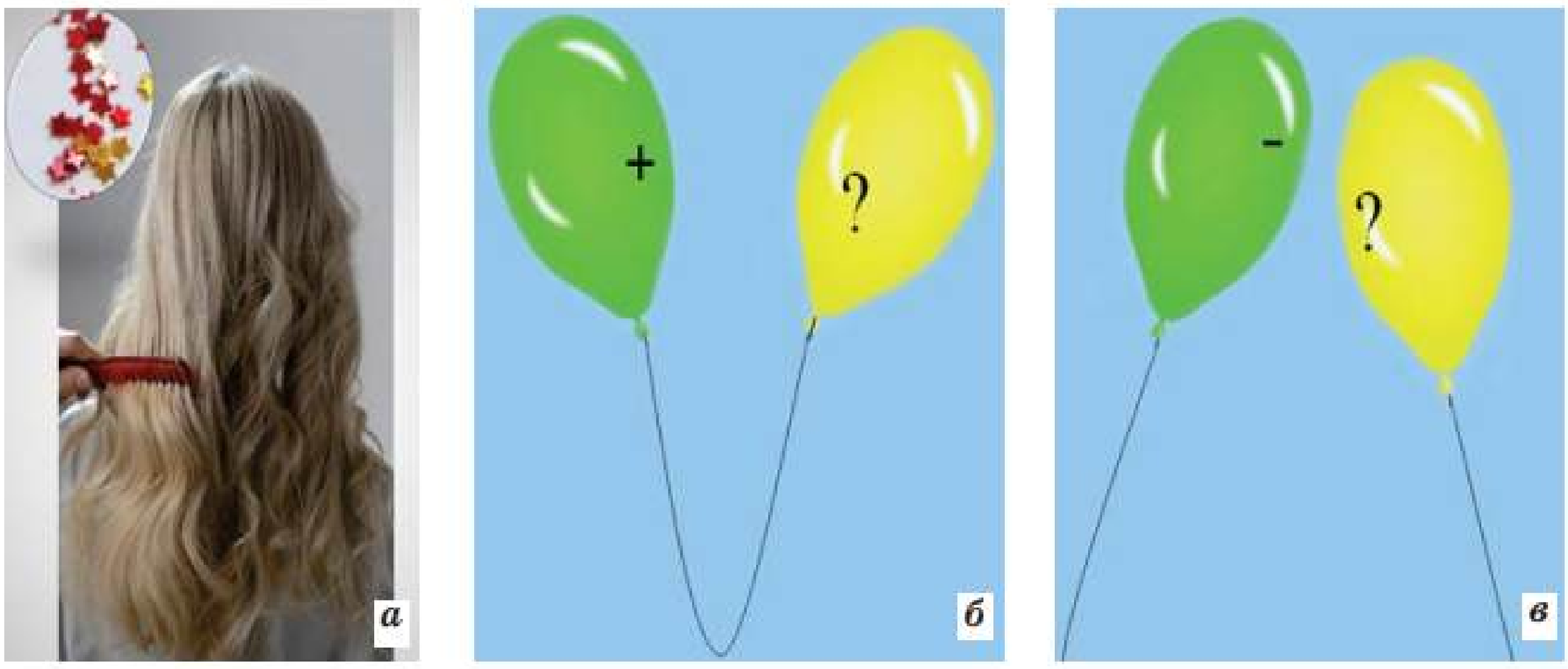
Запам'ятайте

Електризація тіл — процес набуття макроскопічними тілами електричного заряду.

Електричний заряд — фізична величина, що є мірою електричної взаємодії (притягання чи відштовхування) заряджених частинок.

Перевірте себе

1. Чи правильний вислів «Під час тертя виникають заряди»?
2. Притягуються чи відштовхуються дві скляні палички, потерті об шовк?
3. Як за допомогою дрібних клаптиків паперу у вигляді зірочок (мал. 15.5, *а*) переконатися, що волосся та гребінець наелектризовані? Яких зарядів набули ці тіла під час електризації?
4. Який знак заряду жовтої кульки (мал. 15.5, *б*, *в*)? З якої речовини могли бути виготовлені тіла, об які терли зелену кульку в обох випадках?



Мал. 15.5.
Взаємодія наелектризованих тіл

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Електризація тіл	Electrification of bodies
Електрон	Electron
Електричний заряд	Electric charge

§ 16. Електризація навколо нас

Дізнайтеся про...

- прояви й використання електризації в побуті та промисловості;
- способи зменшення електризації.

1. Електризація в побуті та промисловості

Електризації піддаються всі тіла, тому вона нам відома в побуті. Через неї частіше треба прибирати в кімнатах, бо полірovані меблі та килими швидко притягують пил; волосся стає неслухняним у сухому приміщенні та псує зачіску; коли виймають одяг із сушарки, деякі речі прилипають одна до одної, а деколи навіть з'являються маленькі іскри.

Плед — це зручна й тепла річ, яку можна взяти із собою в подорож або просто зігрітися холодним зимовим вечором, накинувши його на себе. Але деколи він електризується і створює неприємні відчуття власникові.

Однак електризація може бути корисною. Її використовують у багатьох технологічних процесах і пристроях для вирівнювання паперових волокон та паперу, рівномірного розподілу фарби на поверхні за допомогою пульверизатора (мал. 16.1), перемішування компонентів пластмаси і створення однорідної структури матеріалу, очищення повітря від пилу й сажі за допомогою електростатичних фільтрів, копчення риби на спеціалізованих комбінатах.

Мал. 16.1.
Фарбування стіни
за допомогою пульверизатора

Також електризацію використовують у медицині для лікування

дихальних шляхів спеціальними електроаерозолями; у косметології для досягнення ефекту омолодження; в аерокосмічній промисловості для створення статичних зарядів на космічних кораблях; в електрокопіювальних пристроях для отримання зображення на папері за допомогою фарби (мал. 16.2).

Мал. 16.2.
Робота ксерокса

Для уникнення незручностей, які виникають через прилипання одягу до тіла або до інших частин одягу, потрібно використовувати антистатики: спрей безпосередньо для одягу, серветки для сушіння в сушарці, кондиціонер для прання у пральній машині. Щоб зменшити наелектризованість повітря у приміщенні, варто частіше робити вологе прибирання або ставити спеціальні зволожувачі (мал. 16.3).

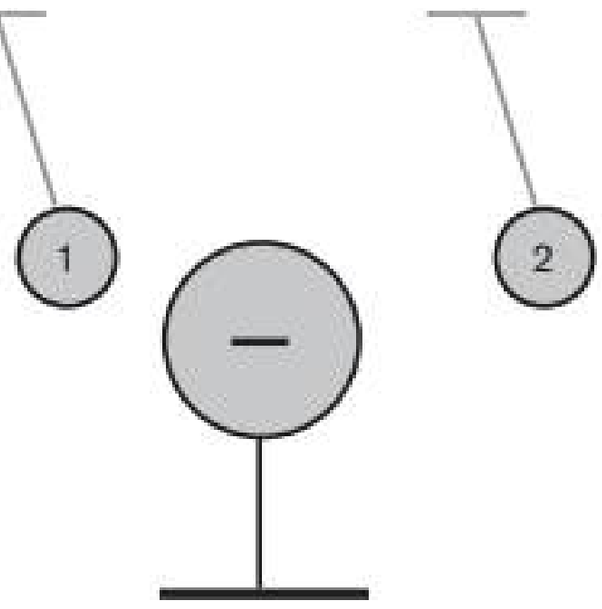
Мал. 16.3.
Способи «боротьби» з електризацією

Перевірте себе

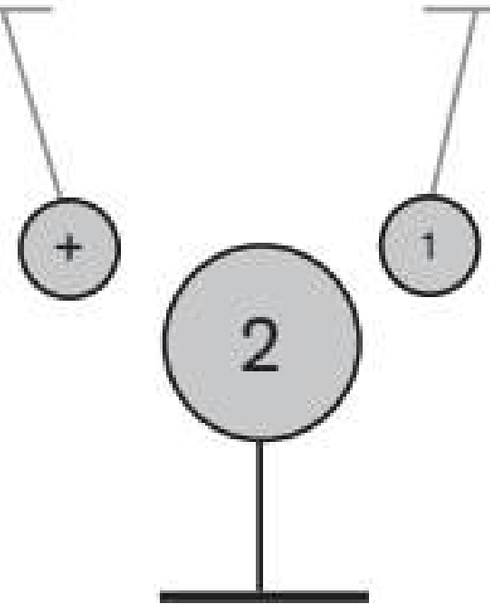
1. Чому витерті сухою ганчіркою меблі чи рамки від фотографій через короткий проміжок часу знову вкриваються пилом?
2. Чому ворсинки та пил прилипають до одягу під час чищення волосяною щіткою? Чому цього не відбувається, коли щітка зволожена?
3. Для лікування деяких хвороб або їх профілактики антибіотики розпорошують і пацієнт вдихає повітря із цими речовинами. Чому та-

кий метод забезпечує потрапляння краплинок ліків у всі куточки дихальної системи?

4. Визначте знаки зарядів кульок, підвішених на нитках (мал. 16.4).
5. Визначте знаки зарядів кульок 1 та 2, зображених на малюнку 16.5.



Мал. 16.4. Взаємодія наелектризованих тіл



Мал. 16.5. Взаємодія наелектризованих тіл

§ 17. Електричне поле. Електроскоп. Електрометр. Закон збереження електричного заряду

Не тільки в людей настрій може змінюватися залежно від життєвих обставин. Науковці довели, що у бджіл теж таке трапляється. І це залежить від якості й розташування їхнього житла. Якщо бджіл перевезти на пасіку на відкритій місцині, вони стають злими. А якщо їхні вулики розмістити між кущами, деревами, то вони добрішають. У чому ж причина такої зміни «настрою»? А полягає вона у природному електричному полі Землі.

Дізнайтеся про...

- електричне поле;
- прилади для виявлення та вимірювання електричного заряду;
- подільність електричного заряду;
- закон збереження електричного заряду.

1. Електричне поле

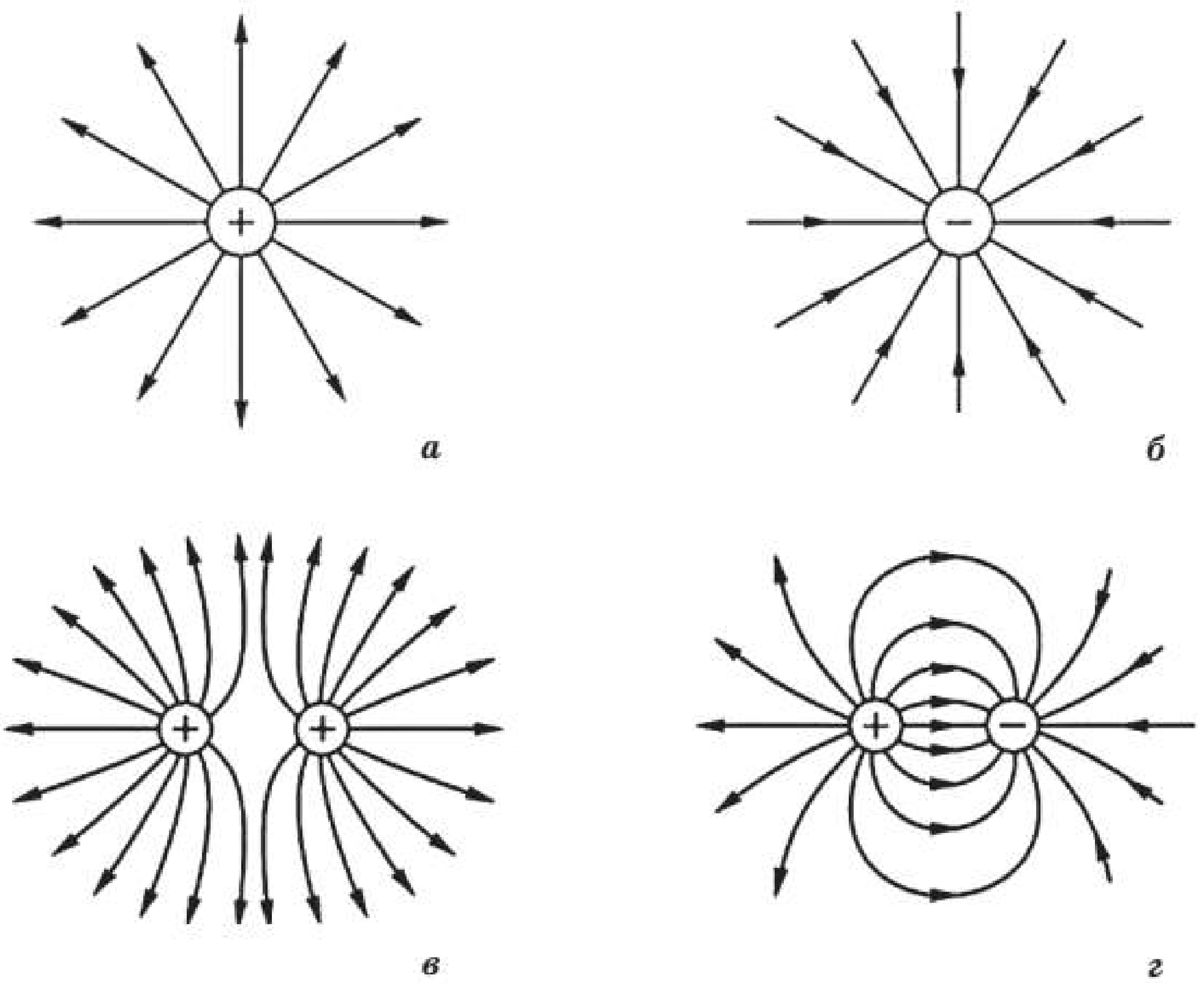
Заряджені тіла взаємодіють між собою — притягуються або відштовхуються.

Така взаємодія відбувається не тільки під час їх дотику, а й на відстані. Це можливо завдяки невидимій формі матерії — полю.

Цей вид матерії дослідили англійські науковці Майкл Фарадей і Джеймс Максвелл. Вони експериментальним шляхом установили, що в просторі навколо заряджених тіл чи частинок існує електричне поле, яке проявляється дією на заряджені тіла або частинки.

Електричне поле — особлива форма матерії, що існує навколо заряджених тіл або частинок і через яку здійснюється взаємодія між електрично зарядженими тілами.

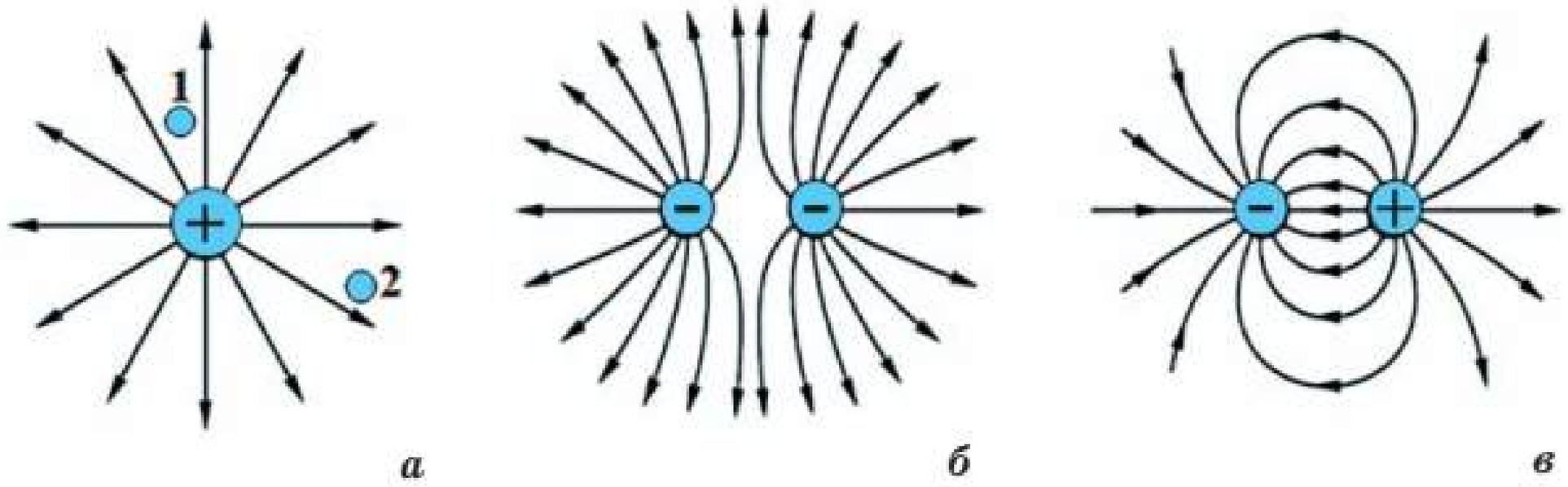
Електричні поля графічно зображають за допомогою силових ліній, напрям яких умовно вважають від позитивно зарядженої частинки до негативно зарядженої (мал. 17.1). Що далі від зарядженого тіла, то густина ліній менша, а електричне поле слабше.



Мал. 17.1.
Графічне зображення силових ліній електричних полів, створених:
а) позитивно зарядженою кулькою; б) негативно зарядженою кулькою;
в) системою двох кульок, що мають однакові позитивні заряди;
г) системою двох кульок, що мають однакові негативний і позитивний заряди

Поміркуйте і дайте відповідь

1. У якій точці (1 чи 2) дія електричного поля (мал. 17.2 , *а*), створеного позитивно зарядженою частинкою, є сильнішою? Відповідь обґрунтуйте.
2. Чи правильно зображено силові лінії електричних полів заряджених частинок (мал. 17.2, *б*)?
3. На мал. 17.2 (*в*) графічно зображено силові лінії електричних полів системи заряджених частинок. Чи правильно позначено їхні заряди?



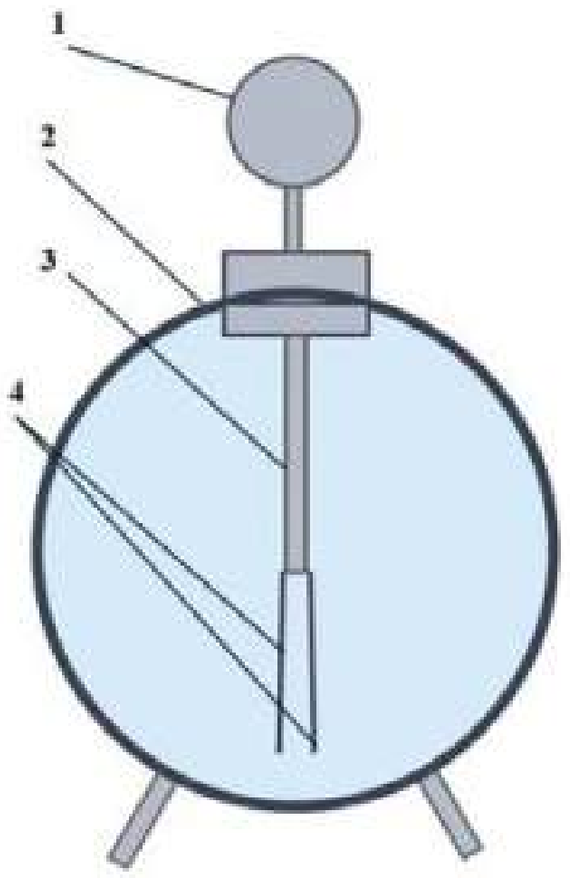
Мал. 17.2.
Графічне зображення силових ліній електричних полів, утворених зарядженими частинками

2. Електроскоп. Електрометр

Для того щоб виявити наявність у тіла електричного заряду, фізики використовують прилад — ***електроскоп*** (мал. 17.3). Його винайшов у 1747 р. член Паризької академії наук, французький фізик-експериментатор Жан-Антуан Нолле.

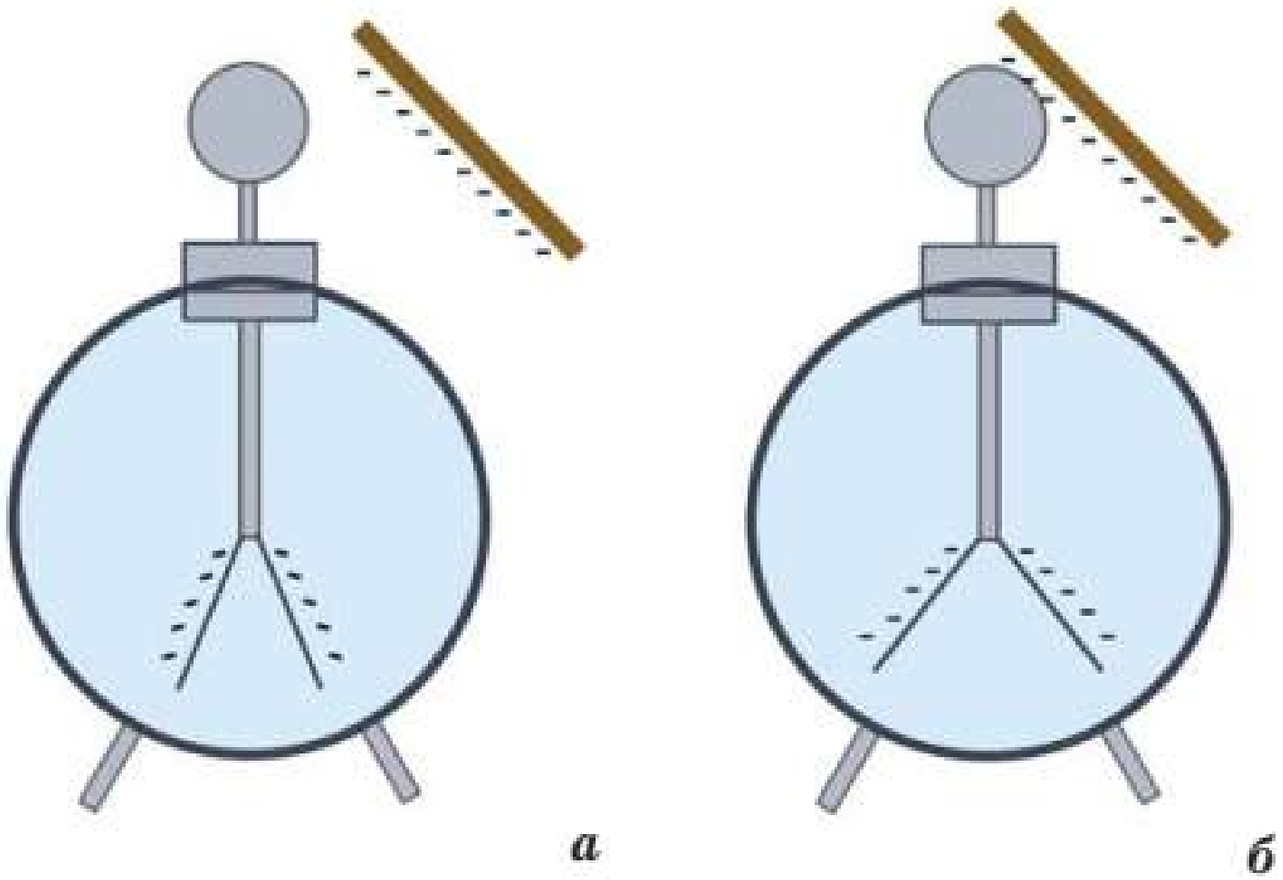
Електроскоп — прилад для виявлення електричного заряду.

Наближаючи наелектризовану ебонітову паличку до металевої кулі електроскопа (мал. 17.4, *а*), можна спостерігати, як смужки з тонкого паперу розходяться на певний кут, бо через електричне поле відбувається взаємодія між паличкою і кулею (електризація через вплив). Електричний заряд стікає по металевому стрижню і рівномірно розподіляється між смужками паперу, що відштовхуються одна від одної як однойменно заря-



Мал. 17.3.
Електроскоп (1 — металева куля, 2 — корпус, 3 — металевий стрижень, 4 — смужки з тонкого паперу)

джені тіла. З наближенням ебонітової палички до металевої кулі дія поля посилюється і смужки паперу розходяться на більший кут (мал. 17.4, *б*).



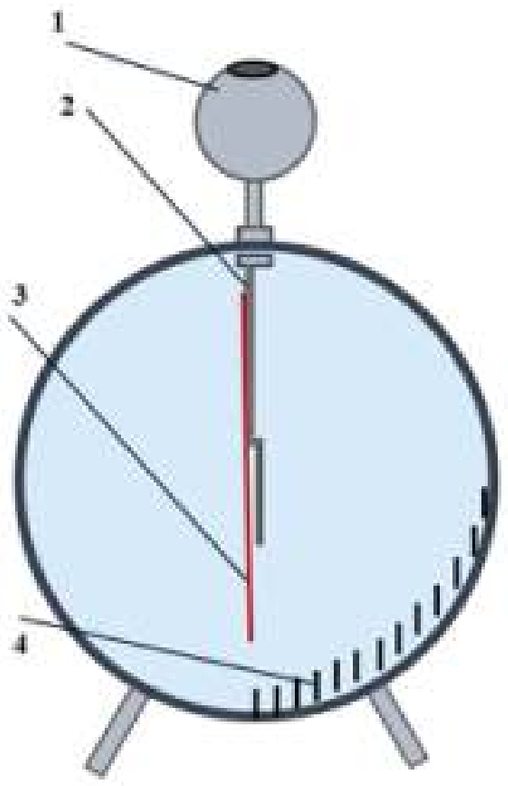
а *б*

Мал. 17.4.
Виявлення електричного заряду за допомогою електроскопа

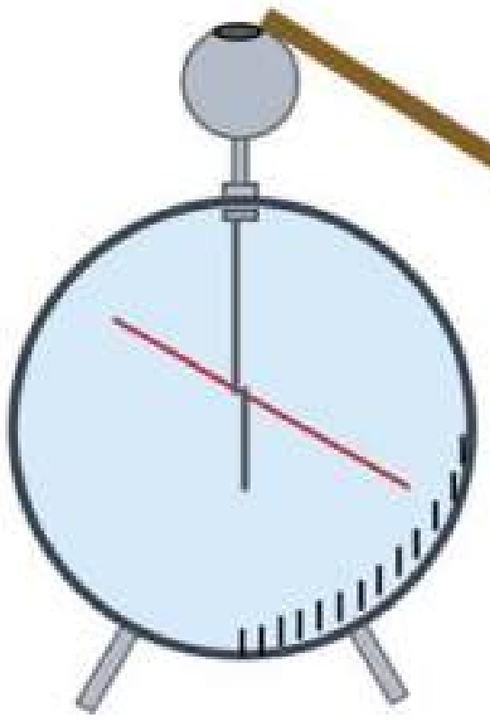
Крім електроскопа, фізики використовують також ***електрометр*** — прилад, що має шкалу, за допомогою якої можна не тільки виявити електричний заряд, а й оцінити значення переданого заряду.

Електрометр — прилад, що має шкалу, за якою можна оцінити значення переданого заряду.

Якщо до металевої кулі електрометра (мал. 17.5) торкнутися зарядженою паличкою, то заряд стікатиме по металевому стрижню до металевої стрілки. Унаслідок цього стрілка відхилиться на певний кут від стрижня, бо вони однойменно заряджені (мал. 17.6).



Мал. 17.5.
Електрометр (1 — металева куля, 2 — металевий стрижень, 3 — металева стрілка, 4 — шкала)

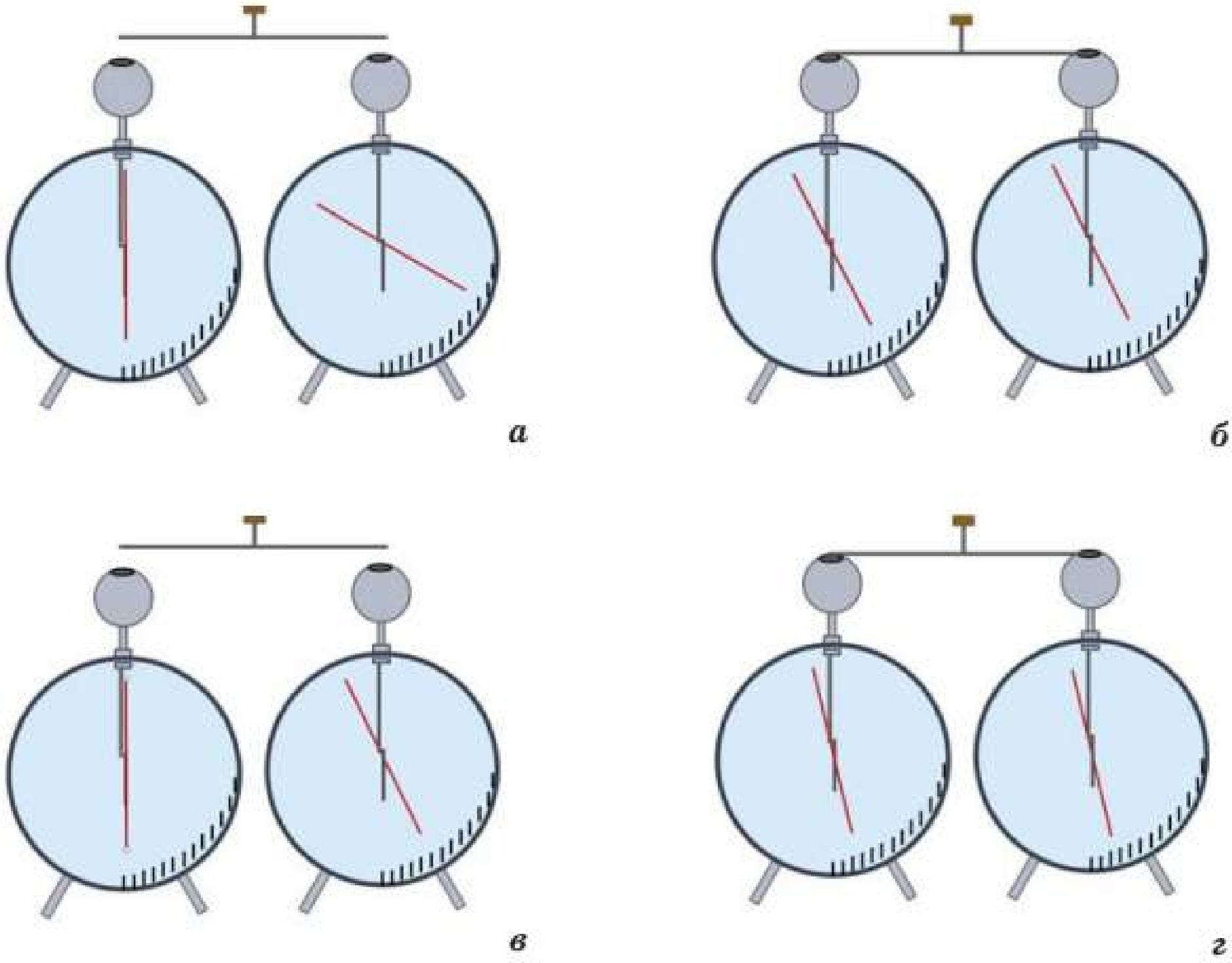


Мал. 17.6.
Заряджений електрометр

3. Подільність електричного заряду

З'єднаємо за допомогою металевого провідника заряджений електрометр з незарядженим (мал. 17.7, *а*). Унаслідок перетікання заряду незаряджений електрометр отримує половину заряду (мал. 17.7, *б*).

Якщо до одного з електрометрів доторкнутися рукою, то він втратить заряд — розрядиться. З'єднавши його з електрометром, який ще не втратив заряду (мал. 17.7, *в*), побачимо, що половина заряду перейде на незаряджений електрометр (мал. 17.7, *г*).



Мал. 17.7.
Подільність електричного заряду

А чи існує межа для поділу заряду? Щоб отримати відповідь на це запитання, потрібно виконати складні дослідження і вимірювання. Їх проводило багато науковців. Досліди показали, що всі зміни заряду досліджуваних тіл були в ціле число разів (у 2, 3, 4 і т. д.) більші від найменшого заряду. Американському фізику Робертові Міллікену тільки після чотирьох років досліджень вдалося визначити цей найменший неподільний електричний заряд. Частинкою, яка має такий заряд, є електрон. Отже, найменший неподільний електричний заряд — це ***заряд електрона***. Його позначають символом e.

$$e = -1{,}6 \cdot 10^{-19}\ \text{Кл}.$$

Заряд тіла можна визначити за формулою:

$$|q| = N|e|,$$

де N — кількість електронів, що відповідає заряду тіла.

Згодом було визначено масу електрона $m_e = 9{,}1 \cdot 10^{-31}$ кг.

У природі існує позитивний заряд, який дорівнює зарядові електрона. Такий заряд має частинка, яка входить до складу атомного ядра, — протон.

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Електроскопу надали заряд $-4{,}8 \cdot 10^{-10}$ Кл. Якій кількості електронів відповідає цей заряд?
2. Чи можуть заряджені тіла мати заряд, в 1,2 раза більший за заряд електрона?
3. Чи може заряджене тіло мати заряд $-6{,}4 \cdot 10^{-10}$ Кл?

4. Закон збереження електричного заряду

Під час електризації тіл виконується **закон збереження електричного заряду**, згідно з яким заряди не виникають і не зникають, а лише перерозподіляються між тілами або частинами одного й того самого тіла: ***алгебраїчна сума зарядів усіх тіл ізольованої системи залишається незмінною (сталою — «const»).***

$$q_1 + q_2 + \ldots + q_n = const$$

Якщо привести в зіткнення дві однакові кулі з різним зарядом, а потім їх розвести, то сумарний заряд розподілиться між ними рівномірно, згідно із законом збереження електричного заряду.

Запам'ятайте

Електричне поле — особлива форма матерії, що існує навколо заряджених тіл або частинок і через яку відбувається взаємодія між електрично зарядженими тілами або частинками.

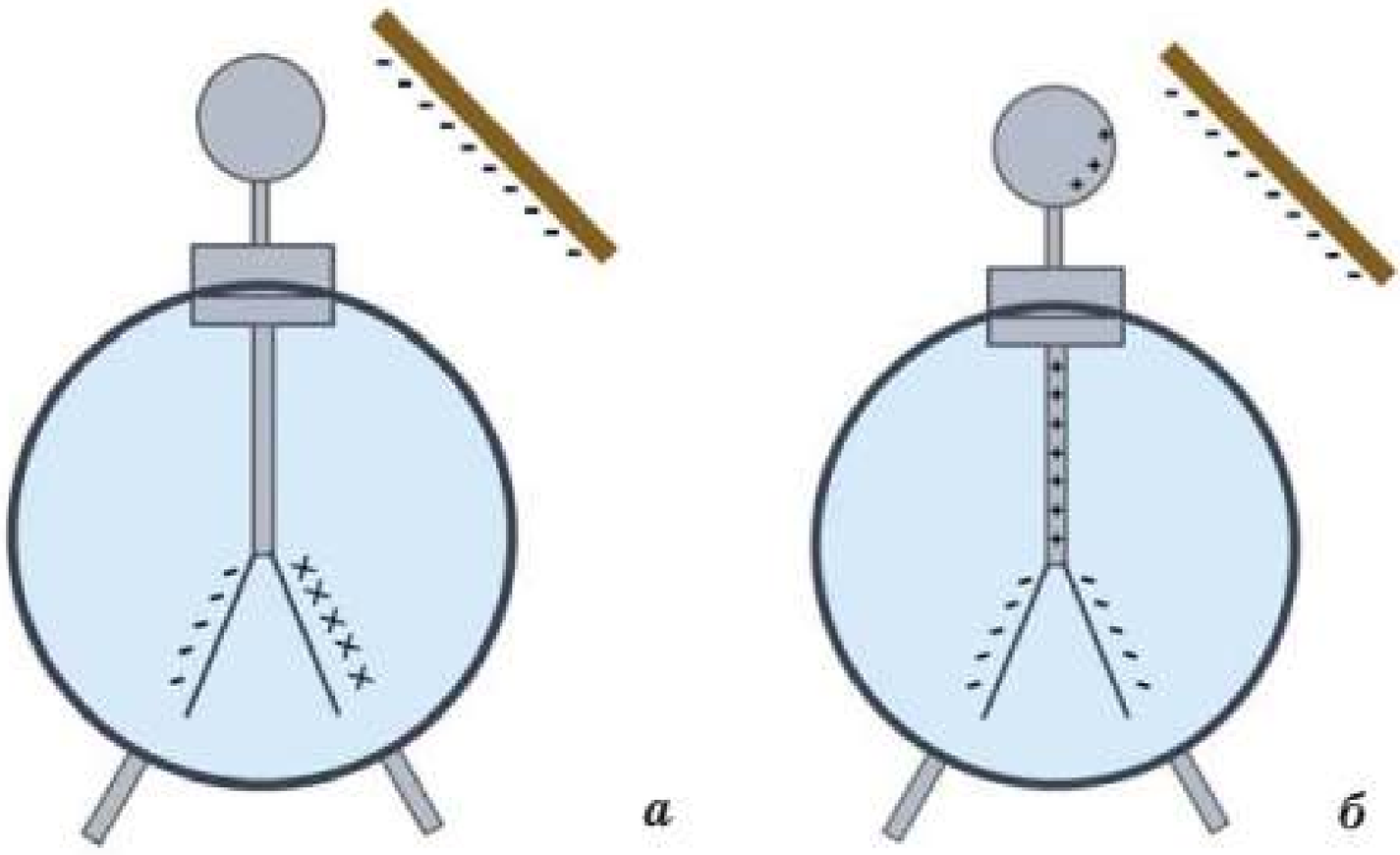
Електроскоп — прилад для виявлення електричного заряду.

Електрометр — прилад, що має шкалу, за якою можна оцінити значення переданого заряду.

Закон збереження електричного заряду: алгебраїчна сума зарядів усіх тіл ізольованої системи залишається незмінною (сталою).

Перевірте себе

1. Чи правильно розподілилися заряди на електроскопах (мал. 17.8)?
2. Як за допомогою електроскопа, скляної палички та шовкової тканини встановити знак заряду зарядженого тіла?



Мал. 17.8.
Заряджені електроскопи

3. Цинкові ошурки просіюють через мідне сито. Що відбудеться з паперовими смужками електроскопа, якщо струмінь цих ошурок спрямувати на кульку електроскопа?
4. Дві однакові мідні кульки мали заряди $-5q$ і $-7q$. Кульки привели в зіткнення і розсунули на попередню відстань. Як змінилася величина зарядів кульок? Притягуються чи відштовхуються вони між собою? Визначте заряди кульок після дотику.
5. Під час тертя двох тіл одне з них набуло 100 додаткових електронів. Визначте надлишковий заряд цього тіла.

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Електричне поле	Electric field
Електроскоп	Electroscope
Електрометр	Electrometer

Обдумайте, змоделюйте, зробіть...

Використовуючи підручний матеріал, створіть модель султанів або електроскопа за складеним вами алгоритмом та випробуйте їхню дію.

Дотримуйтеся правил безпеки під час роботи!

§ 18. Закон Кулона

У 1785 р. Французька академія наук, яка була однією з перших у Європі (Людовик XIV офіційно затвердив правила академії та її назву — Королівська академія наук), оголосила конкурс на кращу конструкцію корабельного компаса. Це спонукало французького науковця Шарля-Огюстена Кулона зосередитися на дослідженні електрики і магнетизму. Сконструювавши крутильні терези, він упродовж 1785—1789 рр. здійснив точні вимірювання електричних і магнітних сил.

Дізнайтеся про...

- точковий заряд;
- силу взаємодії двох нерухомих точкових зарядів.

1. Закон Кулона

З попередніх параграфів вам відомо, що заряджені тіла взаємодіють одне з одним: однойменно заряджені тіла відштовхуються, а різнойменно заряджені — притягуються. Сила їхньої взаємодії залежить від відстані між ними та величини їхнього заряду, а також від властивостей середовища, у якому вони взаємодіють.

Виконуючи досліди за допомогою крутильних терезів, Шарль Кулон зауважив, що під час збільшення відстані між зарядженими тілами, які взаємодіють, у два рази, сила їхньої взаємодії зменшувалася в чотири рази, а у випадку збільшення відстані у три рази — зменшувалася у дев'ять разів і т. д. Учений дійшов висновку, ***що сила взаємодії заряджених тіл обернено пропорційна квадрату відстані між ними.***

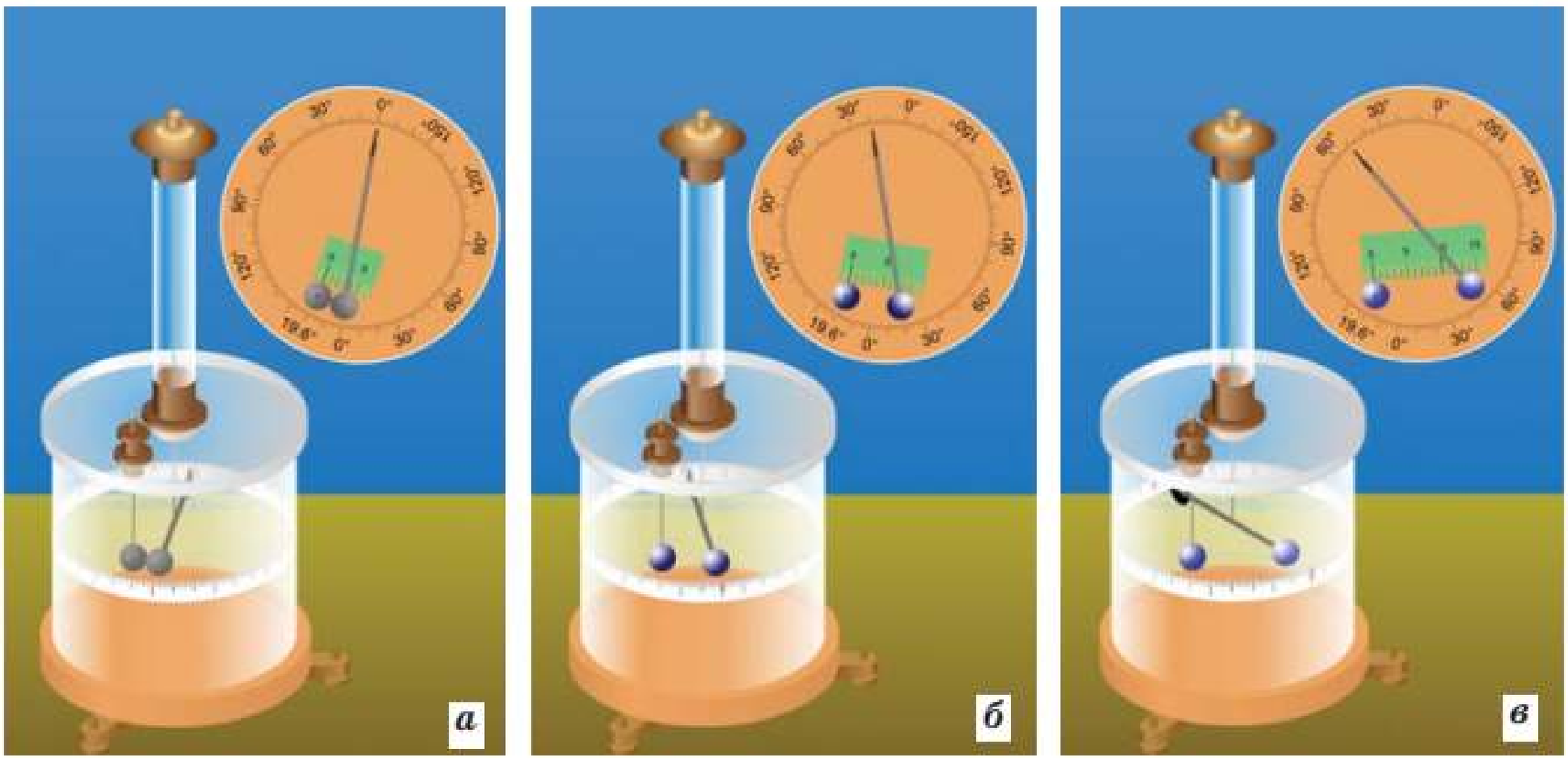
Шарль Кулон також дослідив залежність сили взаємодії від величини зарядів тіл, які взаємодіють (мал. 18.1). ***Чим більші величини зарядів (q_1 і q_2) тіл, що взаємодіють, тим більша сила взаємодії, тобто прямо пропорційна їх величині.***

Закон Кулона: ***сила взаємодії двох нерухомих точкових зарядів у вакуумі прямо пропорційна добутку модулів цих зарядів і обернено пропорційна квадрату відстані між ними.***

Математично цей закон записують так:

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

де $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$ — коефіцієнт пропорційності, що чисельно дорівнює силі, з якою взаємодіють два точкових заряди по 1 Кл кожен, розташовані у вакуумі на відстані 1 м один від одного.



Мал. 18.1.
Наочна демонстрація дослідів Кулона

Точковий електричний заряд — заряджене тіло, розмірами якого можна знехтувати порівняно з відстанями від нього до інших заряджених тіл.

2. Приклад розв'язування задачі

Задача. Визначте силу взаємодії між позитивним точковим зарядом 10 нКл і негативним точковим зарядом −15 нКл, які розташовані у вакуумі на відстані 3 см один від одного.

Дано:	СІ		Розв'язання:
$q_1 = 10$ нКл	$10 \cdot 10^{-9}$ Кл	$F = k\dfrac{\lvert q_1\rvert \cdot \lvert q_2\rvert}{r^2}$	$F = 9 \cdot 10^9 \dfrac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2} \cdot$
$q_2 = -15$ нКл	$-15 \cdot 10^{-9}$ Кл		$\cdot \dfrac{\lvert 10 \cdot 10^{-9}\ \text{Кл}\rvert \cdot \lvert -15 \cdot 10^{-9}\ \text{Кл}\rvert}{0{,}03^2\ \text{м}^2} =$
$r = 3$ см	0,03 м		$= 0{,}0015$ Н
$k = 9 \cdot 10^9 \dfrac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$			
F — ?			

Відповідь: $F = 0{,}0015$ Н.

Запам'ятайте

Закон Кулона: сила взаємодії двох нерухомих точкових зарядів у вакуумі прямо пропорційна добутку модулів цих зарядів і обернено пропорційна квадрату відстані між ними.

Перевірте себе

1. Як зміниться сила взаємодії між двома точковими зарядами, якщо один із них збільшити втричі?
2. Як зміниться сила взаємодії між двома точковими зарядами, якщо відстань між ними збільшити удвічі?
3. Два точкові заряди взаємодіють між собою. Що потрібно зробити, щоб сила взаємодії між ними збільшилася?
4. Визначте силу взаємодії між двома точковими зарядами 5 нКл і 10 нКл, розташованими у вакуумі на відстані 5 см один від одного.
5. Два точкові заряди 10 нКл і −2 нКл доторкнули один до одного і розсунули на відстань 2 см. Визначте їхні заряди після взаємодії, а також силу взаємодії між ними, якщо точкові заряди розташовані у вакуумі.

§ 19. Електричний струм. Дії електричного струму. Провідники та непровідники електрики

Сьогодні важко уявити життя без електрики. Щоденно люди користуються гаджетами, дивляться фільми, зберігають продукти у холодильниках, перуть одяг у пральних машинах та прасують його, готують їжу на електричних плитах, їздять різними видами електротранспорту, працюють на виробництвах. Усюди використовують електричний струм. А що ж це таке?

Дізнайтеся про...

- поняття електричного струму;
- дії електричного струму;
- провідники та непровідники електрики.

1. Електричний струм

Ще в давнину люди намагалися захиститися від блискавки. Жерці Давнього Єгипту ставили біля храмів оббиті міддю жердини. Храм Медінет-Абу в часи Рамзеса Третього навіть мав блискавковідвід, виготовлений із золотого стрижня на високій жердині. Однак ці блискавковідводи збільшували небезпеку удару блискавки, бо не були заземлені, про що в давнину не могли знати. Коли у XVIII ст. Франклін створив власну конструкцію блискавковідводу (прототип теперішнього), сучасники не прийняли його винаходу, побоюючись, що він буде притягувати блискавки.

Уранці 18 серпня 1769 р. блискавка вдарила у вежу святого Назарія в італійському місті Брешіа. Під нею був льох, де зберігалося понад 1000 т пороху. Порох вибухнув, зруйнувавши не тільки вежу, а й шосту частину міста. Загинуло 3000 осіб. Ця трагедія змусила людей звернутися до винаходу Франкліна.

То що ж таке блискавка і чому вона наробила такої біди? ***Блискавка*** — це гігантська електрична іскра (розряд), яка виникає між наелектризованими хмарами чи хмарою і землею (мал. 19.1). Через канал блискавки проходить потужний ***електричний струм*** — майже 200 000 А (ампер).

Мал. 19.1.
Утворення блискавки

Електричний струм — напрямлений (упорядкований) рух заряджених частинок. Такими частинками є електрони та йони.

Для того щоб електричний струм ***виник та існував***, у середовищі мають бути вільні заряджені частинки та електричне поле.

2. Дії електричного струму

Електричний струм не можна побачити, бо спостерігати за рухом заряджених частинок неможливо. Але виявити струм можна за його діями.

Якщо електричний струм, проходячи через провідник, нагріває його, то він чинить ***теплову дію***. На ній ґрунтується дія всіх електронагрівальних побутових приладів (мал. 19.2), медичних стерилізаторів, зварювальних апаратів, електропечей для плавлення металів тощо.

Мал. 19.2.
Теплова дія електричного струму

Деколи одночасно з тепловою дією можна спостерігати ***світлову дію струму*** (блискавка, світіння електричної лампочки розжарювання — мал. 19.3, а також у лампах денного світла та енергоощадних лампах — мал. 19.4).

Мал. 19.3.
Світлова дія електричного струму

Мал. 19.4.
Енергоощадні лампи

Під час проходження електричного струму через водні розчини різних речовин ми спостерігаємо ***хімічну дію струму***. Цю дію використовують

для очищення деяких металів, стічних вод, полірування поверхонь, покриття поверхні одних металів тонким шаром інших, отримання точних копій рельєфних виробів тощо (мал. 19.5).

Мал. 19.5.
Хімічна дія електричного струму

Ще однією дією електричного струму є ***магнітна дія***. Уперше її виявив на початку XIX ст. данський науковець Ганс-Крістіан Ерстед, який досліджував взаємодію провідника зі струмом та магнітної стрілки.

Магнітна дія струму покладена в основу роботи не тільки електромагнітів, а й електродвигунів та електровимірювальних приладів, у яких рамка зі струмом обертається в магнітному полі.

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Назвіть спільну ознаку всіх дій електричного струму.

3. Провідники та непровідники електрики

У природі речовини поділяють на провідники та непровідники (діелектрики) електрики.

Провідники — речовини, які добре проводять електричний струм. Найкращими провідниками електричного струму є метали. Графіт, вода, вологий ґрунт, розчини солей, кислот, лугів також проводять електричний струм. Оскільки організм людини на 65 % складається з води, у якій розчинені різноманітні солі, то тіло людини — добрий провідник електрики.

Діелектрики — речовини, які не проводять електричного струму. До непровідників електричного струму належать: порцеляна, скло, пластмаса, ебоніт, бурштин, гума, шовк, капрон, дистильована вода, гас, бензин, гази (за нормальних умов).

Ізолятори — тіла, виготовлені з діелектрика. Їх використовують переважно для покриття електропроводів, виготовлення розеток, вимикачів та елементів електричних приладів.

Існують речовини, які за певних умов (низьких температур і поганого освітлення) проявляють себе як діелектрики, а за високих температур і доброго освітлення стають провідниками. Такі речовини називають ***напівпровідниками***. Їх використовують в електронних пристроях: телефонах, ноутбуках, комп'ютерах, розумних годинниках, копіювальній техніці та ін.

Запам'ятайте

Електричний струм — напрямлений (упорядкований) рух заряджених частинок.

Провідники — речовини, які добре проводять електричний струм.

Діелектрики — речовини, які не проводять електричного струму.

Ізолятори — тіла, виготовлені з діелектрика.

Напівпровідники — речовини, які за певних умов (низьких температур і слабкого освітлення) проявляють себе як діелектрики, а за високих температур і доброго освітлення стають провідниками.

Перевірте себе

1. Чому магнітна стрілка компаса перестає вказувати на північ, якщо неподалік від компаса є дріт з електричним струмом?
2. Яку дію електричного струму використовують у тостерах?
3. Поясніть причину нагрівання лампи розжарювання, коли через неї проходить електричний струм.
4. Заповніть таблицю, використавши інформацію параграфа.

Дія електричного струму	Приклади прояву електричного струму та використання його дії
Теплова	
Світлова	
Хімічна	
Магнітна	

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Електричний струм	Electric current
Теплова дія струму	The thermal action of the current
Світлова дія струму	Light action of the current
Хімічна дія струму	Chemical effect of current

Магнітна дія струму	Magnetic action of current
Провідники	Conductors
Діелектрики	Dielectrics
Напівпровідники	Semiconductors
Ізолятори	Insulators

§ 20. Електричний струм у різних середовищах

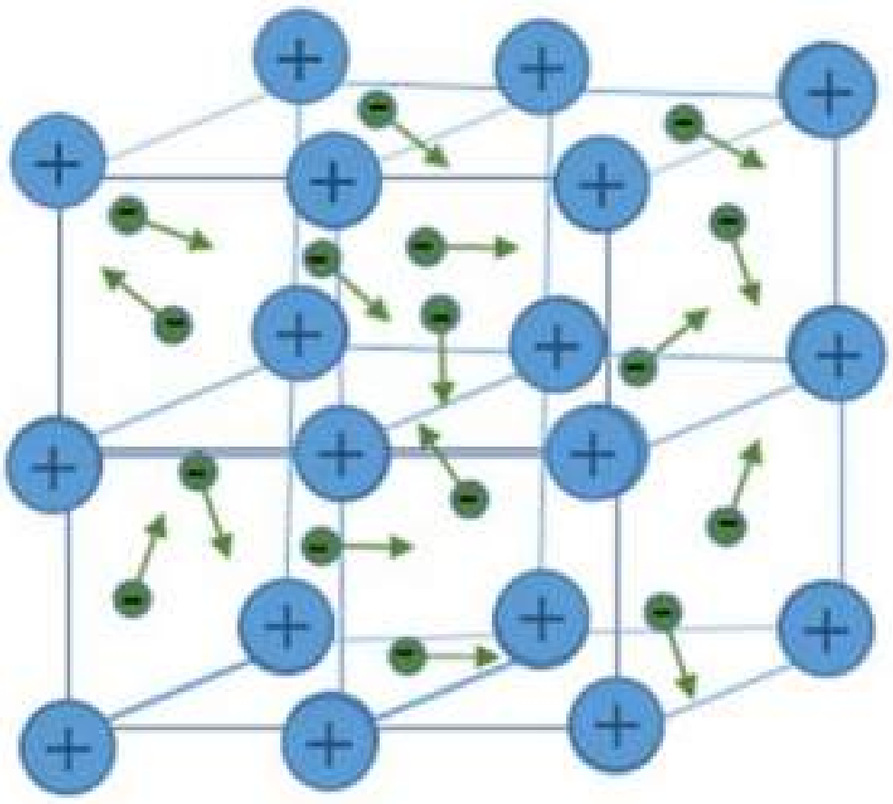
Людина — це лише дрібна «піщинка» в океані природи. Усе, що вона створює, є відображенням того, що існує у природі з часів виникнення Землі. Електричний струм — не виняток. «Електричні» риби — скати, африканські річкові соми, рибки-зіркогляди, вугрі — створюють електричний струм у воді. Блискавка — це струм у повітрі, який часто бачимо під час грози. Але людина зуміла провести електричний струм до своєї оселі лише у XVIII ст.

Дізнайтеся про...

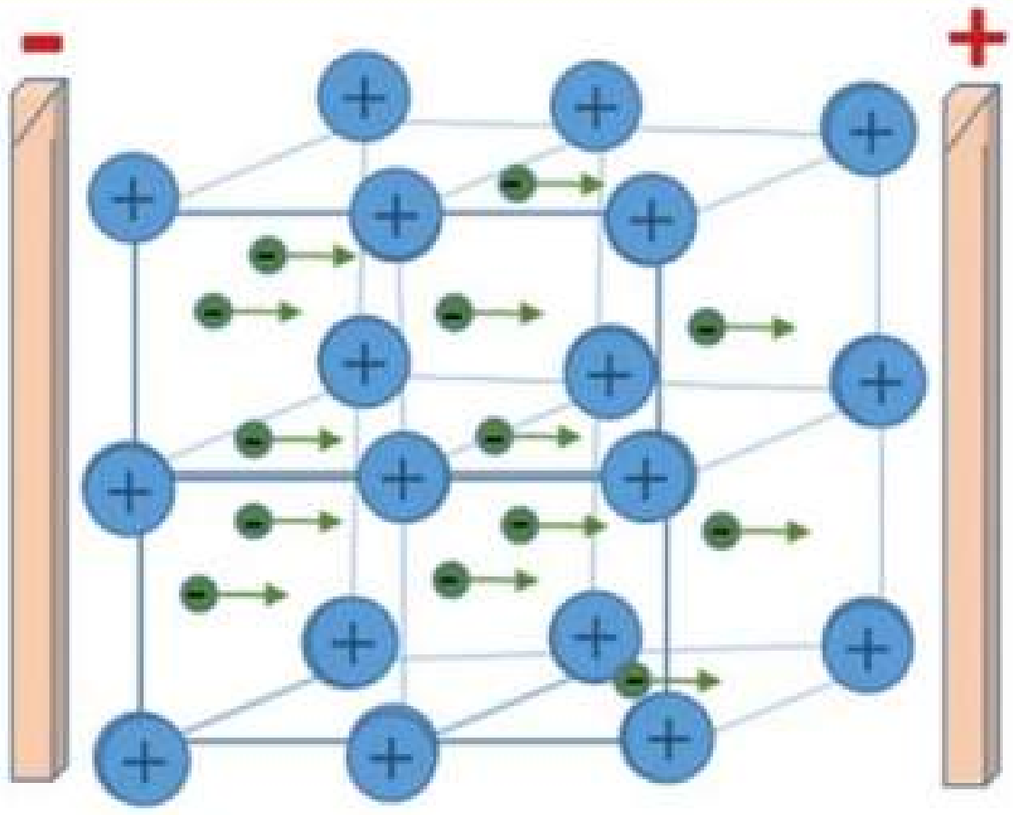
- електричний струм у металах;
- електричний струм у рідинах;
- електричний струм у газах.

1. Електричний струм у металах

Найкращими провідниками електричного струму є метали. У твердому стані вони мають кристалічну будову. Їхні частинки розміщені в певному порядку — у вузлах кристалічної ґратки. Кожен атом є електрично нейтральним, оскільки позитивний заряд ядра дорівнює негативному заряду всіх електронів, що рухаються навколо нього по різних орбітах. Електрони, що рухаються по найвіддаленіших від ядер орбітах, притягуються ними найслабше і тому можуть покинути свої орбіти, стати вільними. У вузлах кристалічної ґратки тоді залишаються позитивні частинки (позитивні йони), а вільні електрони за відсутності в провіднику електричного поля рухаються хаотично (мал. 20.1) з різними швидкостями та в різних напрямках. Якщо ж цей провідник помістити в електричне поле, то рух усіх вільних електронів стає впорядкованим (мал. 20.2). У провіднику виникне електричний струм. Тому, кажучи про електричний струм у металах, мають на увазі напрямлений рух вільних електронів.



Мал. 20.1.
Хаотичний рух вільних електронів у металах



Мал. 20.2.
Електричний струм у металах

Електричний струм у металах — напрямлений рух вільних електронів.

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Чим відрізняється рух вільних електронів у металевому провіднику, коли по ньому проходить струм, від того, коли струму в ньому немає?

2. Електричний струм у рідинах

Дистильована вода й кухонна сіль є діелектриками, тому не проводять електричного струму. Проте якщо розчинити сіль у воді, то утворений розчин (електроліт) добре проводить електричний струм. Чому? Під впливом молекул води (H_2O) відбувається розпад молекул кухонної солі ($NaCl$) на позитивні йони натрію (Na^+) та негативні йони хлору (Cl^-), тобто утворюються вільні заряджені частинки — йони.

Електролітична дисоціація — процес розпаду молекул речовини на позитивні та негативні йони під впливом молекул розчинника.

Якщо створити електричне поле, то в електроліті виникне електричний струм, тобто позитивні та негативні йони будуть рухатися напрямлено.

Електричний струм в електролітах — напрямлений рух позитивних та негативних йонів.

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Поясніть зміст приказки: «У воді від грози не сховаєшся».

3. Електричний струм у газах

Гази за звичайних умов складаються з нейтральних молекул. Але якщо їх нагрівати або опромінювати рентгенівським чи радіоактивним випромінюванням, впливати на них швидкими електронами або іншими зарядженими частинками, що надходять з космічного простору, то молекули розпадаються на електрони і позитивні йони. А деякі молекули, приєднавши електрони, стають негативними йонами. Утворюються вільні заряджені частинки. Якщо вони потрапляють під вплив електричного поля — виникатиме електричний струм.

Електричний струм у газах — напрямлений рух вільних електронів, позитивних і негативних йонів.

Газовий розряд — процес проходження електричного струму в газах.

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Мешканці Заполяр'я часто скаржаться, що взимку все навколо них стає дуже наелектризованим. Чому так?

Запам'ятайте

Електричний струм у металах — напрямлений рух вільних електронів.

Електролітична дисоціація — процес розпаду молекул речовини на позитивні та негативні йони під впливом молекул розчинника.

Електричний струм в електролітах — напрямлений рух позитивних та негативних йонів.

Електричний струм у газах — напрямлений рух вільних електронів, позитивних і негативних йонів.

Газовий розряд — процес проходження електричного струму в газах.

Перевірте себе

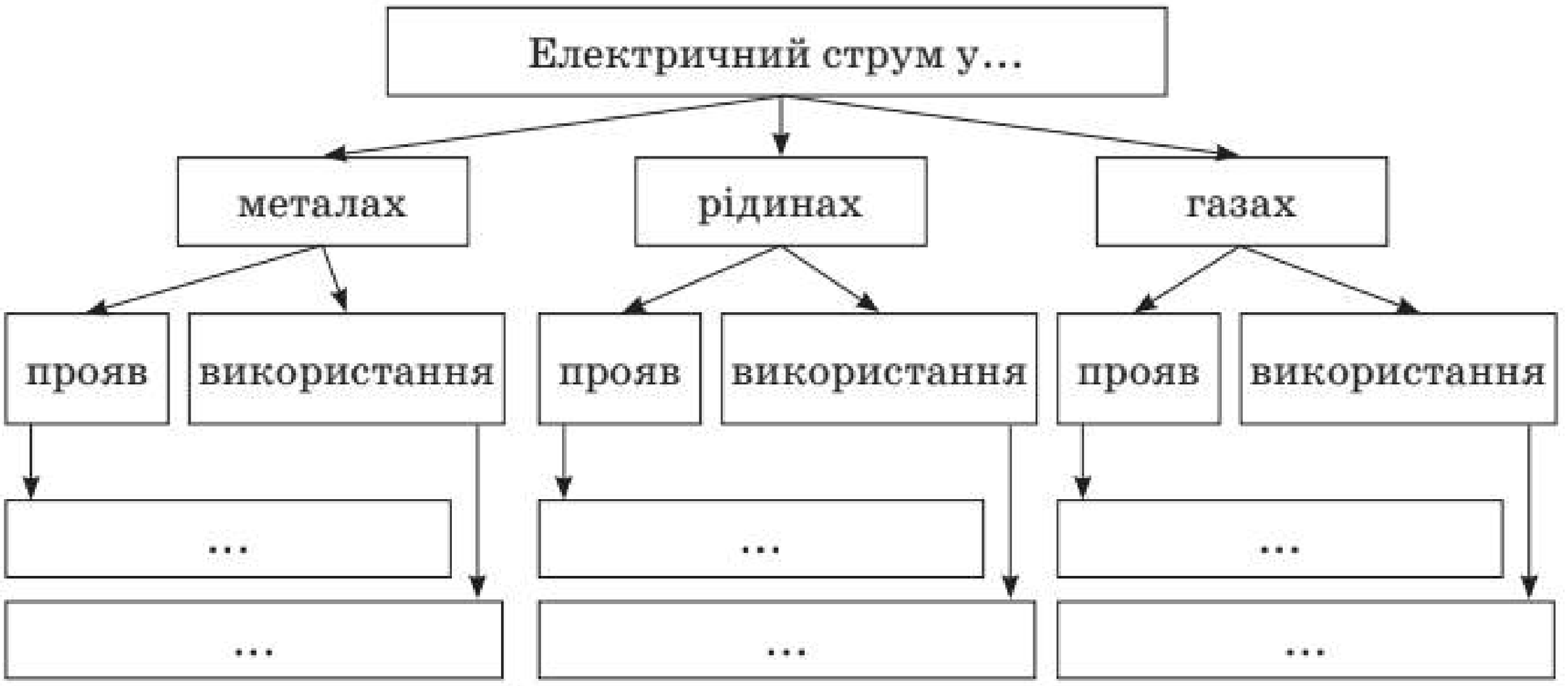
1. Розпізнайте неправдиву інформацію.

За відсутності електричного поля вільні електрони у провіднику рухаються напрямлено. Носіями електричного струму в газах є вільні електрони. Морська вода проводить електричний струм.

2. Заповніть табличку.

№ з/п	Середовище	Носії струму
1		
2		
3		

3. Доповніть інтелект-карту, використовуючи інформацію з інтернет-джерел, наведіть приклади проявів, а також практичного використання електричного струму в різних середовищах.



4. Чому блискавка найчастіше влучає у вершини гір?
5. Чому під час грози не можна купатися у відкритих водоймах?

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Метали	Metals
Електролітична дисоціація	Electrolytic dissociation
Електроліти	Electrolytes
Газовий розряд	Gas discharge

§ 21. Джерела електричного струму. Гальванічні елементи та акумулятори, їх утилізація

У 1800 р. на засіданні Лондонського королівського товариства Алессандро Вольта презентував роботу приладу, який згодом було названо «Вольтів стовп». Цей прилад ми використовуємо дотепер, що-

правда видозмінений, удосконалений, але принцип дії залишився той самий. Про що йдеться? Довідаєтеся в цьому параграфі.

Алессандро Вольта

Луїджі Гальвано

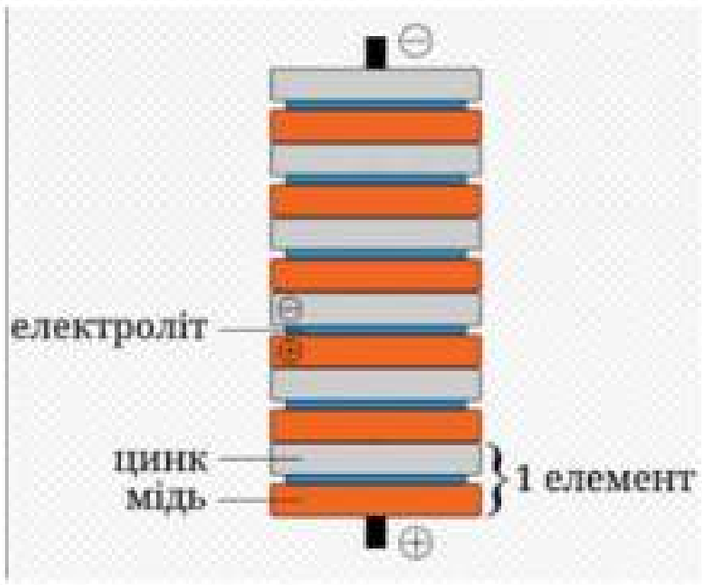
Дізнайтеся про...

- історію одного винаходу;
- джерела електричного струму та його види;
- гальванічні елементи та акумулятори;
- утилізацію батарейок та акумуляторів.

1. Історія одного винаходу

Ще трішки історії та легенди. 1780 рік. Дружина Луїджі Гальвано захворіла. Лікарі порадили їй вживати суп із жаб'ячих лапок. Щоб зробити приємне дружині, Гальвано власноруч готував страву й помітив, що коли торкається скальпелем до лапок мертвої жаби, їхні м'язи скорочуються. Коли замінив скальпель дротами з міді та цинку, скорочення м'язів стало ще помітнішим. Він назвав це «тваринною електрикою», властивістю живої тканини.

Можливо, історія про суп є легендою, але все решта — правда. Відкриттям лікаря та науковця Л. Гальвано зацікавився А. Вольта та продовжив експерименти. Свій прилад, про який ми вже згадували, він назвав гальванічним елементом на честь Л. Гальвано. Прилад Вольта складався з мідних та цинкових кружечків, які були відокремлені один від одного шматочками тканини, змоченими водою або кислотою (мал. 21.1). Це прототип сучасної батарейки, без якої не працюватимуть ні годинники, ні пульти, ні ліхтарики та ін.



Мал. 21.1.
«Вольтів стовп»

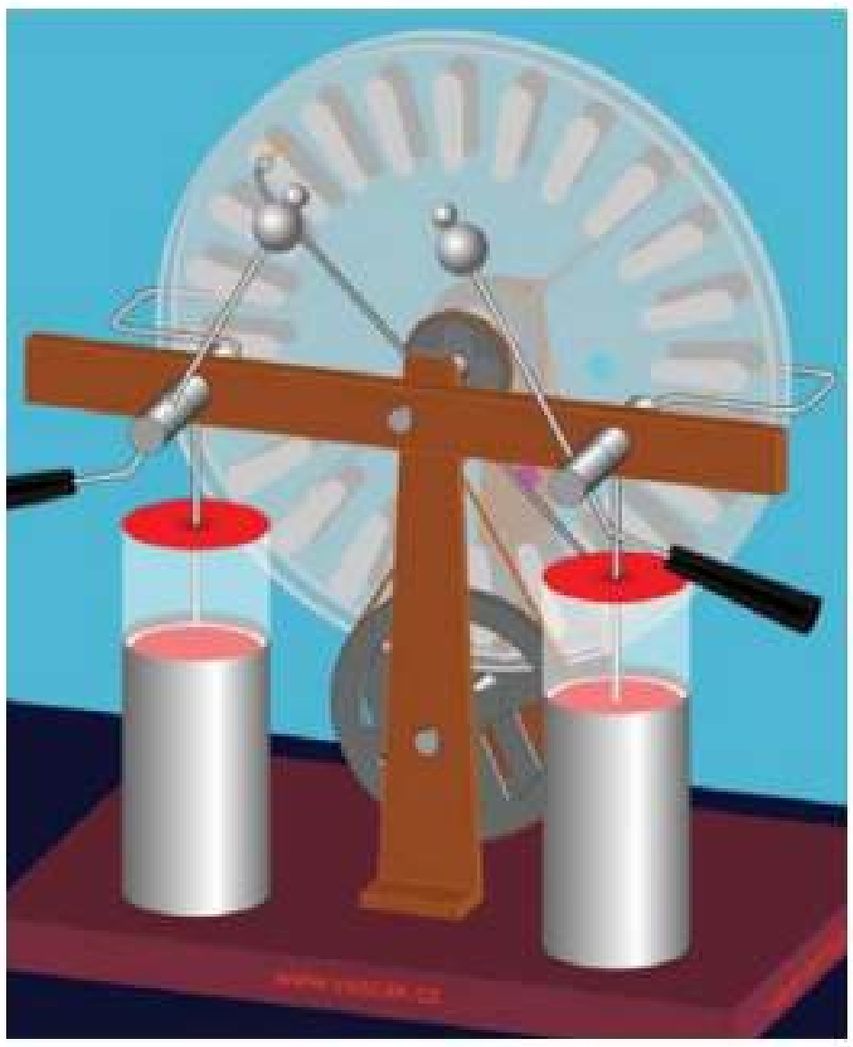
2. Джерела електричного струму та його види

То що ж таке джерело електричного струму? Це пристрій, який забезпечує напрямлений рух носіїв електрики у провідниках, перетворюючи різні види енергії на електричну енергію. У джерелі струму сторонні сили виконують роботу з розділення заряджених частинок і накопичення їх біля двох полюсів. Позитивні частинки нагромаджуються на одному полюсі джерела — позитивному «+», негативні на іншому полюсі — негативному «−». Для того щоб електричні прилади працювали, їх під'єднують за допомогою провідників до цих полюсів.

Сторонні сили можуть мати механічну, хімічну, світлову та теплову природу.

Тому джерела струму поділяють на фізичні та хімічні. До фізичних зараховують такі джерела електричного струму, у яких розподіл заряджених частинок відбувається за рахунок механічної, світлової та теплової енергії. Прикладом механічного джерела електричного струму є електрофорна машина (мал. 21.2). Вона перетворює механічну енергію на електричну.

У промислових масштабах на електростанціях добувають електричний струм за допомогою турбогенераторів, які перетворюють механічну енергію на електричну. У вітряних районах перспективно будувати вітряки (мал. 21.3, *а*), які також перетворюють механічну енергію (енергію вітру) на електричну.



Мал. 21.2.
Електрофорна машина

Мал. 21.3.
Вітряки та сонячні батареї

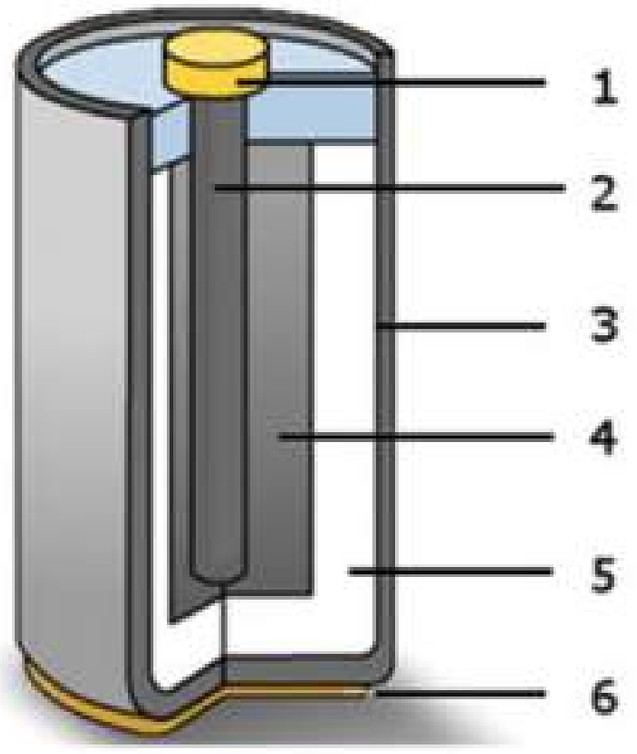
У Запорізькій області розташована одна з найбільших вітряних електростанцій в Україні — Приморська ВЕС.

Перетворення світлової енергії на електричну відбувається у фотоелементах, сонячних батареях (мал. 21.3, *б*).

3. Гальванічні елементи та акумулятори

До хімічних джерел електричного струму належать гальванічні елементи та акумулятори. З першим гальванічним елементом ми ознайомилися на початку параграфа. А як працює і який вигляд має сучасний пристрій?

Гальванічний елемент, який у побуті ми називаємо батарейка (мал. 21.4), складається з металевого ковпачка (1), двох різнорідних електродів: (2) — вугільного стрижня (позитивний електрод), (3) — цинкового корпуса (негативний електрод), які поміщені в електроліт (4, 5), та металевого дна (6). Між електродами та електролітом відбуваються хімічні реакції, унаслідок яких один електрод стає позитивно зарядженим, інший — негативно. Таке джерело може створювати струм досить довго. Проте за якийсь час хімічна реакція припиняється, бо запас речовин, що беруть участь у реакціях, виснажується. Гальванічний елемент припиняє роботу. Відновленню він не підлягає, але просто викидати у смітник його не можна. Поговоримо про це пізніше.



Мал. 21.4.
Будова гальванічного елемента

Є ще одне джерело струму, що використовує енергію хімічних реакцій і яке можна експлуатувати повторно, — це акумулятор (мал. 21.5). Його спочатку потрібно «заряди-

Мал. 21.5.
Зарядка акумулятора шуруповерта

ти». В акумуляторі два електроди опускають у розчин кислоти, у якому відбуваються хімічні реакції під час протікання струму від стороннього джерела. Один електрод заряджається позитивно, другий — негативно. Акумулятор накопичує електричну енергію і сам стає джерелом електричного струму. Його можна періодично заряджати і використовувати багаторазово. Акумулятори, як і гальванічні елементи, бувають різних видів і виконують різноманітні функції.

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Які з електроприладів у вас удома працюють на гальванічних елементах, а які на акумуляторах?
2. Що спільного і що відмінного між гальванічним елементом та акумулятором?

4. Утилізація гальванічних елементів і акумуляторів

Гальванічні елементи (мал. 21.6) містять важкі метали: кадмій, свинець, літій і ртуть. Коли вони опиняються на сміттєзвалищі, їхня оболонка з часом руйнується і всі хімічні елементи потрапляють у навколишнє середовище. Цинк розчиняється в землі й забруднює ґрунтові води. Хлор — агресивна речовина, яка буде реагувати з іншими активними речовинами. Влітку гальванічні елементи разом зі сміттям тліють або горять, унаслідок чого виділяються важкі метали й діоксини в атмосферне повітря. Діоксини можуть згубно впливати на імунну систему, порушувати гормональний баланс, а також спричиняти онкологічні захворювання.

Мал. 21.6.
Гальванічні елементи

Щоб усього цього уникнути, необхідно не викидати використані гальванічні елементи у смітник, а приносити до спеціальних пунктів збору, де їх приймають на утилізацію (магазини, центри переробки). Це дасть змогу вилучати з них та повертати в обіг тисячі тонн різних металів, що набагато вигідніше, ніж добувати метали з руд. Вміст міді в рудах — 0,5—0,7 %, у гальванічному елементі вміст металів (цинку, заліза, мангану) — 23—27 %. У Польщі, Німеччині, Франції та Україні (м. Львів) працюють великі заводи з переробки батарейок.

Акумулятори (мал. 21.7) також містять важкі метали (кадмій, свинець, ртуть) і токсичні хімікати, які можуть забруднювати ґрунт і воду. Неправильна утилізація може спричинити викиди токсичних речовин у навколишнє середовище.

У процесі утилізації акумулятори розбирають, сортують елементи та переробляють.

Акумулятори містять цінні метали (нікель, літій, кобальт та ін.), які можна відновити та використовувати повторно.

Мал. 21.7.
Акумулятор

Багато країн мають законодавство, що регулює утилізацію акумуляторів. Вони створюють системи для збирання та переробки відпрацьованих акумуляторів. Європейський Союз, наприклад, має Директиву про батареї та акумулятори, яка встановлює вимоги щодо їх збору, переробки та утилізації.

Запам'ятайте

Джерело електричного струму — пристрій, який забезпечує напрямлений рух носіїв електрики у провідниках, перетворюючи різні види енергії на електричну енергію.

Фізичні джерела електричного струму — пристрої, у яких розподіл заряджених частинок відбувається за рахунок механічної, світлової та теплової енергії.

Хімічні джерела електричного струму — пристрої, у яких хімічна енергія перетворюється на електричну.

Перевірте себе

1. Оберіть з наведеного переліку фізичні та хімічні джерела електричного струму: сонячна батарея, гальванічний елемент, термопара, електрофорна машина, акумулятор автомобіля, портативна зарядна станція EcoFlow, турбогенератор, батарея до мобільного телефона.
2. Дві цинкові пластини помістили в посудину з розчином сульфатної кислоти. Чи є такий пристрій гальванічним елементом?
3. З якими полюсами джерела струму з'єднують полюси акумулятора під час його заряджання?

Обдумайте, змоделюйте, зробіть...

Створіть джерело електричного струму за складеним вами алгоритмом, використовуючи овочі чи фрукти й інші підручні матеріали, та випробуйте його дію.

Дотримуйтеся правил безпеки під час роботи!

§ 22. Електричне коло та його основні елементи

Розгадавши ребус, ви зрозумієте, про що йтиметься в цьому параграфі.

Дізнайтеся про...

- електричне коло;
- електричні схеми та позначення на них;
- умови проходження струму в електричному колі.

1. Електричне коло

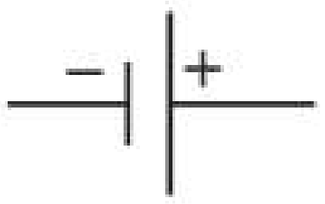
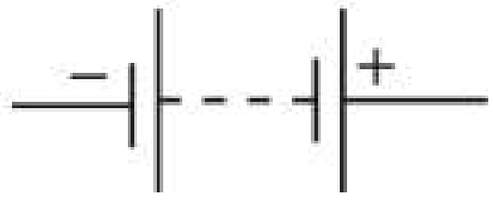
Електричне коло є основою роботи більшості електронних та електричних пристроїв — від простих ліхтариків до складних комп'ютерів і систем зв'язку. Розуміння принципів роботи електричних кіл дає змогу їх проєктувати, створювати, аналізувати і виправляти проблеми в цих системах, якщо вони виникатимуть.

В електричному колі може бути багато елементів. Обов'язкові складові частини найпростішого електричного кола — джерело струму, споживач, пристрій для замикання і розмикання кола та з'єднувальні провідники. ***Джерелом струму*** можуть слугувати гальванічний елемент, батарея гальванічних елементів, акумулятор. ***Споживачами*** є будь-які електроприлади: лампи, комп'ютери, пральні машини, телевізори тощо. Для їх вмикання чи вимикання використовують ключ. У побуті — це рубильники, кнопки, вимикачі та ін. Щоб ці елементи функціонували, їх необхідно з'єднати між собою за допомогою провідників — ***проводів***, тобто утворити ***електричне коло***.

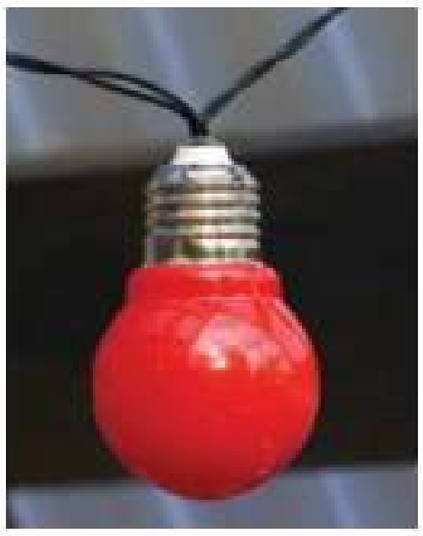
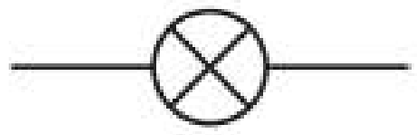
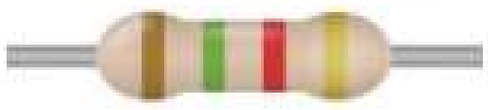
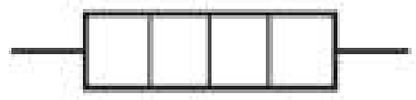
2. Електричні схеми та позначення на них

Електричні кола зображають у вигляді схем. ***Електричні схеми*** — це креслення, на яких відтворено способи з'єднання електричних приладів у коло. Кожен елемент кола на схемі має умовне позначення. Деякі з них наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

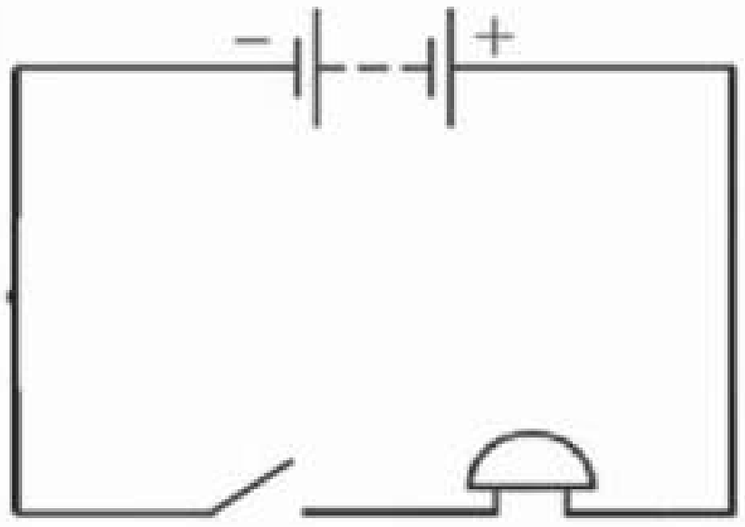
Зображення приладу	Назва приладу	Умовні позначення приладів на електричних схемах
	гальванічний елемент	
	батарея гальванічних елементів	

Закінчення таблиці 1

	електрична лампочка	
	резистор	
	електричний дзвінок	
	ключ (вимикач)	
	нагрівальний елемент	

Накреслимо схему найпростішого електричного кола, яке складається з батареї гальванічних елементів, електричного дзвінка та ключа (мал. 22.1).

У колі може бути декілька ключів, ламп чи дзвінків, резисторів, нагрівальних та інших елементів, і з'єднувати їх можна по-різному, залежно від заданих умов.



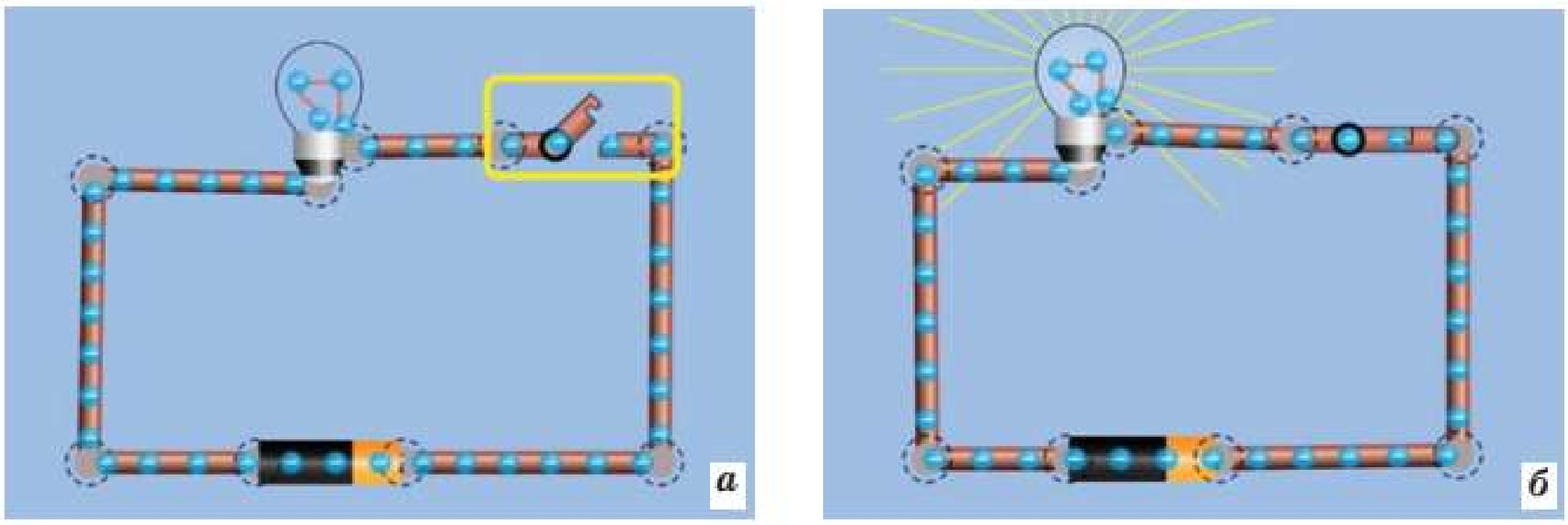
Мал. 22.1.
Найпростіше електричне коло

3. Умови проходження струму в електричному колі

Ви вже знаєте, що для виникнення та існування електричного струму в середовищі мають бути вільні заряджені частинки та електричне поле.

Чи достатньо цього, щоб по колу проходив електричний струм?

Складемо електричне коло з гальванічного елемента, лампочки та ключа (мал. 22.2, *а*). Це коло має джерело струму (для створення електричного поля), з'єднувальні провідники, у яких є носії електрики. Чому ж струм у колі не протікає (лампочка не світиться)?



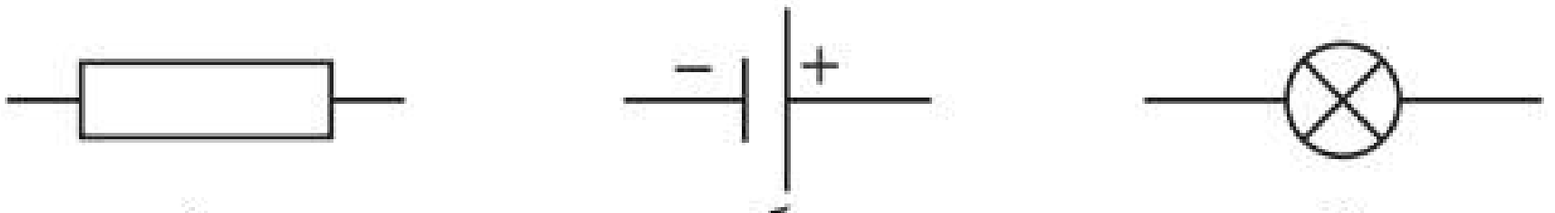
Мал. 22.2.
Електричне коло

Для проходження електричного струму необхідно, щоб електричне коло було ***замкнуте*** (мал. 22.2, *б*). Замикання кола виконує ключ. До речі, якщо в якійсь частині цього кола станеться розрив або контакти під час з'єднання приладів вийдуть з ладу, то електричне коло буде розімкнуте, тобто струм не проходитиме.

За напрям електричного струму умовно взято напрям руху позитивно заряджених частинок, тобто напрям від позитивного полюса джерела струму до негативного.

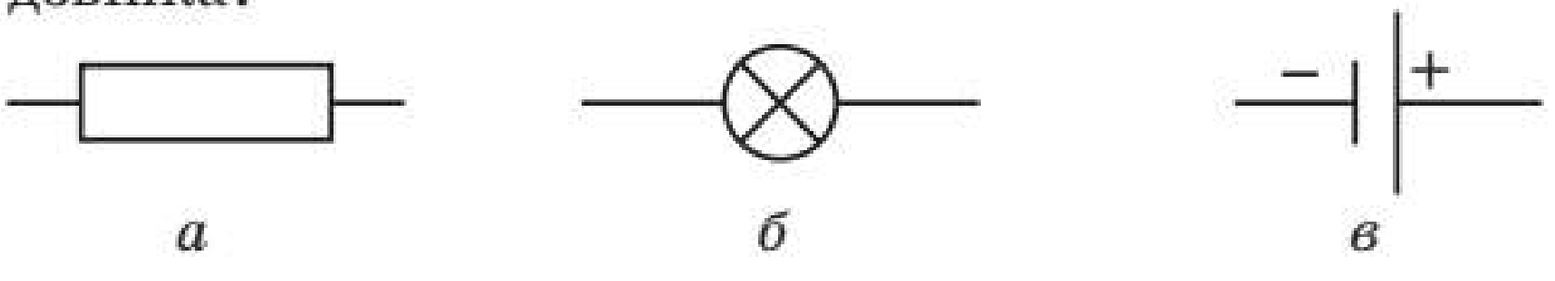
Поміркуйте і дайте відповідь

1. Як на схемах позначають гальванічний елемент?



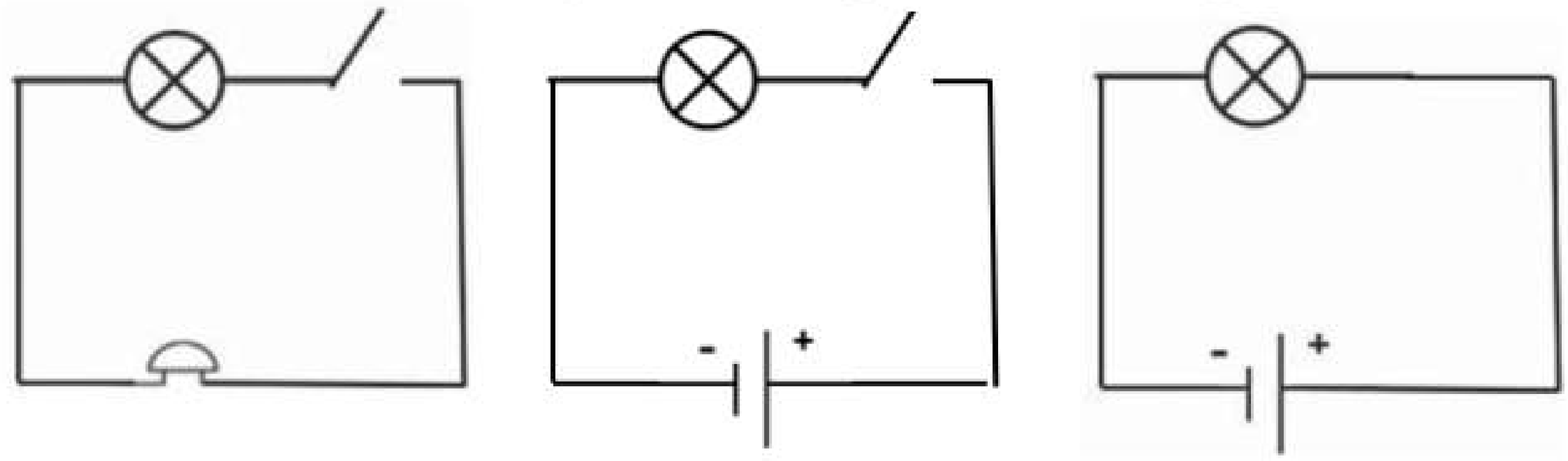
а *б* *в*

2. Чи є серед поданих нижче умовних позначень позначення електричного дзвінка?



а *б* *в*

3. Яка схема відповідає умовам найпростішого електричного кола?



а *б* *в*

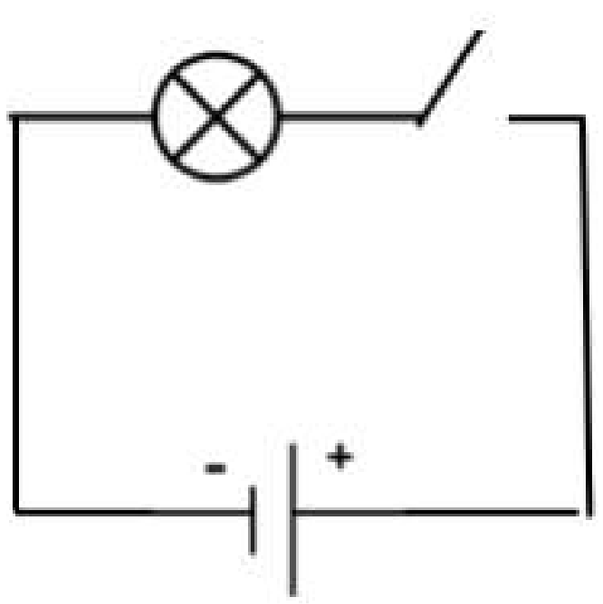
Запам'ятайте

Обов'язкові складові частини найпростішого електричного кола — джерело струму, споживач, вимикач та з'єднувальні провідники.

Електричні схеми — креслення, на яких зображено чи відтворено способи з'єднання електричних приладів у коло.

Перевірте себе

1. Укажіть умову, необхідну для одержання електричного струму в електричному колі від справного гальванічного елемента або акумулятора.
2. Виникла необхідність змінити напрям струму в лампочці (мал. 22.3). Що для цього треба зробити?
3. Електричне коло складається з батареї гальванічних елементів, лампи, дзвінка та двох ключів. Якщо хоча б один ключ розімкнений, лампа не світить і дзвінок не дзвенить. Накресліть схему кола, що відповідає цим умовам.



Мал. 22.3. Схема електричного кола

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Лампа	Lamp
Дзвінок	Call
Резистор	Resistor
Ключ	Key/ Switch
Розетка	Rosette

§ 23. Сила струму. Амперметр

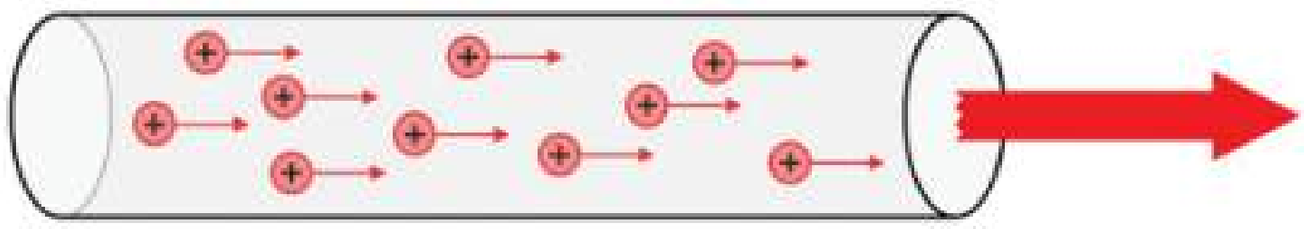
У побуті та в природі ми стикаємося із струмом великим і малим. Відомо, що чим більший струм, тим небезпечніший він для людини. А як визначити його величину? Як обчислити, у скільки разів струм, згенерований електричним скатом, більший від струму, створеного електричним вугром під час розряду? Якого значення досягає струм під час блискавки? Які його значення є безпечними для нас із вами? Це легко пояснити за допомогою фізичної величини — сили струму.

Дізнайтеся про...

- силу струму;
- вимірювання сили струму;
- амперметр.

1. Сила струму

Кількісною мірою величини електричного струму є ***сила струму***. Від чого вона залежить? Оскільки електричний струм — це впорядкований рух заряджених частинок (мал. 23.1), то логічно припустити: чим більше зарядів проходить через провідник, тим більший сумарний заряд (q) вони переносять. Але в різних провідниках один і той самий заряд переноситься не за однаковий час (t). Де швидше це відбувається, там сила струму більша.



Мал. 23.1.
Електричний струм

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

Силу струму позначають символом I та обчислюють за формулою:

$$I = \frac{q}{t}.$$

Одиницею вимірювання сили струму в системі СІ є ***ампер*** (А). Її названо на честь французького фізика Андре Ампера, професора експериментальної

Андре Ампер

фізики, члена Паризької академії наук, який розвивав фізику в першій половині XIX ст.

$$1\ \text{А} = \frac{1\ \text{Кл}}{1\ \text{с}}.$$

Силу струму часто виражають у кратних чи частинних одиницях.

$1\ \text{кА} = 1000\ \text{А}$
$1\ \text{мА} = 0{,}001\ \text{А}$
$1\ \text{мкА} = 0{,}000001\ \text{А}$

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Запишіть у порядку спадання значення сили струму, заздалегідь перетворивши їх на одиниці системи СІ: 4000 мкА, 3000 мА, 20 А, 0,015 кА.

З формули сили струму можна знайти заряд, що проходить через поперечний переріз провідника за певний час:

$$q = It,$$

та час проходження електричного струму:

$$t = \frac{q}{I}.$$

2. Амперметр

Для вимірювання сили струму використовують ***амперметр***. На малюнку 23.2 зображено його умовне позначення на схемі електричного кола.

Мал. 23.2. Позначення амперметра

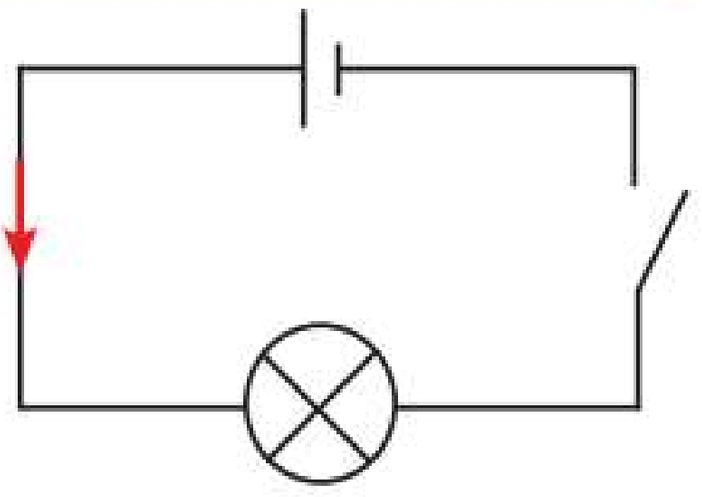
Амперметри є цифрові — мультиметри (мал. 23.3) — та аналогові (мал. 23.4).

Мал. 23.3. Мультиметр

Мал. 23.4. Лабораторний амперметр

Цифрові прилади для вимірювання сили струму зараз дуже популярні, оскільки їх показники легко зчитувати.

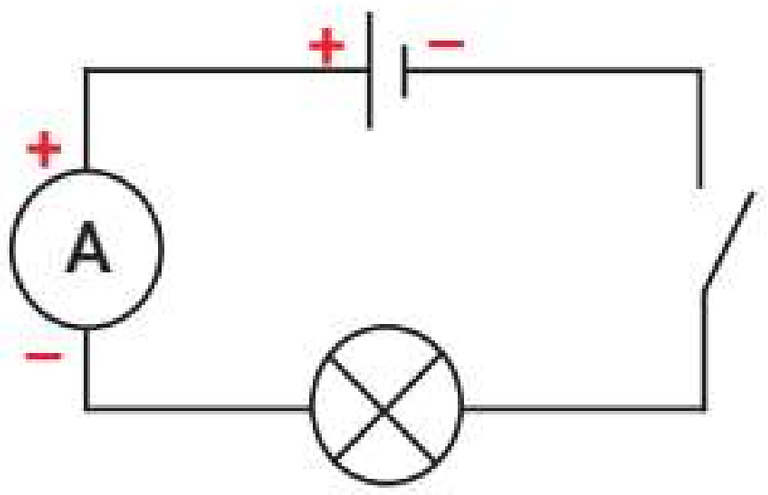
Аналогові прилади мають стрілку, яка відхиляється під час проходження струму і вказує його значення на шкалі. Щоб правильно зафіксувати показники амперметра, необхідно з'ясувати, у яких одиницях проградуйована шкала приладу, та визначити ціну її поділки.



Мал. 23.5.
Схема електричного кола

Щоб прилад не вивести з ладу, треба визначити, яку максимальну силу струму він може вимірювати, а також правильно його увімкнути в коло.

Амперметр під'єднують в електричне коло послідовно з тією ділянкою кола, де вимірюють силу струму, зберігаючи полярність. Для цього розривають коло в тому місці, де потрібно виміряти силу струму (мал. 23.5). У місце розриву поміщають амперметр так, щоб від позначки «+» на клемі амперметра по колу прийти до позитивного полюса джерела струму, а від «−» — до негативного полюса (мал. 23.6).



Мал. 23.6.
Амперметр
в електричному колі

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Чи зміняться показники амперметра (мал. 23.6), якщо його увімкнути в коло між електричною лампочкою та вимикачем?

3. Приклад розв'язування задачі

Задача. У каналі блискавки (мал. 23.7) сила струму становить 40 кА. Визначте електричний заряд, що перейде з хмари в землю, якщо повний розряд блискавки тривав 30 мс.

Мал. 23.7.
Блискавка

Дано:	СІ		Розв'язання:
$t = 30$ мс	0,03 с	$I = \frac{q}{t}$	$q = 40\,000$ А $\cdot$ 0,03 с $= 1200$ Кл
$I = 40$ кА	40 000 А	$q = It$	
q — ?			

Відповідь: $q = 1200$ Кл.

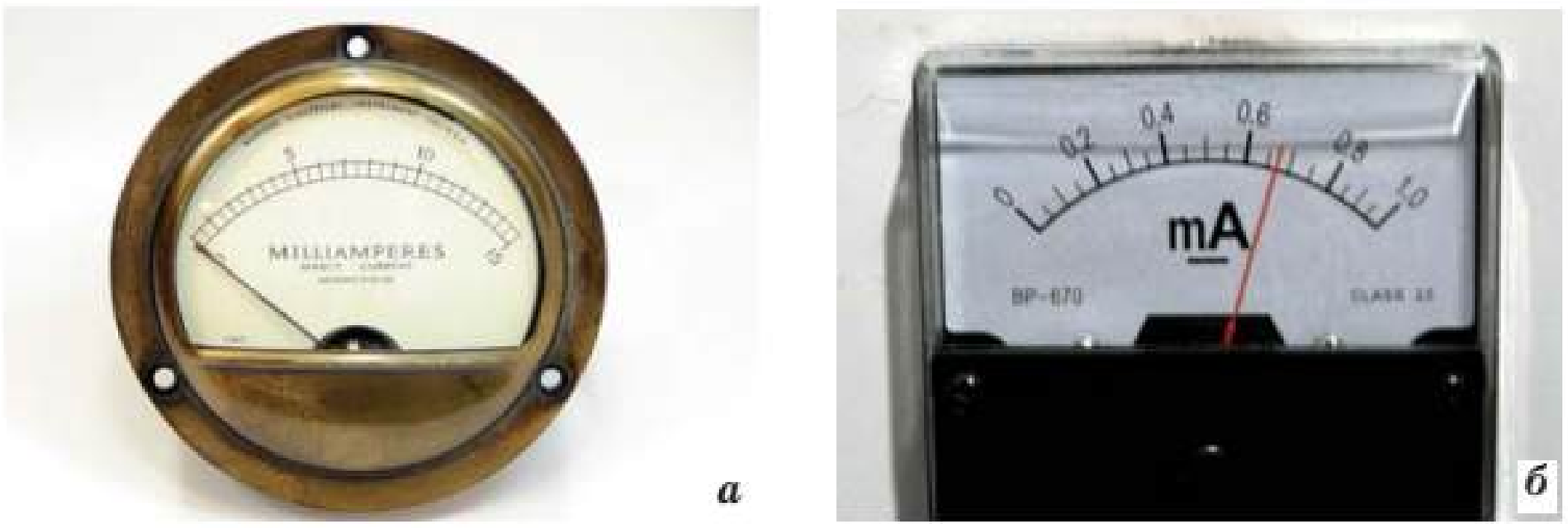
Запам'ятайте

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

Амперметр — прилад для вимірювання сили струму в електричному колі.

Перевірте себе

1. Визначте ціну поділки шкали лабораторного амперметра (мал. 23.4) і вкажіть межі його вимірювання.
2. Безпечним для людини є струм, менший за 0,001 А. Яким міліамперметром (мал. 23.8) його доцільніше вимірювати? Визначте ціну поділки шкали амперметрів та показник правого міліамперметра.



а *б*

Мал. 23.8.
Міліамперметри

3. Електричний скат (мал. 23.9) може короткочасно створити електричний розряд силою струму 50 А, а вугор (мал. 23.10) — 800 мА. Хто з них створює струм більшої сили і в скільки разів?

Мал. 23.9.
Скат

Мал. 23.10.
Вугор

4. Батарея мобільного телефону заряджалася впродовж 20 хв. Сила струму в колі була 1,67 А. Скільки електронів перемістилося за цей час на батарею?

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Сила струму	Current strength
Амперметр	Ammeter

§ 24. Електрична напруга. Вольтметр

Коли зникає струм, часто кажуть: «Немає напруги». Нам відомо, що напруга в електричній мережі — 220 вольт. В інструктажах з безпеки життєдіяльності зазначено, що безпечною для людини є напруга 36 вольт. А що таке «електрична напруга»? Як її виміряти? Що вона характеризує?

Дізнайтеся про...

- електричну напругу;
- вимірювання напруги;
- вольтметр.

1. Електрична напруга

Характеристикою електричного струму є не тільки сила струму, а й напруга. Що таке електрична напруга? Щоб це зрозуміти, звернемося до аналогій (порівняння): струм у провіднику можна порівняти з течією води. Чим швидше тече вода, тим більша її кількість переміщується за одиницю часу. Відповідно чим більше заряду переміщується у провіднику за одиницю часу, тим більша сила струму в ньому.

Але швидкість течії води залежить від перепаду висот: чим з більшої висоти тече вода, тим більшу енергію вона має і більшу роботу може виконати. Аналогічно, чим більша напруга, тим більшу роботу виконає електричне поле, перемістивши більший заряд за одиницю часу і створивши більший струм у колі.

Оскільки електрична напруга пов'язана з роботою електричного поля, то її вважають енергетичною характеристикою електричного поля. Чим сильніше електричне поле, тим більша напруга — і навпаки.

Електрична напруга — фізична величина, яка дорівнює відношенню роботи електричного поля з переміщення одиничного позитивного електричного заряду до величини цього заряду.

Електричну напругу позначають символом U та обчислюють за формулою:

$$U = \frac{A}{q}.$$

Одиницею вимірювання електричної напруги в системі СІ є ***вольт*** (В). Її названо на честь італійського фізика, винахідника Алессандро Вольта, який досліджував електричний струм і якого вважають засновником розділу фізики — електродинаміки. Роки його діяльності припадають на кінець XVIII — початок XIX ст.

Електрична напруга 1 В — це напруга на кінцях провідника, за якої, переміщуючи заряд 1 Кл, електричне поле виконує роботу 1 Дж:

$$1\ \text{В} = \frac{1\ \text{Дж}}{1\ \text{Кл}}.$$

На практиці часто використовують кратні та частинні одиниці напруги.

1 МВ = 1 000 000 В

1 кВ = 1000 В

1 мВ = 0,001 В

З формули електричної напруги можна знайти заряд, який переміщує електричне поле:

$$q = \frac{A}{U},$$

та роботу електричного поля з переміщення цього заряду:

$$A = qU.$$

У таблиці 1 подано деякі значення напруги, які використовують на практиці та спостерігають у природі.

Таблиця 1

Блискавка	1 МВ
Лінії електропередач	750 кВ; 1,5 кВ; 380 В; 220 В
Міський електротранспорт	600 В
Вугор	650 В
Скат	300 В
Напруга, безпечна для людини	36 В
Автомобільний акумулятор	24 В; 12 В
Гальванічний елемент	1,5 В
Один елемент батареї Вольта	1,1 В

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Як змінилася напруга на кінцях провідника, якщо електричне поле, виконавши роботу, в 10 разів меншу, перемістило заряд, у 10 разів більший?

2. Вольтметр

Електричну напругу на ділянці кола вимірюють за допомогою ***вольтметра***. Його умовне позначення на схемі зображено на малюнку 24.1.

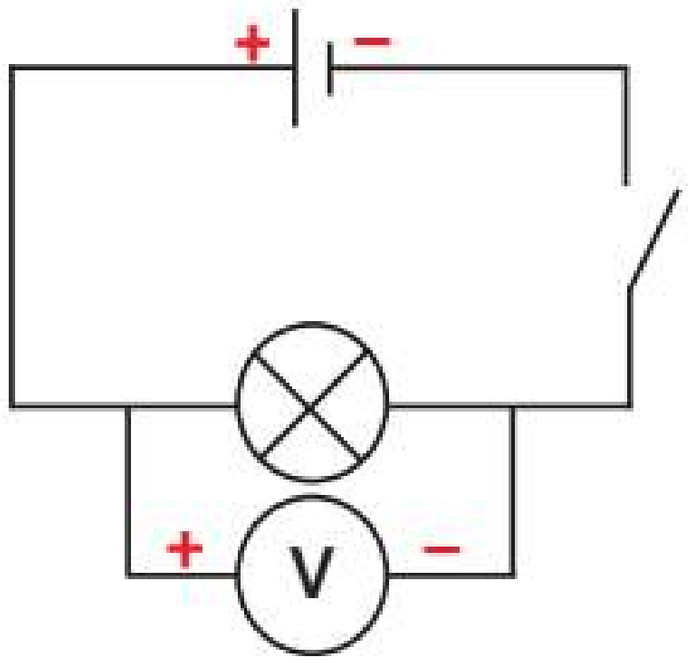
Мал. 24.1. Позначення вольтметра

Вольтметри бувають цифрові (мал. 24.2) та аналогові (мал. 24.3).

Мал. 24.2. Мультиметр

Мал. 24.3. Лабораторний вольтметр

Зовні вольтметр подібний до амперметра, тільки на шкалі вказано одиниці вимірювання напруги. Різняться вони способом під'єднання в електричне коло: ***вольтметр умикають паралельно*** до ділянки кола, на якій потрібно виміряти напругу (мал. 24.4). Обов'язковою умовою є збереження полярності: від позначки «+» на клемі вольтметра по колу треба прийти до позитивного полюса джерела струму, а від позначки «−» — до негативного полюса.



Мал. 24.4. Вольтметр в електричному колі

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Визначте ціну поділки шкали лабораторного вольтметра (мал. 24.3), укажіть межі його вимірювання і напругу, яку він показує.

3. Приклад розв'язування задачі

Задача. У момент удару блискавки напруга між хмарою і землею становила 1 МВ. У результаті перемістилося 1,2 кКл «електрики». Визначте роботу, яку виконало електричне поле. Визначте масу води, яку можна було б нагріти цією енергією від 10 °С до кипіння.

Дано:	СІ	Розв'язання:
$U = 1$ МВ	1 000 000 В	$U = \frac{A}{q}$ $\quad Q = cm(t_2 - t_1)$
$q = 1{,}2$ кКл	1 200 Кл	$A = qU$ $\quad m = \frac{Q}{c(t_2 - t_1)}$
$c = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot °\text{С}}$		$A = Q$
$t_1 = 10$ °С		$A = 1\,200$ Кл $\cdot$ 1 000 000 В =
$t_2 = 100$ °С		$= 1\,200\,000\,000$ Дж
A — ?		$m = \frac{1\,200\,000\,000 \text{ Дж}}{4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot °\text{С}} \cdot (100 °\text{С} - 10 °\text{С})} \approx 3\,200$ кг
m — ?		

Відповідь: $A = 1\,200\,000\,000$ Дж, $m \approx 3\,200$ кг.

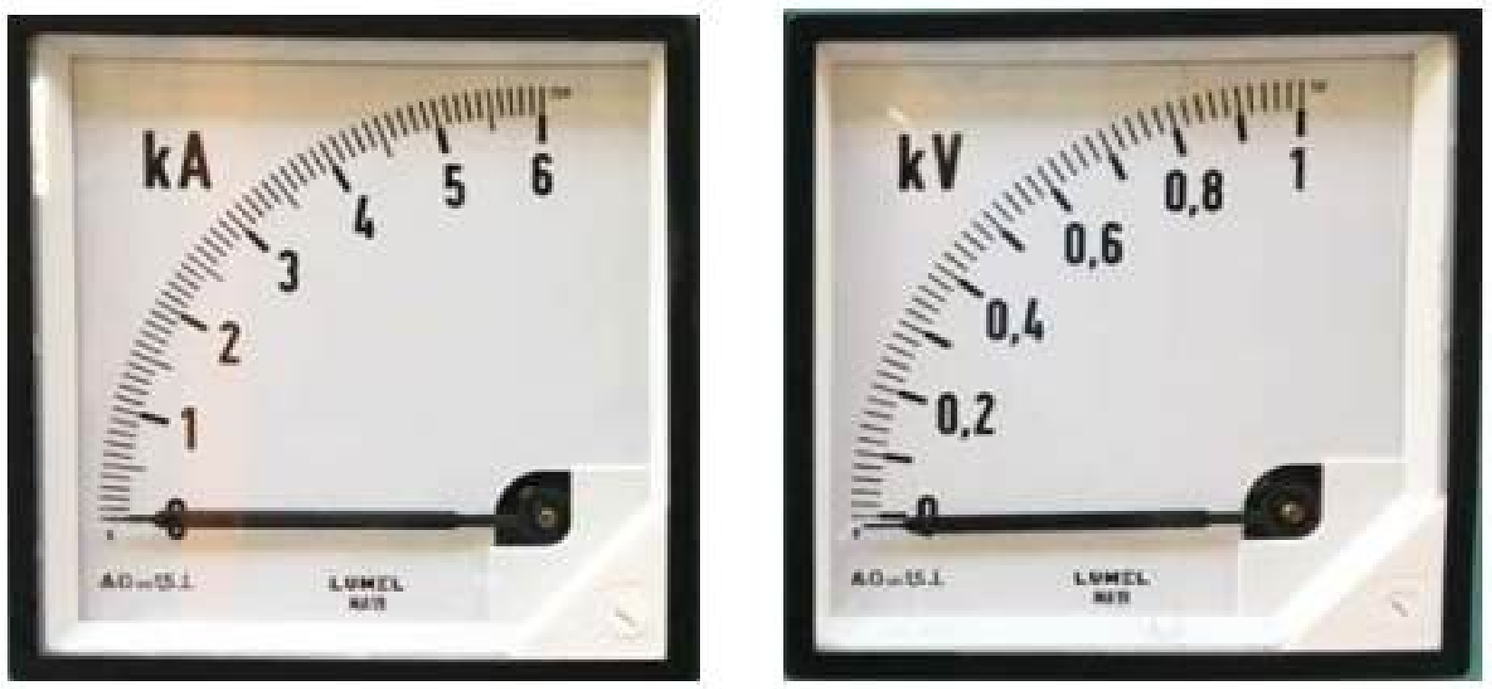
Запам'ятайте

Електрична напруга — фізична величина, яка дорівнює відношенню роботи електричного поля з переміщення одиничного позитивного електричного заряду до величини цього заряду.

Вольтметр — прилад для вимірювання електричної напруги.

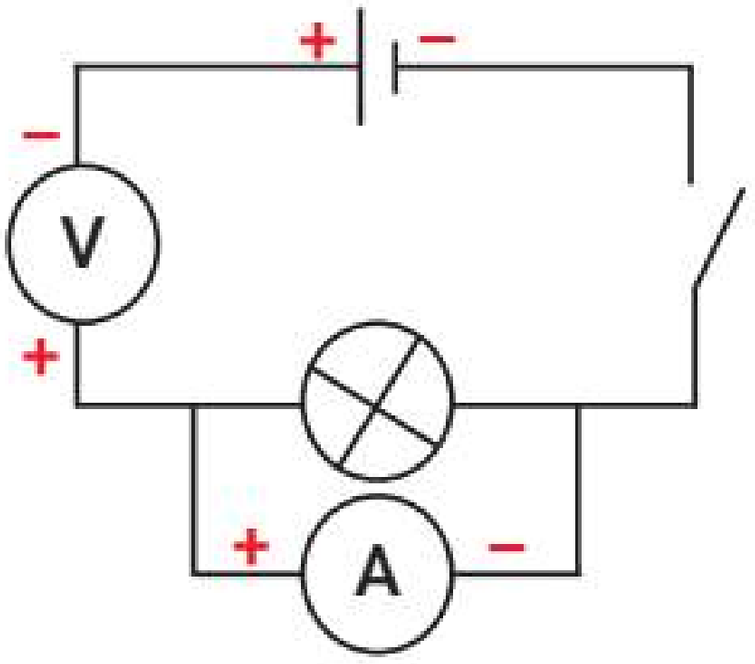
Перевірте себе

1. Які фізичні величини можна виміряти за допомогою приладів, зображених на мал. 24.5? Визначте ціну поділки шкали кожного приладу.



Мал. 24.5.
Електровимірювальні прилади

2. Під час виконання лабораторної роботи потрібно якнайточніше виміряти електричну напругу. Відомо, що вона безпечна для людини. У вас є вольтметри, розраховані на вимірювання напруги 60 В, 30 В, 10 В, 6 В. Який з них ви використаєте?
3. Знайдіть помилки на схемі електричного кола (мал. 24.6), яке складається з гальванічного елемента, електричної лампочки, ключа, амперметра та вольтметра.



Мал. 24.6.
Схема електричного кола

4. Електродвигун холодильника, увімкненого в мережу 220 В, виконав роботу 1,1 МДж. Визначте заряд, який за цей час перемістило електричне поле в обмотці двигуна.
5. Для освітлення приміщень використовуємо лампи розжарювання, люмінесцентні лампи та світлодіодні (мал. 24.7). Визначте роботу, яку виконує електричне поле за 1 годину світіння кожної з ламп, увімкнених у мережу 220 В, якщо сила струму в них дорівнює відповідно 0,45 А, 130 мА та 80 мА. Проаналізуйте отримані результати і зробіть висновок щодо енергоефективності електричних ламп.

Мал. 24.7.
Електричні лампи

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Електрична напруга	Electric voltage
Вольтметр	Voltmeter

§ 25. Електричний опір. Закон Ома для ділянки кола

Уявіть собі майдан, на якому люди рухаються в різні боки, мов мурашки, — відбувається святковий ярмарок. А вам з товаришем потрібно дістатися в інший кінець майдану, бо там чекають друзі. Пробитися крізь натовп складно, ви наштовхуєтеся на людей, змінюєте свій напрямок руху, обходите перешкоди. А чи є перешкоди для електричного струму? Давайте з'ясуємо.

Дізнайтеся про...

- опір провідника та одиниці вимірювання опору;
- закон Ома для ділянки кола.

1. Опір провідника та одиниці його вимірювання

Ви вже знаєте, що носіями струму в металах є вільні електрони. Вони рухаються під дією електричного поля в певному напрямку. Електрони наштовхуються на вузли кристалічної ґратки металів, у яких коливаються позитивні йони. Вони взаємодіють із цими йонами, і їх упорядкований рух сповільнюється. Зменшується кількість електронів, що проходять за одиницю часу через поперечний переріз провідника. Чим взаємодія між вільними електронами і позитивними йонами сильніша, тим менший струм буде в електричному колі й більший час необхідний для проходження всіх електронів через провідник. Це аналогічно до випадку на майдані: чим більше натовп перешкоджатиме вашому руху з товаришем, тим довше ви проходитимете через майдан.

Електричний опір — фізична величина, що характеризує властивість провідника протидіяти електричному струму, який ним проходить.

Опір позначають символом R. Одиниця вимірювання опору в системі СІ — **Ом**. Цю одиницю названо на честь німецького фізика Георга-Симона Ома (1789—1854).

1 Ом — це опір такого провідника, у якому виникає струм силою 1 ампер за напруги на кінцях провідника 1 вольт.

Опір провідника часто виражають у кратних чи частинних одиницях.

Георг-Симон Ом

1 МОм = 1 000 000 Ом
1 кОм = 1000 Ом
1 мОм = 0,001 Ом

Пристрої, що мають чітко визначену величину опору, називають ***резисторами*** (мал. 25.1). Резистори є невід'ємним складником сучасної електронної техніки.

Мал. 25.1.
Резистори

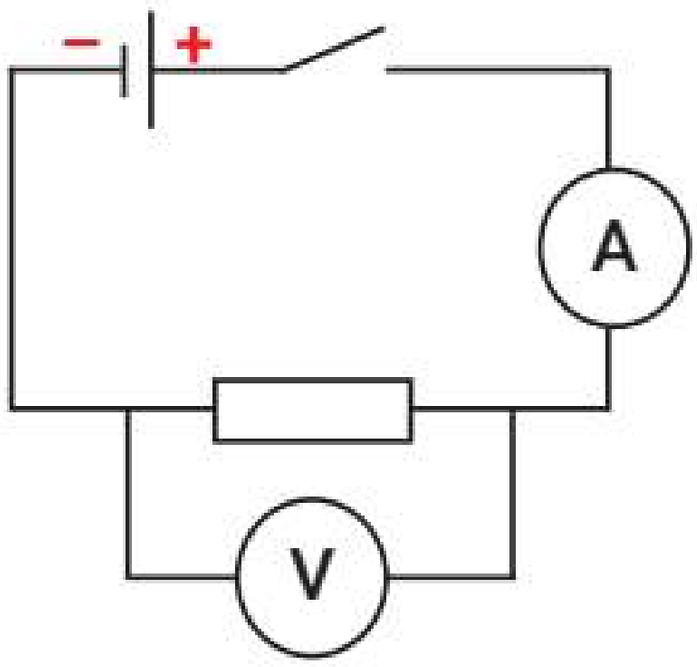
Поміркуйте і дайте відповідь

1. Запишіть у порядку зростання значення опору, перетворивши їх на одиниці системи СІ: 0,000003 МОм, 1800 мОм, 90 Ом, 0,2 кОм.

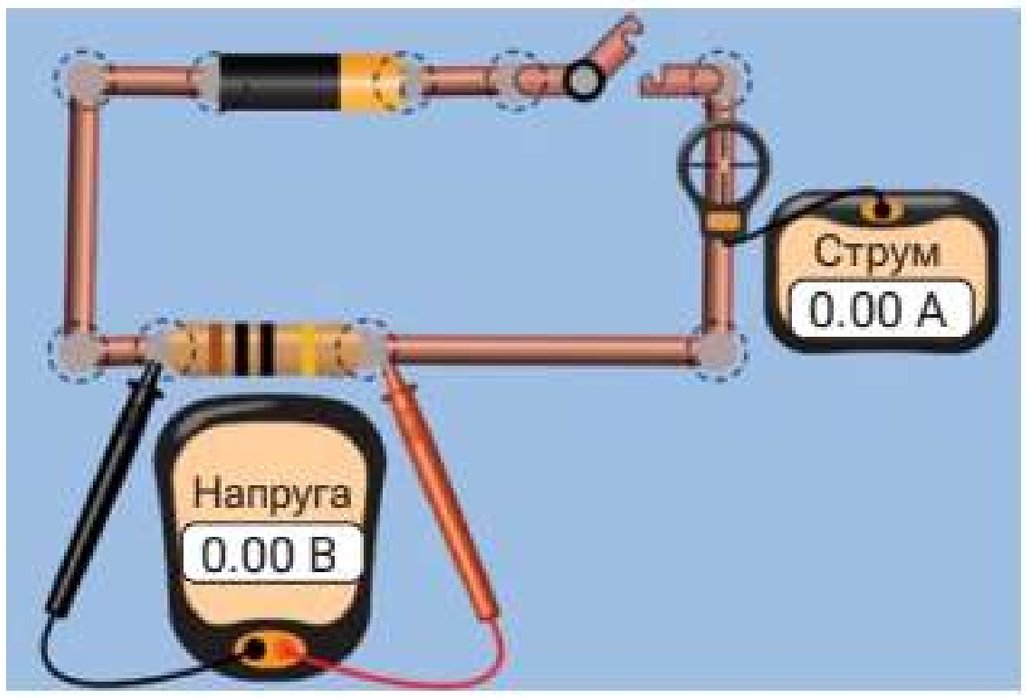
2. Закон Ома для ділянки кола

Георг Ом досліджував, від чого залежить сила струму в електричному колі. Згодом виявлену ним залежність назвали законом Ома. Проекспериментуємо й ми.

Складемо електричне коло з гальванічного елемента, ключа, резистора, вольтметра та амперметра, накреслимо схему цього кола за допомогою умовних позначень (мал. 25.2) або використаємо для цього PhET-симуляцію (мал. 25.3).



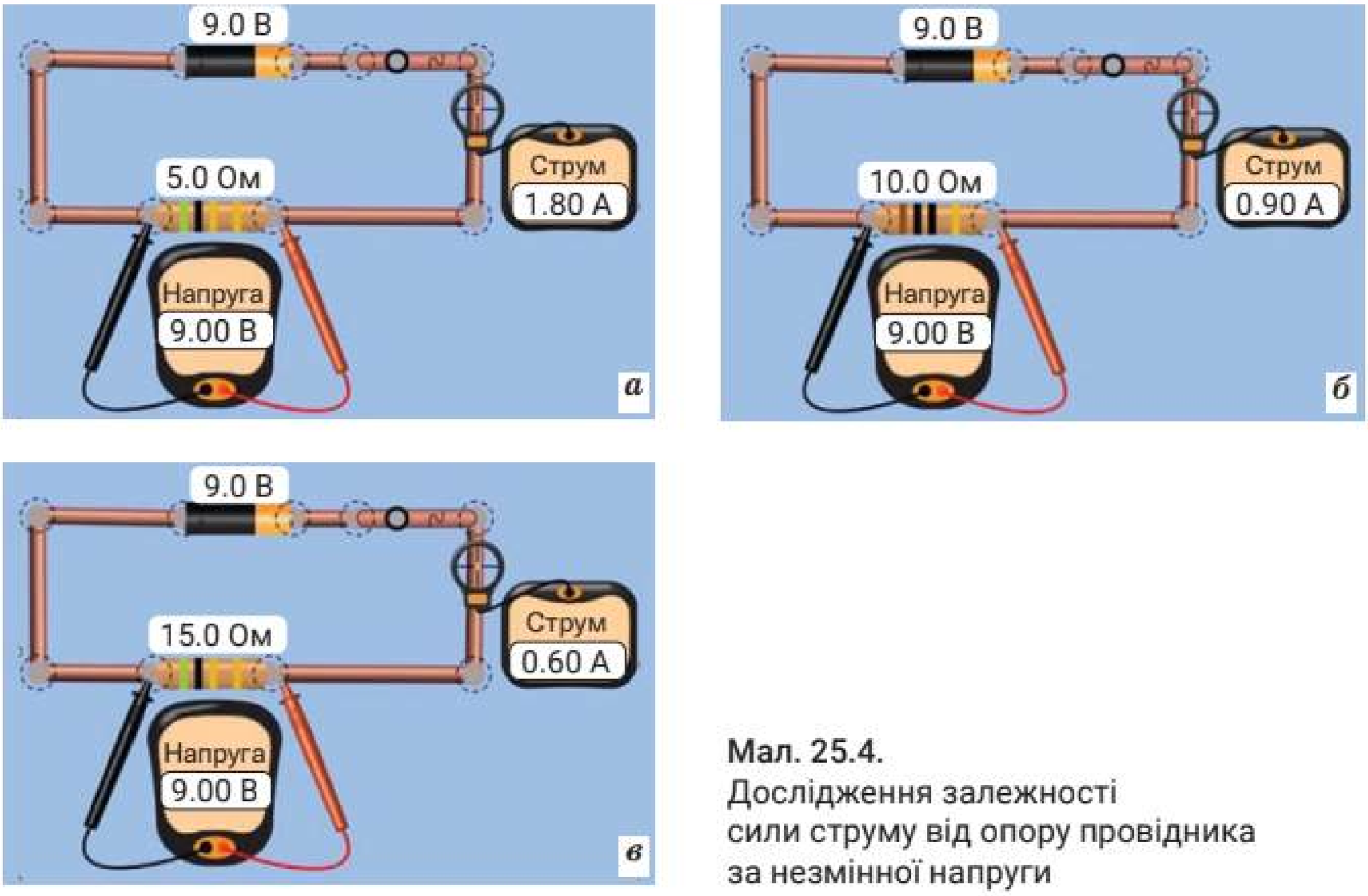
Мал. 25.2.
Схема
електричного кола



Мал. 25.3.
Електричне коло
з використанням PhET-симуляції

Виконаємо кілька дослідів.

Дослід 1. Не змінюючи напругу на кінцях ділянки кола, почергово змінюємо опір провідника й вимірюємо силу струму в ньому (мал. 25.4). За опору резистора 5 Ом сила струму становить 1,8 А (мал. 25.4, *а*); за опору резистора 10 Ом сила струму дорівнює 0,9 А (мал. 25.4, *б*), а за опору 15 Ом сила струму становить 0,6 А (мал. 25.4, *в*).



Мал. 25.4.
Дослідження залежності
сили струму від опору провідника
за незмінної напруги

Висновок очевидний: ***чим більший опір провідника, тим сила струму в ньому за незмінної напруги буде меншою***. Таку залежність називають обернено пропорційною.

Дослід 2. Змінимо напругу на кінцях ділянки кола за однакового опору провідника і повторимо експеримент (мал. 25.5). Опір резистора становить 10 Ом. У першому досліді напруга на кінцях провідника дорівнює 4 В, а сила струму в ньому — 0,4 А (мал. 25.5, *а*); у другому досліді за напруги 9 В сила струму дорівнює 0,9 А (мал. 25.5, *б*); у третьому досліді за напруги 18 В сила струму становить 1,8 А (мал. 25.5, *в*).

Отже, ***чим більша напруга на кінцях провідника, тим більша сила струму в ньому***. Це прямо пропорційна залежність.

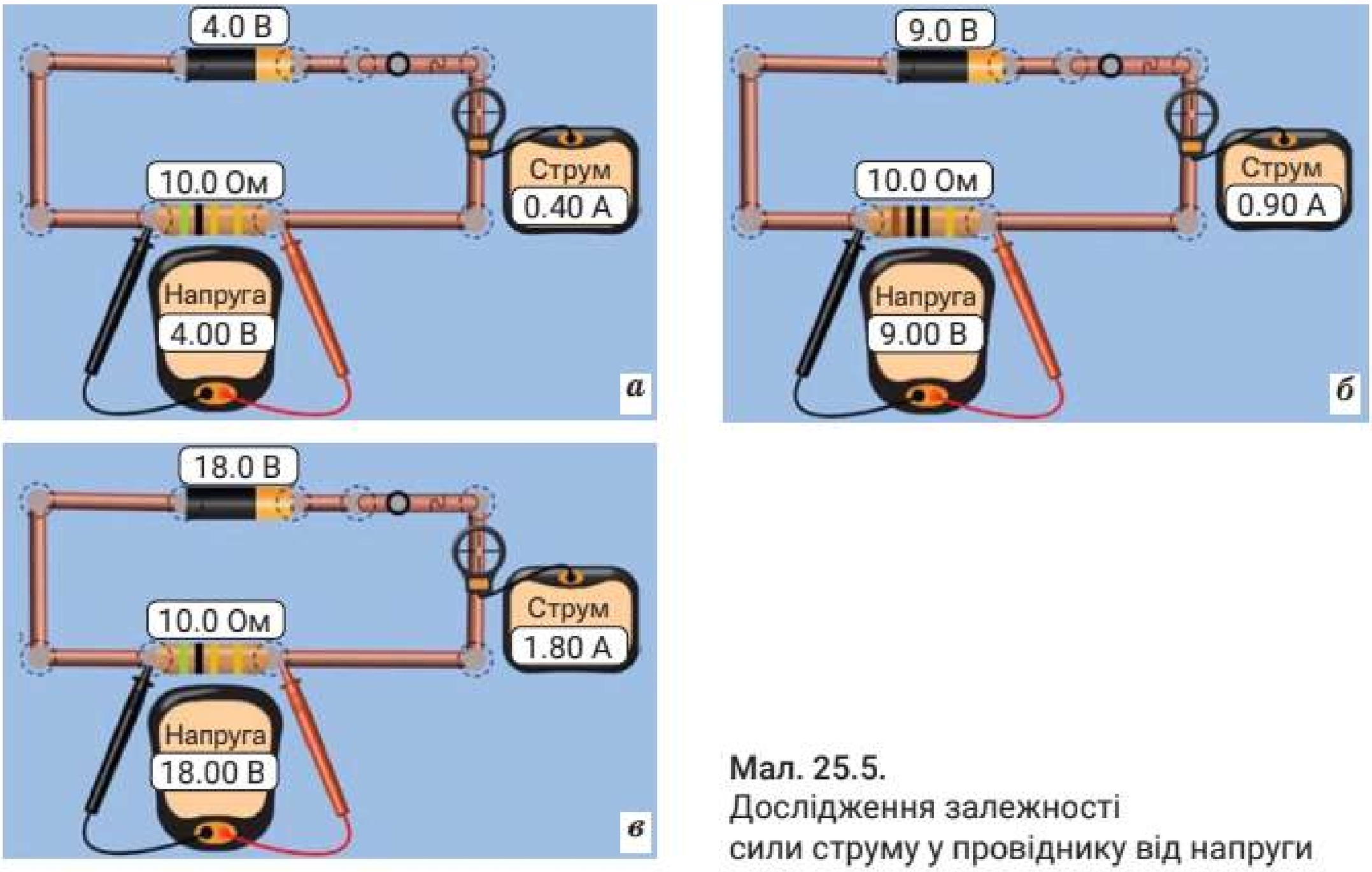
Узагальнюючи результати дослідів, робимо висновок, який називають **законом Ома**: ***сила струму в ділянці кола прямо пропорційна напрузі на кінцях цієї ділянки й обернено пропорційна її опору.***

$$I = \frac{U}{R}.$$

З формули закону Ома можна визначити напругу та опір провідника:

$$U = IR;$$

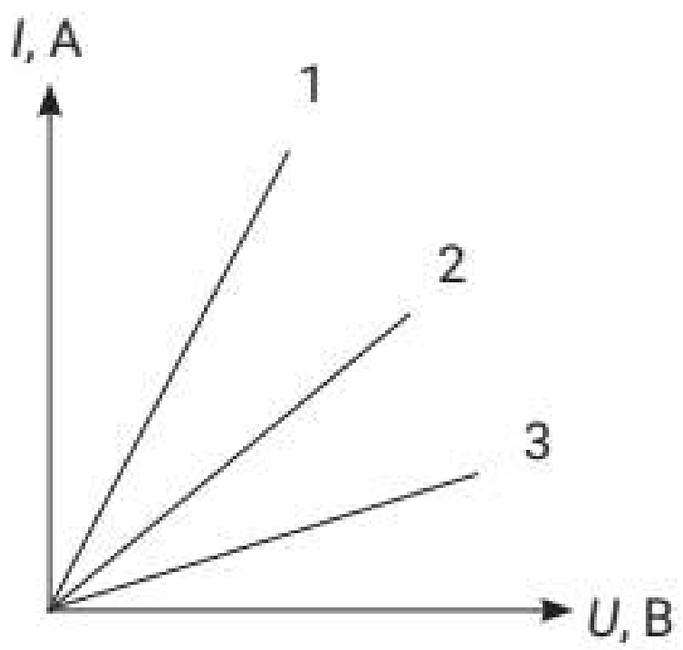
$$R = \frac{U}{I}.$$



Мал. 25.5.
Дослідження залежності
сили струму у провіднику від напруги

Залежність сили струму від напруги можна зобразити графічно. Такий графік називають ***вольт-амперною характеристикою провідника.***

Розглянемо графік залежності сили струму від напруги для трьох різних опорів (мал. 25.6). Опір резистора 1 найменший, а резистора 3 — найбільший, тобто менший опір у резистора, графік якого стрімкіший. ***Чим більший кут нахилу прямої до горизонтальної осі, тим опір менший.***



Мал. 25.6.
Графік залежності сили струму від напруги для трьох провідників

3. Приклад розв'язування задачі

Задача. На цоколі світлодіодної лампи зазначено: «220 V; 60 mA». Визначте її опір.

Дано:	СІ		Розв'язання:
$U = 220$ В		$I = \frac{U}{R}$	$R = \frac{220\ \text{В}}{0{,}06\ \text{А}} \approx 3667$ Ом
$I = 60$ мА	0,06 А	$R = \frac{U}{I}$	
R — ?			

Відповідь: $R \approx 3667$ Ом.

Запам'ятайте

Електричний опір — фізична величина, що характеризує властивість провідника протидіяти електричному струму, який ним проходить.

Закон Ома: сила струму в ділянці кола прямо пропорційна напрузі на кінцях цієї ділянки й обернено пропорційна її опору.

Вольт-амперна характеристика провідника — графік залежності сили струму від напруги.

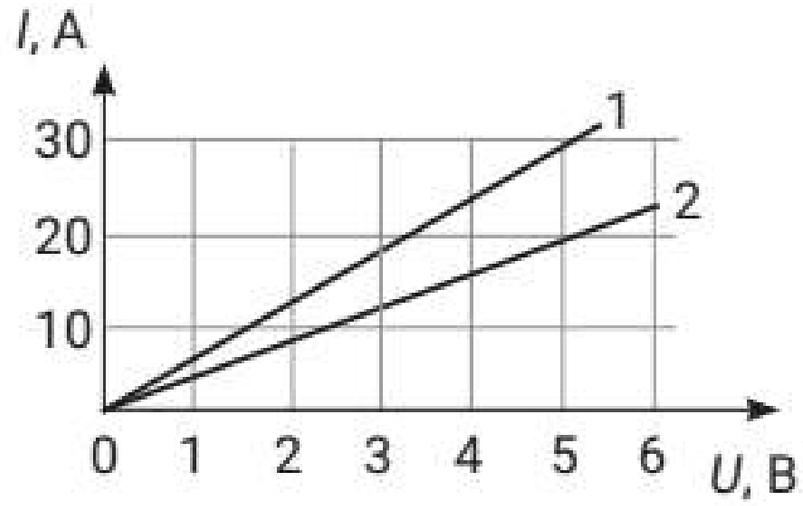
Перевірте себе

1. Необхідно удвічі зменшити силу струму в провіднику. Що для цього треба зробити?
2. Заповніть таблицю 1.

Таблиця 1

Резистор	500 мА		4 Ом
Електрична лампочка ліхтарика		4,5 В	15 Ом
Світлодіод F5	20 мА	2 В	
Фен для волосся професійний		220 В	22 Ом

3. Визначте силу струму, що проходить в електричній лампочці ліхтарика, якщо її опір становить 15 Ом і приєднана вона до батарейки (4,5 В).
4. За графіком залежності сили струму від напруги (мал. 25.7) визначте опори провідників та порівняйте їх.
5. Якщо на резистор подати напругу 9 В, то через нього проходитиме струм 1,5 А. Визначте силу струму, що проходитиме через той самий резистор, якщо на нього подати напругу 6 В.



Мал. 25.7.
Графік залежності сили струму від напруги

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Електричний опір	Electrical resistance
Закон Ома	Ohm's law

§ 26. Залежність опору провідника від його довжини, площі поперечного перерізу та матеріалу. Питомий опір. Реостати

Кожен/кожна з вас любить мультфільми та художні фільми. Їх, звичайно, можна дивитися вдома, але значно цікавіше — з друзями в кінотеатрі. Ви запасаєтеся чимось смачненьким, умощуєтеся зручно в м'яких кріслах і очікуєте на позитивні емоції. Ось світло плавно згасає — і починається подорож у світ кінематографа. А чи замислювалися ви, чому світло згасає поступово? Як досягають такого ефекту? З'ясуймо!

Дізнайтеся про...

- залежність опору провідника від його геометричних розмірів;
- питомий опір провідника;
- реостат;
- залежність опору провідника від температури.

1. Залежність опору провідника від його геометричних розмірів. Питомий опір

Від чого залежить опір провідника? Проведемо знову аналогію з ярмарком (§ 25). Вам легше було б подолати шлях через майдан, якби людей було менше; якби відстань, яку потрібно пройти, була б меншою, а ширина майдану — більшою з тією самою кількістю людей. Тож опір провідника буде меншим, якщо довжина (l) його менша, а площа поперечного провідника (S) — більша.

Є ще одна величина, від якої залежить опір провідника, — питомий опір.

Питомий опір — фізична величина, що характеризує електричні властивості речовини і чисельно дорівнює опору провідника довжиною 1 м і площею поперечного перерізу 1 м^2, виготовленого з даної речовини.

Питомий опір провідника позначають символом $\rho_п$ (читається «ро»). Одиницею вимірювання питомого опору в системі СІ є **Ом · м**. На практиці часто використовують позасистемну одиницю $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$.

У таблиці значень питомого електричного опору деяких речовин (додаток 1, табл. 8) питомий опір міді — 0,017 $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$. Це означає, що опір мідного провідника площею поперечного перерізу 1 мм² і довжиною 1 м становить 0,017 Ом.

Отже, опір провідника залежить від ***геометричних розмірів*** (довжини провідника, площі поперечного перерізу) і ***роду речовини провідника*** (питомого опору провідника) за сталої температури. Математичний запис цієї залежності має вигляд:

$$R = \rho_{\text{п}} \frac{l}{S}.$$

Нагадуємо, що опір провідника також можна визначити із закону Ома:

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

проте ні від напруги, ні від сили струму він не залежить.

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Із двох провідників однакової площі поперечного перерізу, виготовлених з однакової речовини, перший удвічі коротший за другий. Який з провідників має більший електричний опір і в скільки разів?
2. Металеву дротину розрізали навпіл по довжині й половинки сплели. Як змінився опір провідника?

2. Реостат

У театрі, кінотеатрі, цирку, на вулиці світло гасне плавно, бо струм зменшують поступово. Трамваї, тролейбуси змінюють швидкість руху поступово завдяки плавній зміні сили струму. А як це роблять? На допомогу приходить прилад — реостат.

Слово «реостат» (у перекладі з грецької — «регулювальний пристрій») запропонував приблизно в 1845 р. Чарльз Вітстон. Принцип дії цього приладу ґрунтується на законі Ома та залежності опору від геометричних розмірів провідника.

Реостат — прилад для регулювання сили струму в електричному колі.

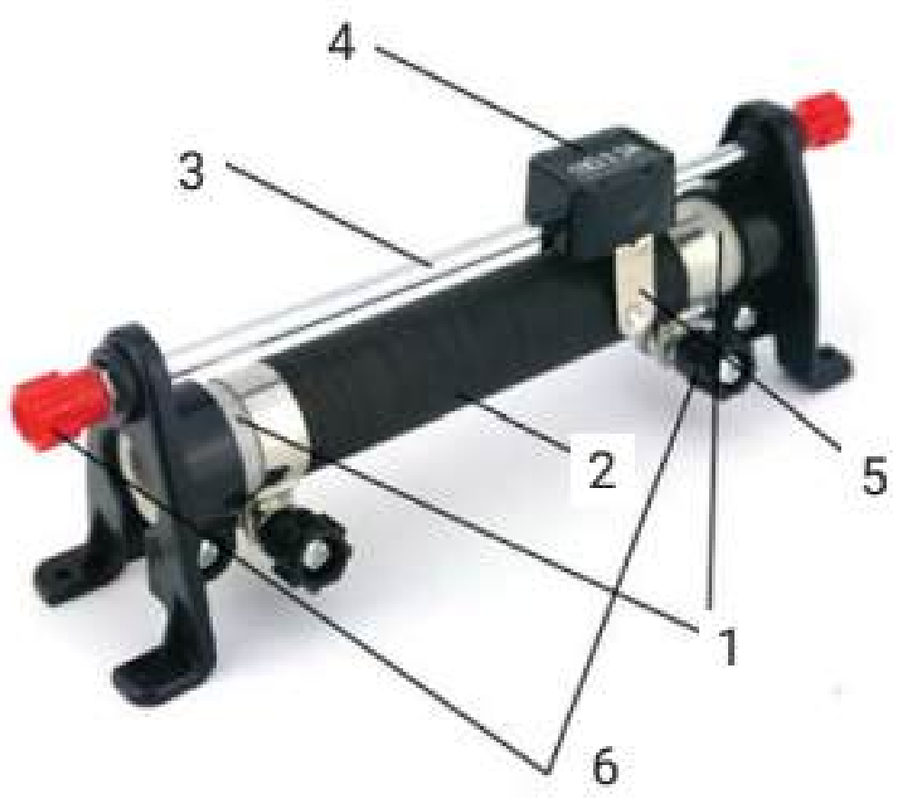
Сила струму в ділянці кола за однакової напруги обернено пропорційна до опору, тому виникла ідея змінювати опір у колі. Оскільки речовину та площу поперечного перерізу провідника змінити складно, а довжину провідника регулювати легко, то в цьому приладі використовують залежність опору від довжини провідника.

Реостати є повзункові та важільні. *Важільний реостат* складається з провідника з великим питомим опором, натягнутого на раму (мал. 26.1).

Дріт проходить через декілька контактів. Приєднуючись до потрібного контакту, отримують необхідний опір, змінюючи його ступенями — стрибками. Такі реостати використовують переважно для запуску та вимкнення електродвигунів.

Повзунковий реостат (мал. 26.2) складається з керамічного циліндра (1), на який щільно намотано багато витків провідника з великим питомим опором (обмотка — 2). Провідник покритий шаром окалини, який стирається ковзними контактами. Зверху над циліндром розміщено металевий стрижень (3), по якому може ковзати повзунок (4) з двома ковзними контактами (5). Реостат має дві клеми, одна з яких з'єднана із стрижнем (червона — 6), а друга (чорна — 6) — з обмоткою.

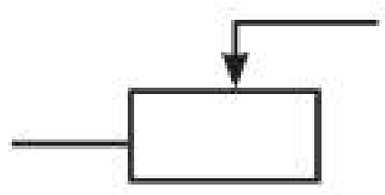
Мал. 26.1.
Важільний реостат



Мал. 26.2.
Повзунковий реостат

Під час пересування повзунка стирається шар окалини і електричний струм протікає від клеми до клеми через витки обмотки провідника, ковзний контакт і стрижень. Також змінюється довжина провідника, а отже, його опір.

Важливо пам'ятати, що кожен реостат розрахований на певний опір і невелику допустиму силу струму, яку перевищувати не можна, бо прилад перегорить. Опір реостата і допустиме значення сили струму вказані на ньому.



Мал. 26.3.
Умовне позначення реостата на схемах

На електричних схемах реостат має своє умовне позначення (мал. 26.3.)

Принципова відмінність між важільним і повзунковим реостатами полягає в тому, що за допомогою повзункового реостата опір, а відповідно і силу струму в колі, можна змінювати плавно, а за допомогою важільного реостата можна обирати задані значення опору й відповідно створювати певні значення сили струму. Тобто ці величини змінюються стрибкоподібно.

3. Приклад розв'язування задачі

Задача. У коло джерела струму, що дає напругу 6 В, увімкнули шматок нікелінового дроту довжиною 25 см і площею поперечного перерізу 0,1 мм². Визначте силу струму, яка встановилася в колі.

Дано:	СІ		Розв'язання:
$U = 6$ В		$I = \frac{U}{R}$	$R = 0{,}42 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}} \cdot \frac{0{,}25\ \text{м}}{0{,}1\ \text{мм}^2} =$
$l = 25$ см	$0{,}25$ м		$= 1{,}05$ Ом
$S = 0{,}1$ мм²		$R = \rho_п \frac{l}{S}$	$I = \frac{6\ \text{В}}{1{,}05\ \text{Ом}} \approx 5{,}7$ А
$\rho_п = 0{,}42 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$			
I — ?			

Відповідь: $I \approx 5{,}7$ А.

4. Залежність опору провідника від температури

Повернемося на святковий ярмарок. Уявіть, що в натовпі хтось вигукнув: «Артисти уже на сцені!». Люди починають підходити ближче до сцени, виникає штовханина. Вам з товаришем іти через майдан стає важче. А що за аналогією відбувається в електричному провіднику під час його нагрівання? Йони кристалічної ґратки починають рухатися інтенсивніше, отже, температура зростає і вільним електронам проходити через провідник стає важче — опір збільшується. ***Зі збільшенням температури опір провідника зростає.***

Запам'ятайте

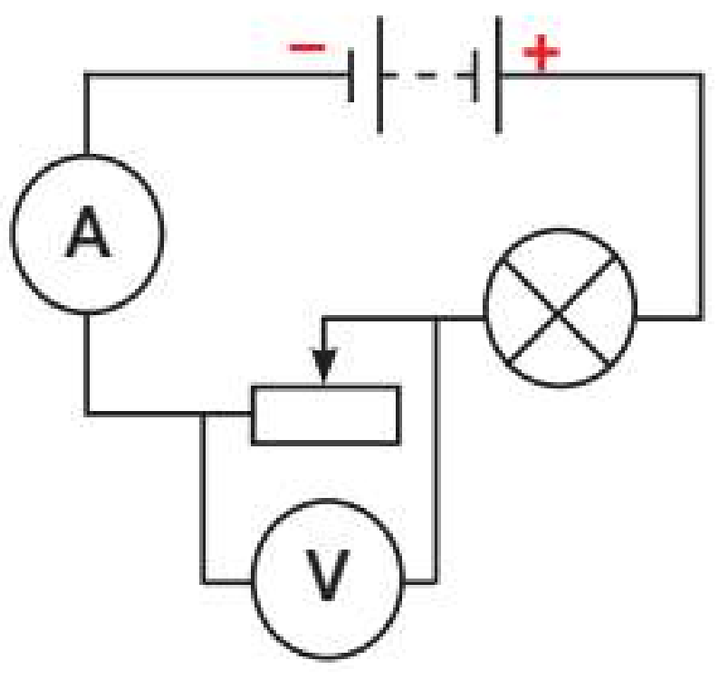
Питомий опір — фізична величина, що характеризує електричні властивості речовини і чисельно дорівнює опору провідника довжиною 1 м і площею поперечного перерізу 1 м², виготовленого з даної речовини.

Реостат — прилад для регулювання сили струму в електричному колі.

Опір провідника залежить від ***геометричних розмірів*** (довжини провідника, площі поперечного перерізу) та ***роду речовини провідника*** (питомого опору провідника) за сталої температури.

Перевірте себе

1. Чи зміняться показники амперметра (мал. 26.4), якщо повзунок реостата переміщувати вправо? Якщо зміняться, то як?



Мал. 26.4.
Схема електричного кола

2. На скільки більший опір латунного провідника довжиною 1 м і площею поперечного перерізу 1 мм^2 від алюмінієвого таких самих розмірів?
3. Визначте питомий опір провідника довжиною 0,5 км, якщо його опір становить 22 Ом, а площа поперечного перерізу 10 мм^2.
4. Визначте площу поперечного перерізу нікелінового дроту довжиною 8 м, необхідного для виготовлення реостата опором 20 Ом.
5. Визначте напругу, яку треба прикласти до кінців сталевого дроту довжиною 8 м і площею поперечного перерізу 4,8 мм^2, щоб одержати в ньому струм 5 А.

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Реостат	Rheostat

Лабораторна робота № 3
ВИМІРЮВАННЯ ОПОРУ ПРОВІДНИКА ЗА ДОПОМОГОЮ АМПЕРМЕТРА І ВОЛЬТМЕТРА

Мета: навчитися визначати опір провідника за допомогою амперметра і вольтметра на основі закону Ома для ділянки кола.

Обладнання: джерело постійного струму, лабораторні амперметр і вольтметр, досліджуваний провідник (дротяний резистор), реостат, ключ, з'єднувальні дроти.

Дотримуйтеся правил безпеки життєдіяльності під час роботи!

Хід роботи

1. Накресліть схему електричного кола, що складається з послідовно з'єднаних джерела постійного струму, амперметра, досліджуваного провідника, реостата, ключа.
2. За схемою складіть електричне коло.
3. Виміряйте силу струму (I) в колі.
4. До кінців досліджуваного провідника приєднайте вольтметр і виміряйте напругу (U) на провіднику.
5. За допомогою реостата змініть опір кола і знову виміряйте силу струму в колі та напругу на досліджуваному провіднику.
6. Повторіть дослід, змінивши опір кола за допомогою реостата.
7. Результати вимірювань запишіть у таблицю 1.

Таблиця 1

№ з/п	Сила струму I, А	Напруга U, В	Опір R, Ом

8. Використовуючи закон Ома для ділянки кола, визначте опір досліджуваного провідника за даними кожного окремого вимірювання.
9. Результати обчислень запишіть у таблицю 1.

Проаналізуйте результати експерименту. Зробіть висновок (що саме визначали під час виконання лабораторної роботи; значення якої величини обчислювали та які результати отримали; чи можна вважати результати експерименту абсолютно точними; чи залежить опір провідника від сили струму в ньому та напруги на його кінцях; де набуті знання можна використати на практиці).

Додаткове завдання

Якщо досліджуваний провідник замінити лампочкою від кишенькового ліхтарика у цьому ж колі, то ввімкнений послідовно з нею амперметр покаже зміну сили струму. Чим зумовлена така зміна показників амперметра? Відповідь обґрунтуйте.

§ 27. Дія електричного струму на організм людини

«Дефібрилятор! Розряд!» Лікарі прикладають до тіла потерпілої людини в ділянці серця пластини-електроди, бо її серце зупинилося. Іноді цю процедуру повторюють кілька разів. Цей процес ви могли бачити в художніх фільмах, тому знаєте, що внаслідок таких дій серце знову починає працювати. Дефібрилятор запускає серце коротким високовольтним імпульсом, тобто короткочасним проходженням струму через тіло людини. При цьому відбувається повне скорочення міокарда — серцевого м'яза, яке здатне відновити його роботу. Дефібрилятори використовують реаніматологи, працівники рятувальної служби, стюардеси, інструктори та спортивні тренери. Цей апарат є навіть у працівників охорони великих торговельних центрів. Ним за потреби можуть скористатися люди, які пройшли курси надання першої домедичної допомоги.

З'ясуємо, як ще електричний струм впливає на організм людини. Чи завжди його дія корисна? Читаємо, аналізуємо і запам'ятовуємо!

Дізнайтеся про...

- особливості впливу електричного струму на організм людини;
- захист від блискавки;
- блискавичник та його функцію;
- позитивну дію електричного струму на організм людини.

1. Небезпечна і шкідлива дія електричного струму на людей

У XVIII ст. голландський фізик Пітер ван Мушенбрук після того, як відчув на собі дію електричного струму, сказав, що «не погодився б зазнати ще раз такого випробування навіть за королівський трон Франції». Що ж відбувається з людиною, коли крізь неї проходить електричний струм?

Електрична енергія, поглинута організмом людини, перетворюється на інші її види і призводить до різних дій. ***Термічна (теплова) дія струму*** спричиняє опіки окремих ділянок тіла, нагрівання до високої температури кровоносних судин, нервів, серця, мозку, що може призвести до серйозних функціональних розладів. Опіки глибоко проникають у тканину, тому важко піддаються лікуванню.

Пітер ван Мушенбрук

Розкладання органічних речовин та крові відбувається внаслідок ***електролітичної (хімічної) дії струму***. Це може спричинити істотні зміни фізико-хімічного складу та порушення функцій усього організму.

Мимовільне скорочення м'язів (судоми), параліч м'язів опорно-рухового апарату, м'язів дихальних шляхів та шлуночків серця викликає ***біологічна дія струму*** на тіло людини. Може відбутися миттєва зупинка дихання та серцевої діяльності. Дія електричного струму на мозок може спричинити втрату свідомості.

Механічна дія струму призводить до розриву тканин організму.

Наслідки всіх зазначених дій струму залежать від тривалості проходження струму через організм, величини сили струму та напруги, опору організму та фізичного стану людини, умов зовнішнього середовища.

Щоб запобігти ураженню людини електричним струмом, у небезпечних місцях встановлюють спеціальні попереджувальні знаки (мал. 27.1).

Мал. 27.1. Попереджувальні знаки

Таблиця 1

Характеристики дії електричного струму різної сили на організм людини

Сила струму, мА	Дія струму на людину
0,6—1,5	Не відчувається
2,0—3,0	Не відчувається
5,0—7,0	Свербіж, відчуття нагрівання
8,0—10,0	Посилення нагрівання
10,0—25,0	Незначне скорочення м'язів рук
50,0—80,0	Судоми, ускладнення дихання
90,0—100,0	Параліч дихання та серця
100 мА — 3А	Смертельні шлункові фібриляції
Понад 3А	Зупинка серця, важкі опіки

2. Блискавка та захист від неї

Ще одна небезпека, пов'язана з електрикою, — дія блискавки. Пригадаємо, що блискавка — це електричний розряд між хмарами різних шарів (мал. 27.2, *а*) або між хмарою і землею (мал. 27.2, *б*). Вона рухається зі швидкістю сотні тисяч кілометрів за секунду та переносить електричні заряди величиною в сотні й тисячі кулонів. Щорічно Земля зазнає 25 000 000 ударів блискавок — це понад 100 блискавок за секунду. Середньостатистична блискавка триває три чверті секунди, має температуру приблизно 28 000 °С, що в п'ять разів більше від температури поверхні Сонця, а її протяжність становить вісім і більше кілометрів. Енергії середньостатистичної блискавки вистачило б для роботи стоватної лампочки упродовж 90 днів. Блискавка може потрапляти в дерева, будівлі, людей та інші живі організми. Тому треба пам'ятати про основні правила поведінки під час грози (Пам'ятка № 1).

Мал. 27.2.
Блискавки

Пам'ятка №1
Рекомендовані дії перед та під час грози
(служба цивільного захисту)

- Не виходьте з будинку, зачиніть вікна, двері й закрийте димарі. Подбайте, щоб у приміщенні не було протягу, який може притягнути блискавку. Якомога далі тримайтеся від електропроводів, антен, вікон, дверей.
- Радіо і телевізори відключіть від мережі, не користуйтеся електроприладами і телефоном (особливо в сільській місцевості).
- Для укриття віддайте перевагу житловому будинку або іншій споруді, захищеній блискавковідводом.
- Не перебувайте на підвищеннях і відкритих незахищених місцях, поблизу металевих або сітчастих огорож, заземлення блискавковідводу.
- На відкритому просторі краще присісти в суху яму чи траншею. Тіло повинне мати якнайменше точок дотику із землею, не можна лягати на землю, бо збільшиться площа ураження розрядом.
- Якщо гроза застала вас у лісі, необхідно сховатися на ділянці з низькорослими деревами. Не можна стояти під високими поодинокими деревами. Безпечніше перебувати на відстані приблизно 30 метрів від них і від дерев, раніше уражених блискавкою.
- Під час грози не можна перебувати у воді та поблизу водойм; не варто займатися спортом надворі, бігати.
- Якщо ви їдете на велосипеді або мотоциклі, припиніть рух і перечекайте грозу на відстані приблизно 30 м від них.
- Якщо гроза застала вас в автомобілі, не виходьте з нього, зачиніть вікна й опустіть автомобільну антену; рухатися під час грози на автомобілі не рекомендовано.
- Якщо біля вас з'явиться кульова блискавка, зберігайте спокій, не рухайтеся, не наближайтеся до неї, нічим її не торкайтеся, бо вона може вибухнути.

У жовтні 1998 р. в Демократичній Республіці Конго сталася трагедія, яка увійшла в історію. Під час футбольного матчу почалася гроза, проте гру не зупинили. Гуркотіли громи та били блискавки. Від прямого влучання однієї з них загинуло одразу одинадцять гравців з однієї команди. Ще тридцять осіб, присутніх на грі, отримали опіки. Випадки,

коли під час змагань гинуть спортсмени внаслідок ударів блискавки, непоодинокі. У Німеччині у 2018 р. під час футбольного матчу блискавка влучила у воротаря. Він був госпіталізований у критичному стані. Медики не змогли його врятувати. Подібний випадок стався з футболістом в Індонезії.

На нашій планеті є місця, де грози бувають аномально часто. Штат Флорида в США називають «смертельним штатом», бо там удвічі більше смертей від удару блискавки, ніж у будь-якому іншому місці на Землі. Приблизно 71 % людей, у яких влучила блискавка, виживають.

3. Блискави́чник: будова та функція

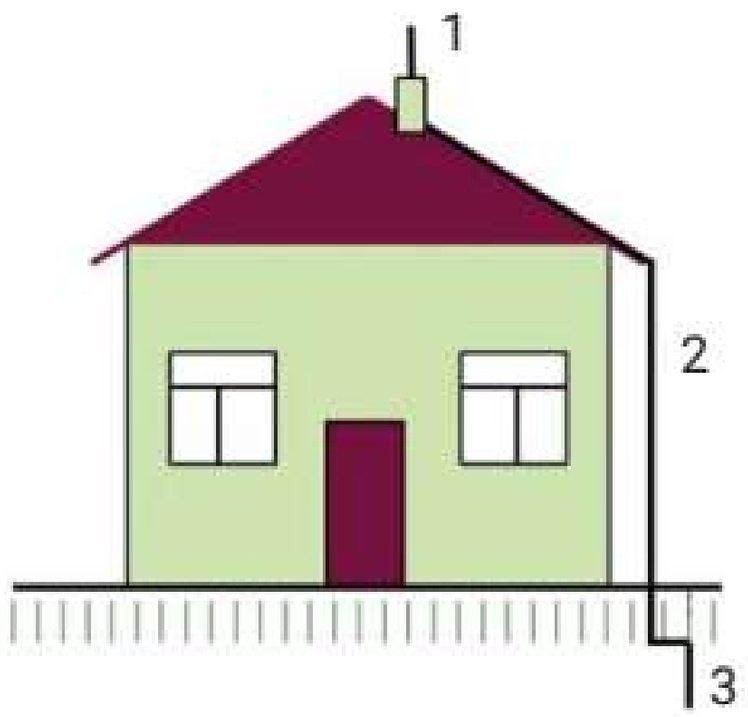
Як вам уже відомо, люди здавна намагалися захистити свої домівки від удару блискавки за допомогою металевого стрижня. І це їм майже вдавалося. А як працюють сучасні блискавичники?

Блискави́чник (блискавковідвід) — пристрій, який приймає удар блискавки і відводить її струм у землю. Він призначений для захисту будинків та інших споруд від руйнівної дії блискавки (мал. 27.3).

Мал. 27.3.
Блискавичники на сучасних будинках

Ви вже знаєте, що автором винаходу вважають Бенджаміна Франкліна, але деякі джерела приписують першість чеському священнику Прокопію Дівішу, що встановив блискавковідвід у 1754 р.

Будь-який блискавичник складається з трьох частин (мал. 27.4): блискавкоприймача, який приймає на себе удар блискавки (1), струмовідводу, який проводить струм до заземлення (2), заземлювача, через який струм потрапляє в землю (3).



Мал. 27.4.
Будова блискавичника

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Чому люди по-різному реагують на удар електричним струмом?
2. Чи можна самотужки зробити блискавичник та використати його як захист від блискавки для вашої оселі? Чи краще звернутися до спеціальних служб?

4. Позитивна дія електричного струму на організм людини

Давньоримський лікар часів імператора Клавдія Скрібоній Ларг лікував людей за допомогою електричних скатів (мал. 27.5). До голови людини, яка страждала від сильного головного болю, цілитель прикладав цих риб. Тоді ніхто не міг пояснити, як це діє.

Мал. 27.5.
Електричний скат

Уже в XIX ст. німецький дослідник Еміль Дюбуа-Реймон виявив зв'язок між діяльністю майже всіх внутрішніх органів живих організмів та електрикою. Нині електричний струм широко використовують для лікування людей. Одним із способів застосування малого електричного струму (40—50 мА) низької напруги (30—80 В) є гальванізація (мал. 27.6). Вона має болезаспокійливу дію, поліпшує кровообіг, допомагає знімати біль у станах після травм, при артритах тощо.

Мал. 27.6.
Приклад електролікування (гальванізація)

Нині електротерапія є загальновизнаною і дедалі популярнішою формою лікування різних захворювань. Вона передбачає використання електричних струмів для стимуляції нервів, м'язів і клітин в організмі, сприяючи загоєнню і полегшенню болю. Від транскутанної електричної стимуляції нервів (TENS) для лікування хронічного болю до глибокої стимуляції мозку при неврологічних розладах — електротерапія змінила наш підхід до медичного обслуговування.

У галузі кардіології електрокардіографія (ЕКГ) стала важливим діагностичним інструментом для оцінювання здоров'я серця. Вимірюючи електричну активність серця, ЕКГ допомагає лікарям діагностувати і контролювати такі стани, як аритмія, серцеві напади і серцева недостатність.

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Чому під час роботи дефібрилятора (подання розряду) не можна торкатися тіла потерпілої людини і металевих частин ліжка або операційного стола?

Запам'ятайте

Проходячи через тіло людини, електричний струм спричиняє ***термічну, механічну, електролітичну та біологічну дії.***

Блискави́чник (блискавковідві́д) — пристрій, який приймає удар блискавки і відводить її струм у землю. Він призначений для захисту будинків та інших споруд від руйнівної дії блискавки.

Перевірте себе

1. Деякі морські мешканці завдяки будові своїх м'язів виробляють і накопичують електрику. Вони навчилися акумулювати заряди та використовувати їх для полювання або самозахисту. Скористайтеся додатковими джерелами інформації та дізнайтеся, які саме морські тварини мають такі особливості.
2. Визначте силу струму (в мА), що проходить через суху шкіру людини за контакту з напругою 220 В, якщо опір сухої шкіри — 10^5 Ом. Чи буде людина відчувати цю дію струму?

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Термічна дія струму	Thermal effect of current
Електролітична дія струму	Electrolytic effect of current
Біологічна дія струму	Biological effect of current
Механічна дія струму	Mechanical effect of current
Блискавичник	Lightning rod

Здійсніть самоперевірку

- Заповнити пропущене «Електричне поле. Електричний струм»
- Класифікація «Провідники, діелектрики, джерела електричного струму»
- Класифікація «Дії електричного струму»
- Логічні пари «Електричне поле. Електричний струм»
- Кросворд «Вчені та їхні відкриття»
- Розв'яжи задачу
- Фрагменти зображення «Електричне коло»

https://f8.academiabook.club/samoperevirka-3-rozdil.html

Виконайте проєкт, дотримуючись алгоритму (додаток 2)

Орієнтовні теми проєктів:

- Дія електричного струму на живі організми.
- Застосування електричного струму в медицині.
- Джерела електричної енергії: застосування та утилізація.
- Електрика на службі в людини.
- Електрика в живій природі.

З'єднання провідників. Робота і потужність. Закон Джоуля — Ленца

§ 28. Послідовне з'єднання провідників

Тихий зимовий вечір. Під ногами поскрипує сніг, легенький мороз ледь пощипує щоки. Але потроху холод стає відчутнішим — хочеться зігрітися. І що може бути краще, ніж чашка запашного чаю в затишному кафе? Вхід до нього і великі вікна прикрашені яскравими гірляндами, що підморгують різнокольоровими вогниками. Але інколи одна-єдина лампочка, що перегорить, може «загасити» всю гірлянду. Що робити? Бігти в магазин за новою чи знову фізика може стати в нагоді?

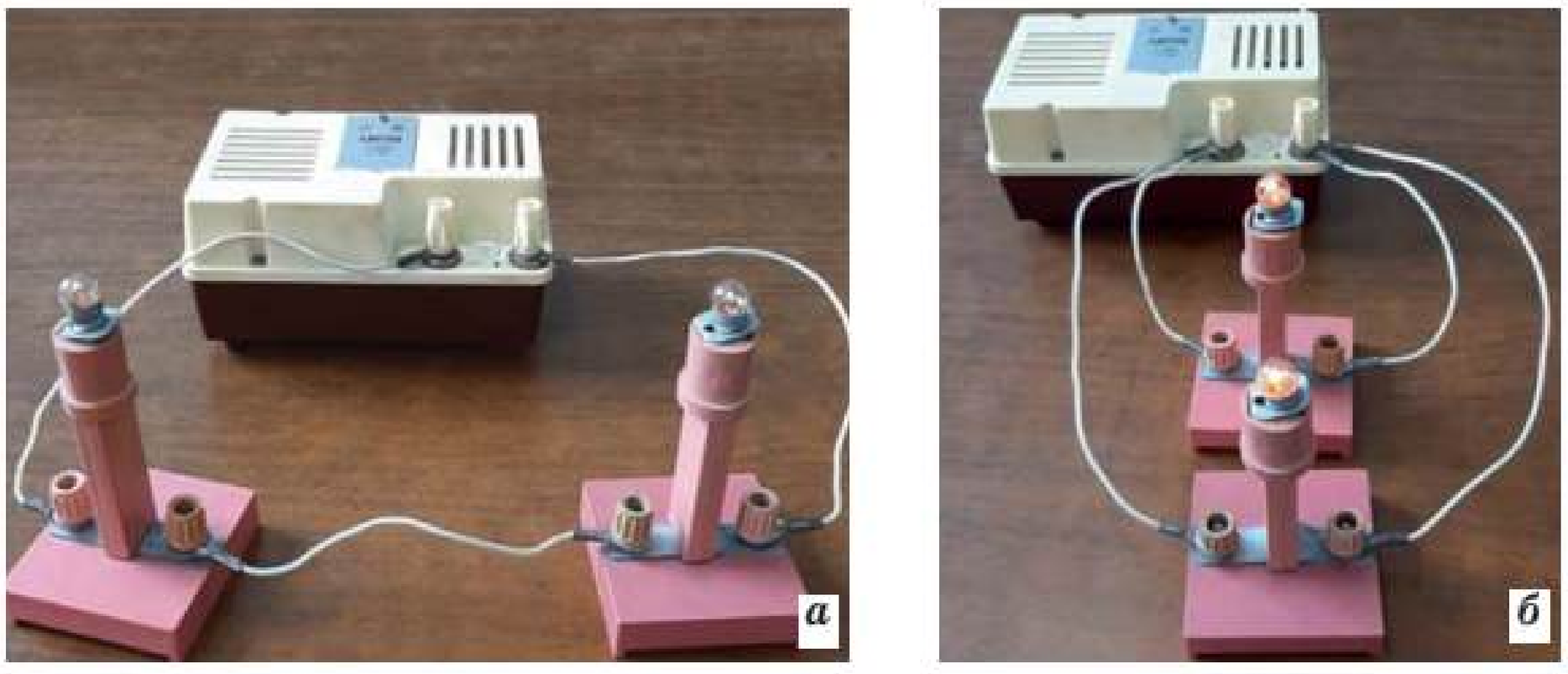
Дізнайтеся про...

- послідовне з'єднання провідників;
- закони послідовного з'єднання.

Пригадайте вивчене

Для проходження електричного струму в колі необхідно, щоб воно було замкнуте.

Виконаємо дослід. Дві електричні лампочки приєднаємо до джерела струму двома способами: послідовно (мал. 28.1, *а*) та паралельно (мал. 28.1, *б*).



Мал. 28.1.
З'єднання лампочок

Поміркуйте і дайте відповідь

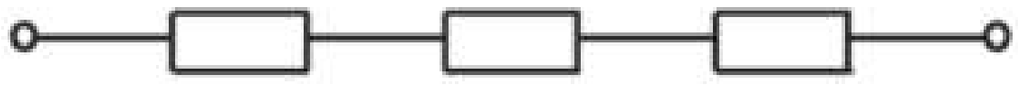
1. Що відбудеться в обох колах, зображених на малюнку 28.1, якщо одна з лампочок, приєднана до них, перегорить?

Щоб пояснити спостережувані явища, вивчимо з'єднання провідників.

1. Послідовне з'єднання провідників

У першому колі (мал. 28.1, *а*) лампочки з'єднані послідовно. Їх дві, але в такий спосіб можна з'єднувати значно більше і не лише лампочок, а й інших споживачів.

На малюнку 28.2 зображено схему послідовно з'єднаних резисторів.

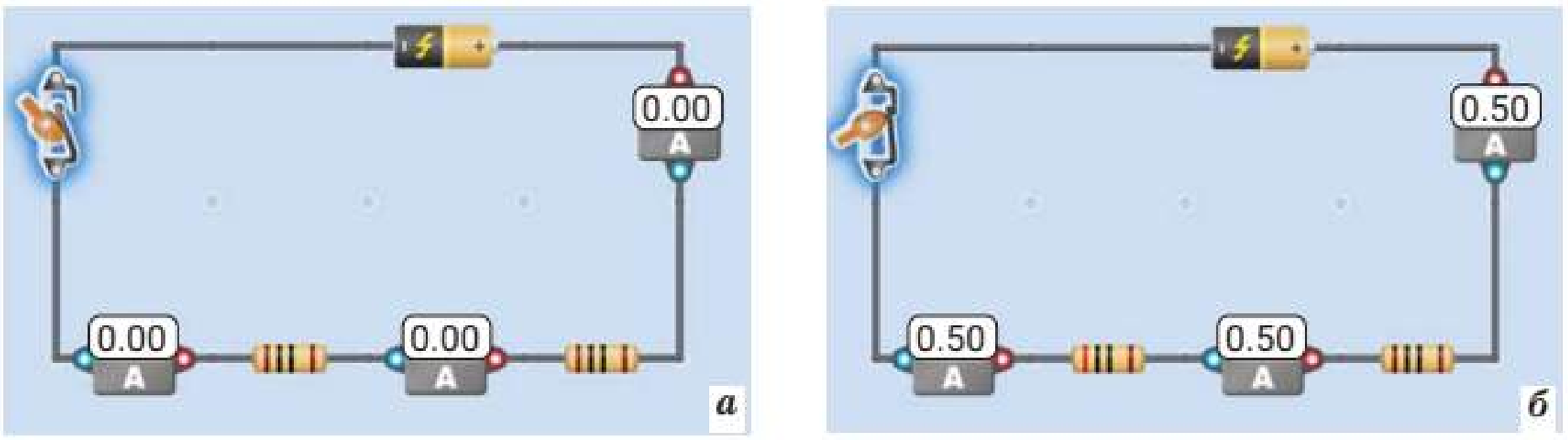


Мал. 28.2.
Послідовне з'єднання провідників

Як бачимо, ***послідовне з'єднання провідників*** — таке з'єднання, за якого до кінця першого провідника приєднують початок другого, до кінця другого провідника — початок третього і т. д.

2. Закони послідовного з'єднання

Для дослідження послідовного з'єднання провідників проведемо експеримент. Складемо електричне коло з послідовно з'єднаних джерела струму, двох резисторів, ключа та трьох амперметрів, під'єднаних у різні ділянки кола (мал. 28.3, *а*). Замкнемо коло та спостерігаємо за показниками всіх трьох амперметрів — вони однакові (мал. 28.3, *б*).

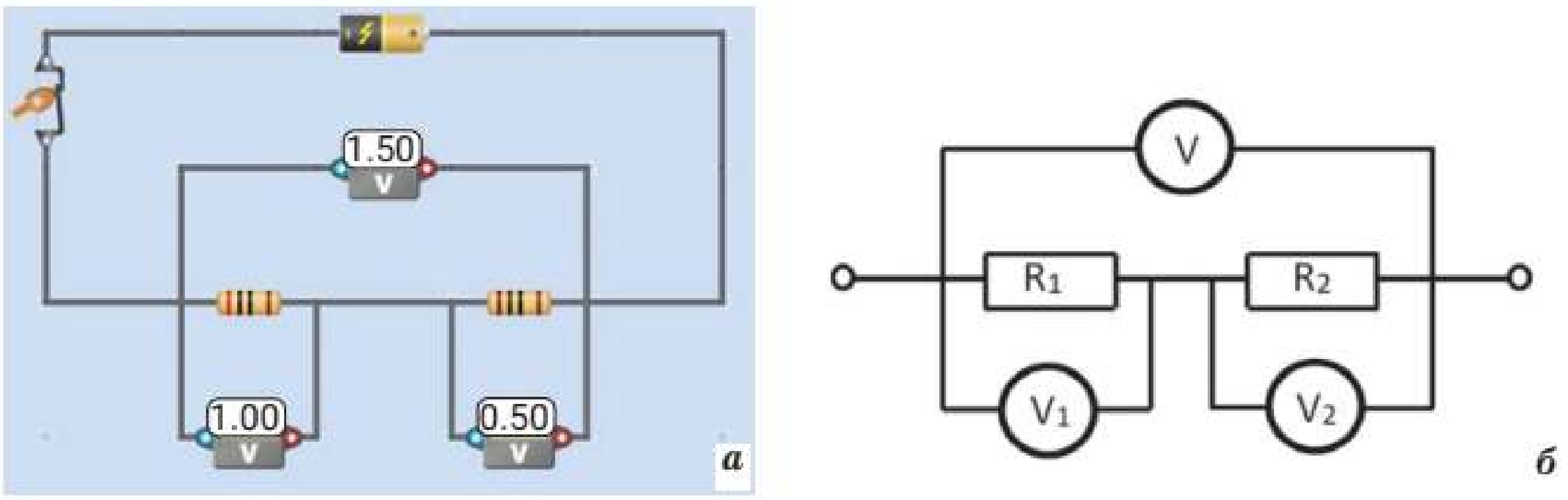


Мал. 28.3.
Вимірювання сили струму в колі з послідовно з'єднаними провідниками

Отже, ***сила струму за послідовного з'єднання провідників однакова в усіх ділянках кола:*** $I = I_1 = I_2$.

Для довільної кількості провідників: $I = I_1 = I_2 = I_3 = ... = I_n$, де n — кількість провідників.

Продовжимо наше дослідження. Складемо електричне коло з послідовно з'єднаних джерела струму, двох резисторів і ключа. Під'єднаємо до кінців кожного резистора та ділянки кола з двох резисторів вольтметри. Під час замикання кола спостерігаємо за показниками всіх трьох вольтметрів. Вольтметр, який під'єднаний до кінців ділянки кола з двох резисторів, показує значення напруги, що дорівнює сумі значень напруг двох вольтметрів, під'єднаних до кожного резистора окремо (мал. 28.4).



Мал. 28.4.
Вимірювання сили струму в колі з послідовно з'єднаними провідниками

Отже, ***загальна напруга на ділянці кола з послідовно з'єднаних провідників дорівнює сумі напруг на окремих провідниках:*** $U = U_1 + U_2$.

Для довільної кількості провідників: $U = U_1 + U_2 + U_3 + ... + U_n$, де n — кількість провідників.

Поміркуйте і дайте відповідь

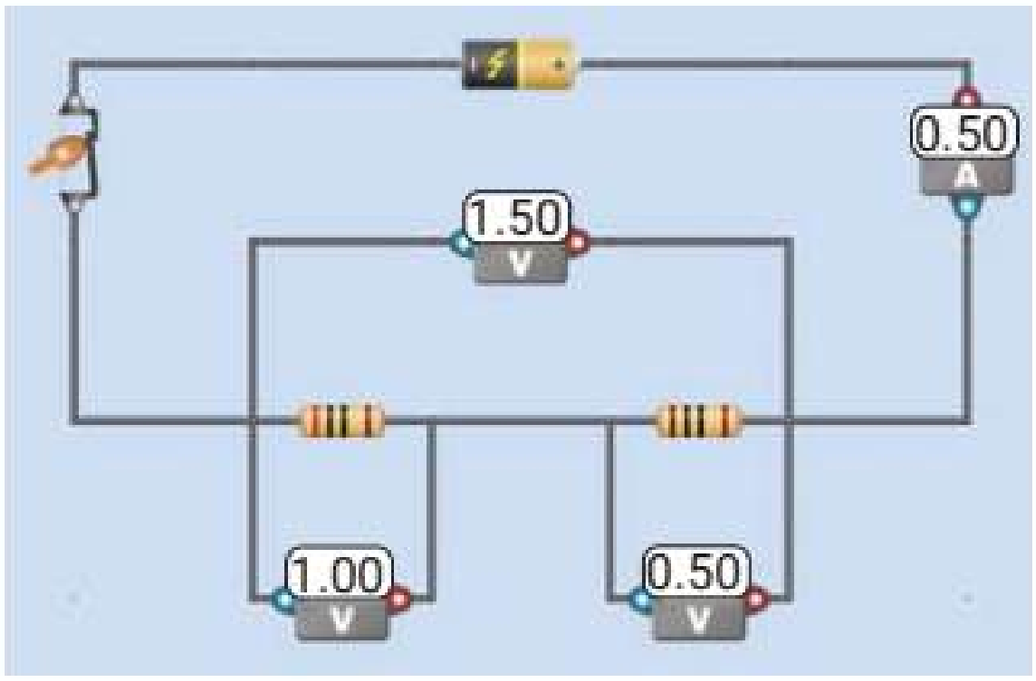
1. Чому вольтметри, зображені на малюнку 28.4, показують різні значення напруги?

Пригадайте вивчене

З'єднуючи провідники послідовно, ми збільшуємо довжину ділянки кола (довжину провідника), а це означає, що опір буде зростати:

$$\uparrow R = \rho_{\text{п}} \frac{l\uparrow}{S}.$$

Перевіримо експериментально. За показниками амперметра та вольтметрів (мал. 28.5) розрахуємо опір кожного резистора та ділянки кола з двох резисторів, використовуючи закон Ома.



Мал. 28.5.
Електричне коло

$$R_1 = \frac{U_1}{I}, \quad R_1 = \frac{1\ \text{В}}{0{,}5\ \text{А}} = 2\ \text{Ом}.$$

$$R_2 = \frac{U_2}{I}, \quad R_2 = \frac{0{,}5\ \text{В}}{0{,}5\ \text{А}} = 1\ \text{Ом}.$$

$$R = \frac{U}{I}, \quad R = \frac{1{,}5\ \text{В}}{0{,}5\ \text{А}} = 3\ \text{Ом}. \quad R = 1\ \text{Ом} + 2\ \text{Ом} = 3\ \text{Ом}.$$

Отже, ***загальний опір ділянки кола з послідовно з'єднаних провідників дорівнює сумі цих опорів:*** $\boldsymbol{R = R_1 + R_2}$.

Для довільної кількості провідників: $\boldsymbol{R = R_1 + R_2 + R_3 + \ldots + R_n}$, де n — кількість провідників.

3. Приклад розв'язування задачі

Задача. З'єднані послідовно електричні лампи, опір яких 480 Ом і 800 Ом, увімкнули до джерела струму напругою 220 В. Визначте загальний опір ділянки кола, значення сили струму в кожній лампі та напруги на кожній з них.

Дано:

$R_1 = 480\ \text{Ом}$

$R_2 = 800\ \text{Ом}$

$U = 220\ \text{В}$

$R, I_1, I_2, U_1, U_2 - ?$

$I = I_1 = I_2$

$U = U_1 + U_2$

$R = R_1 + R_2$

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

$U_1 = I_1 R_1$

$U_2 = U - U_1$

Розв'язання:

$R = 480\ \text{Ом} + 800\ \text{Ом} = 1280\ \text{Ом}$

$I = \dfrac{220\ \text{В}}{1280\ \text{Ом}} \approx 0{,}17\ \text{А}$

$I_1 = I_2 \approx 0{,}17\ \text{А}$

$U_1 = 0{,}17\ \text{А} \cdot 480\ \text{Ом} \approx 82\ \text{В}$

$U_2 = 220\ \text{В} - 82\ \text{В} = 138\ \text{В}$

Відповідь: $R = 1280$ Ом; $I_1 = I_2 \approx 0{,}17$ А;
$U_1 \approx 82$ В; $U_2 = 138$ В.

Запам'ятайте

Послідовне з'єднання провідників — таке з'єднання, за якого до кінця першого провідника приєднують початок другого, до кінця другого провідника — початок третього і т. д.

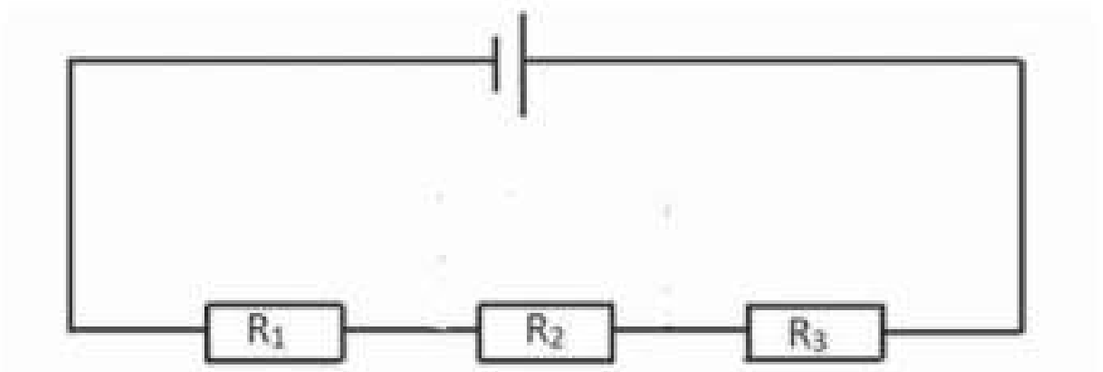
Сила струму за послідовного з'єднання провідників однакова в усіх ділянках кола: $I = I_1 = I_2 = I_3 = ... = I_n$.

Загальна напруга на ділянці кола з послідовно з'єднаних провідників дорівнює сумі напруг на окремих провідниках: $U = U_1 + U_2 + U_3 + ... + U_n$.

Загальний опір ділянки кола з послідовно з'єднаних провідників дорівнює сумі цих опорів: $R = R_1 + R_2 + R_3 + ... + R_n$.

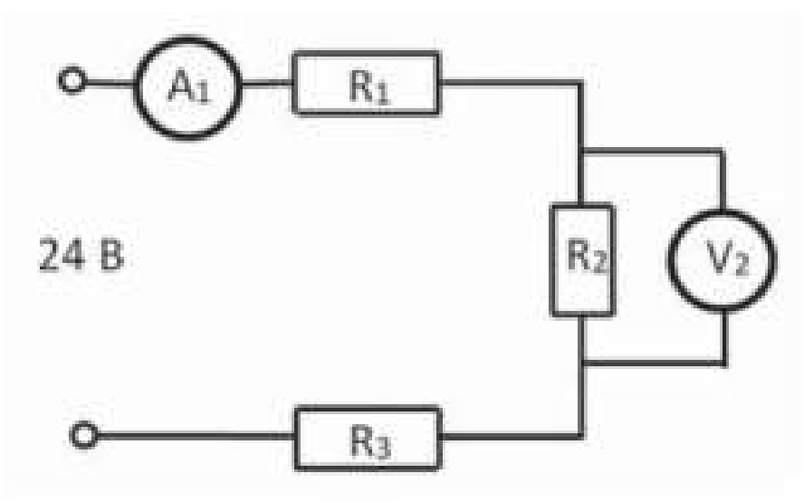
Перевірте себе

1. Чому одна лампочка, що перегоріла на гірлянді, «загасила» всю гірлянду? Як з'єднані між собою лампочки в гірлянді?
2. Загальний опір двох послідовно з'єднаних резисторів-спіралей 3 Ом. Опір першого резистора 2 Ом. Визначте опір другого резистора.
3. Резистори опорами 100 Ом, 50 Ом і 150 Ом з'єднані так, як показано на малюнку 28.6. Визначте загальний опір ділянки кола з трьох резисторів.



Мал. 28.6.
Схема електричного кола

4. Із скількох лампочок складається гірлянда, увімкнена в мережу 220 В, якщо опір кожної з них 110 Ом, а сила струму в кожній 0,1 А?
5. Використавши дані малюнка 28.7, заповніть таблицю 1.



Мал. 28.7.
Схема електричного кола

Таблиця 1

	Резистор № 1	Резистор № 2	Резистор № 3
Опір	5 Ом		
Сила струму	2 А		
Напруга		2 В	

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Послідовне з'єднання провідників	Serial connection of conductors

Лабораторна робота № 4

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО КОЛА З ПОСЛІДОВНИМ З'ЄДНАННЯМ ПРОВІДНИКІВ

Мета: експериментально перевірити закономірності послідовного з'єднання провідників.

Обладнання: джерело постійного струму, лабораторні амперметр і вольтметр, два досліджувані провідники (резистори, лампочки тощо), реостат, ключ, з'єднувальні дроти.

Дотримуйтеся правил безпеки життєдіяльності під час роботи!

Хід роботи

1. Накресліть схему електричного кола, що складається з послідовно з'єднаних джерела постійного струму, амперметра, досліджуваних провідників, реостата, ключа.
2. За схемою складіть електричне коло.
3. Виміряйте силу струму в колі, приєднуючи амперметр у різних ділянках кола: між джерелом струму і першим провідником (I), між першим і другим провідником (I_1), між другим провідником і ключем (I_2).
4. Порівняйте виміряні значення сил струмів і зробіть висновок.
5. Результати вимірювань запишіть у таблицю 1.
6. Приєднайте вольтметр почергово до кінців досліджуваних провідників. Виміряйте напруги (U_1) та (U_2) на кожному з них.
7. Приєднайте вольтметр до кінців ділянки кола з двох послідовно з'єднаних провідників. Виміряйте напругу (U) на цій ділянці кола.
8. Перевірте правильність рівняння: $U = U_1 + U_2$. Зробіть висновок.

9. Результати вимірювань запишіть у таблицю 1.
10. Використавши закон Ома, визначте опір кожного провідника (R_1) та (R_2), загальний опір ділянки кола з двох послідовно з'єднаних провідників (R).
11. Перевірте правильність рівняння: $R = R_1 + R_2$. Зробіть висновок.
12. Результати обчислень запишіть у таблицю 1.
13. Повторіть дослід, змінивши опір кола за допомогою реостата.
14. Результати вимірювань та обчислень запишіть у таблицю 1.

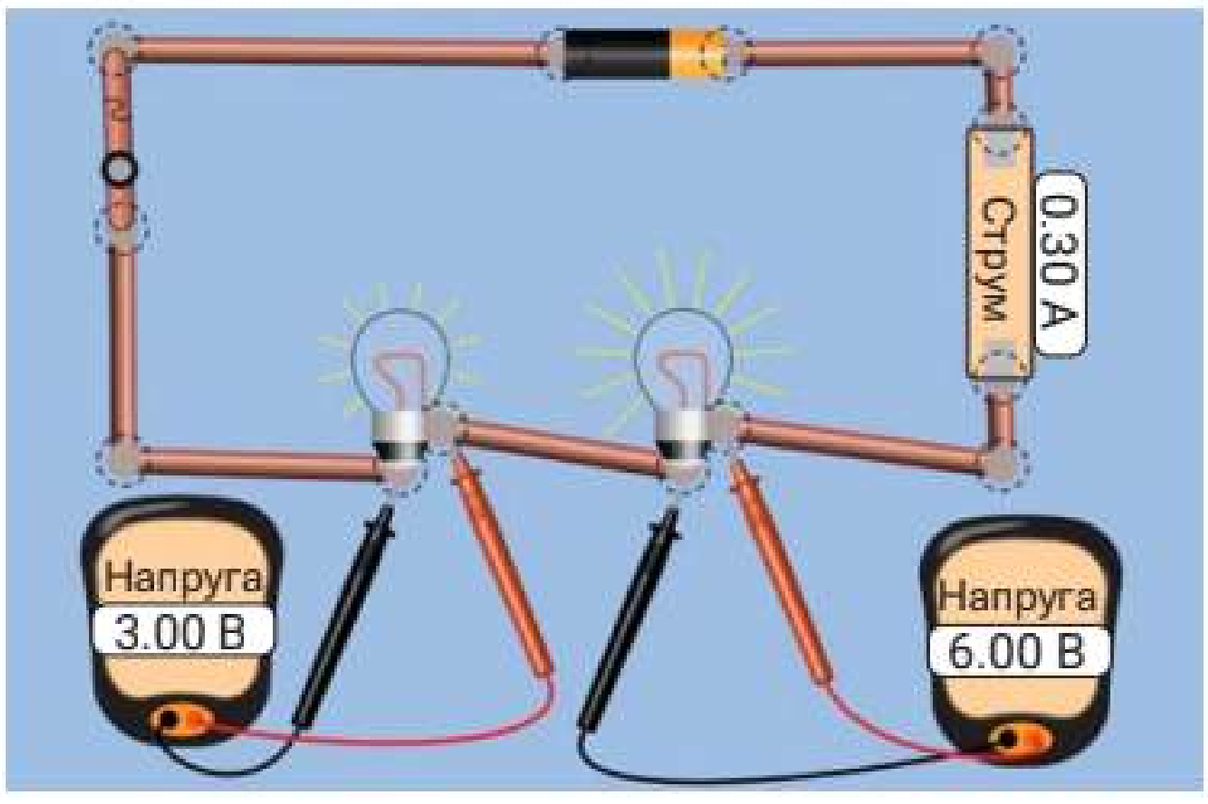
Таблиця 1

№ з/п	Сила струму			Напруга			Опір		
	I_1, А	I_2, А	I, А	U_1, В	U_2, В	U, В	R_1, Ом	R_2, Ом	R, Ом
1									
2									

Проаналізуйте результати експерименту. Зробіть висновок (що саме визначали та перевіряли під час виконання лабораторної роботи; значення якої величини обчислювали та які результати отримали; чи можна вважати результати експерименту абсолютно точними; чи справдилися закономірності послідовного з'єднання провідників; де набуті знання можна використати на практиці).

Додаткове завдання

Розгляньте електричне коло (мал. 1). Зніміть показники електричних приладів, зображених на ньому. Визначте загальну напругу на кінцях ділянки кола з двох лампочок, опори кожної з них і загальний опір ділянки кола. Поясніть причину різної яскравості світіння лампочок у колі.



Мал. 1.
Електричне коло

§ 29. Паралельне з'єднання провідників

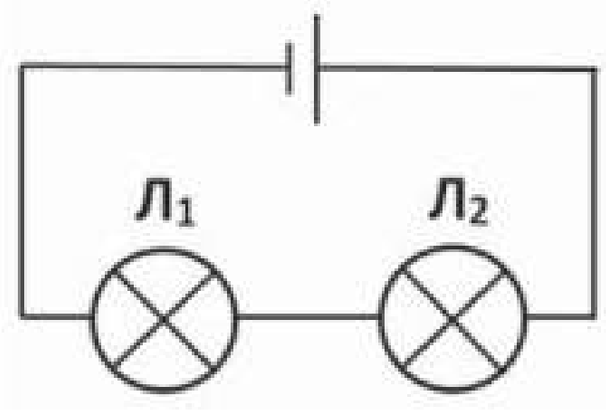
Часто трапляється так, що необхідно одночасно ввімкнути декілька електричних пристроїв — системний блок комп'ютера, монітор, принтер — та ще й зарядити мобільний, а розетка в кімнаті одна. Як бути? Є спосіб, яким усі ми послуговуємося, — використати електричний подовжувач. За допомогою нього всі пристрої будуть під'єднані до мережі паралельно.

Дізнайтеся про...

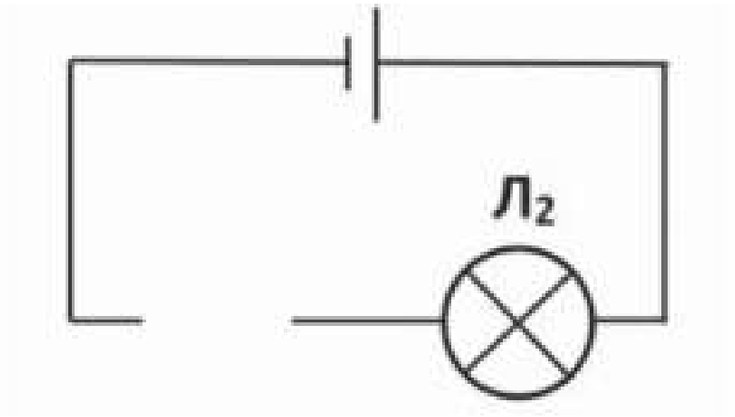
- паралельне з'єднання провідників;
- закони паралельного з'єднання.

1. Паралельне з'єднання провідників

Провідники можна з'єднувати не тільки послідовно, а й паралельно. Послідовне з'єднання має один суттєвий недолік: виходить з ладу один споживач, наприклад перегоряє лампочка $Л_1$ (мал. 29.1), — не працюють усі інші, бо електричне коло стає розімкнутим (мал. 29.2).



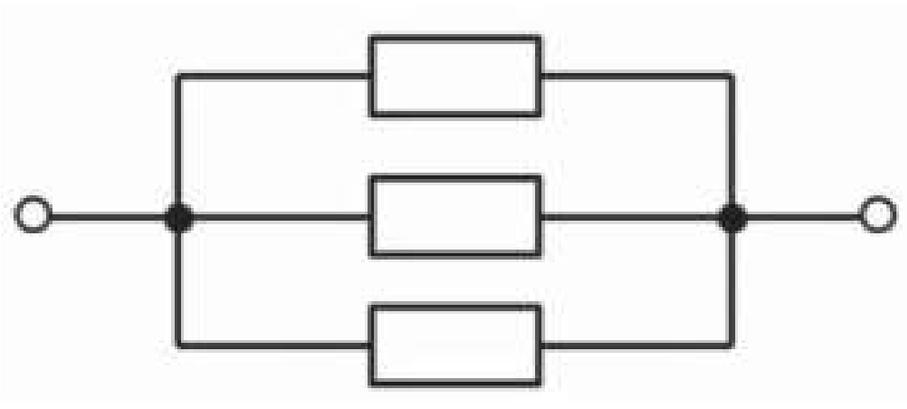
Мал. 29.1.
Послідовно з'єднані лампочки



Мал. 29.2.
Розімкнуте електричне коло

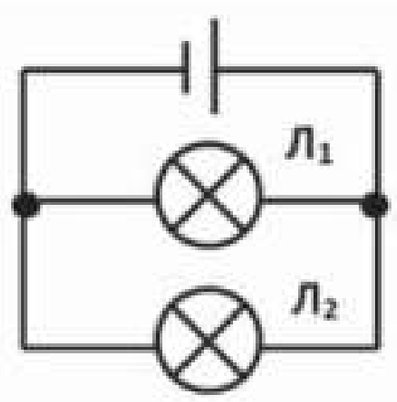
Такої проблеми можна уникнути, якщо з'єднати споживачі паралельно.

Паралельне з'єднання провідників — таке з'єднання, за якого початки всіх провідників з'єднують в один вузол, а їхні кінці — у другий вузол. Характерною особливістю паралельного з'єднання є наявність розгалуження (мал. 29.3).

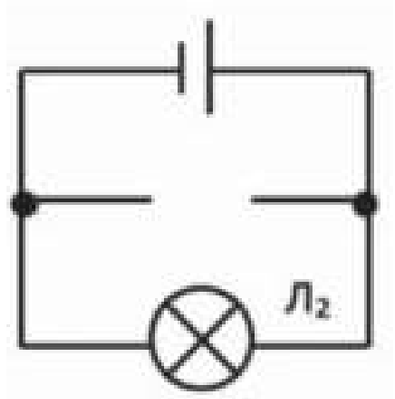


Мал. 29.3.
Паралельне з'єднання резисторів

У разі паралельного з'єднання споживачів струму кожен з них безпосередньо під'єднаний до джерела струму (мал. 29.4) і вихід з ладу одного з них (перегоряє лампочка $Л_1$) не впливає на проходження електричного струму через лампочку $Л_2$ (мал. 29.5).



Мал. 29.4.
Паралельне з'єднання лампочок

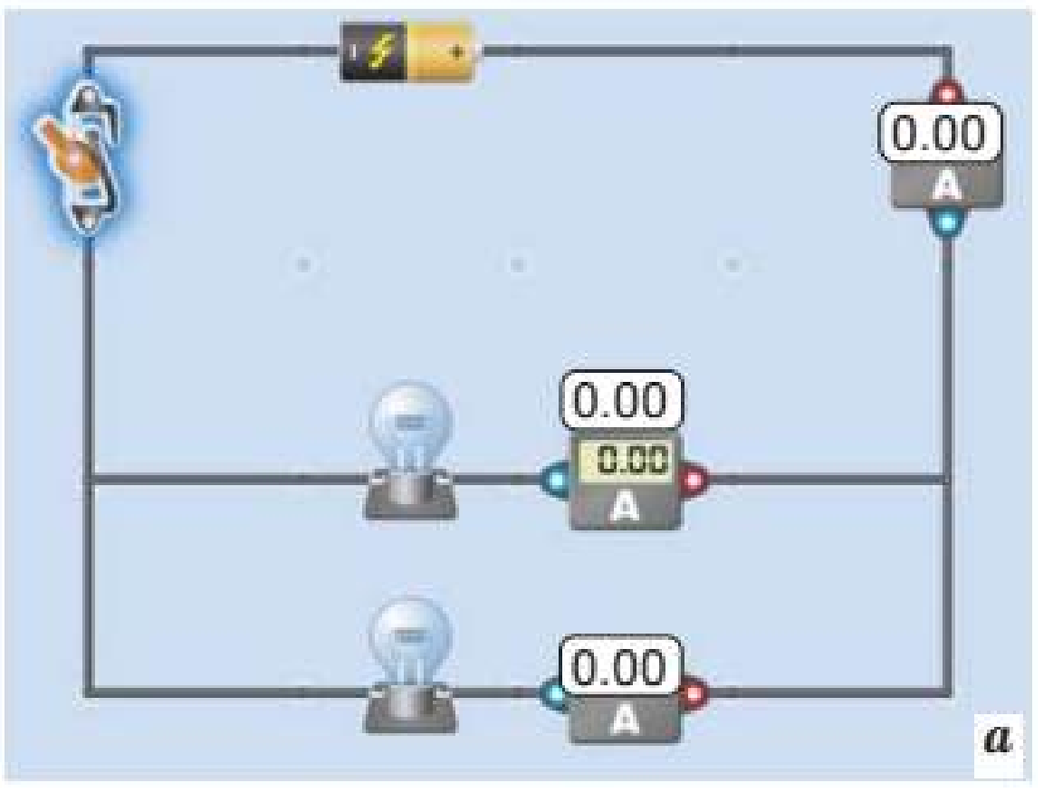


Мал. 29.5.
Розімкнуте електричне коло

Саме тому всі побутові електричні прилади, які ми використовуємо вдома, під'єднують паралельно до електричної мережі.

2. Закони паралельного з'єднання

Для дослідження паралельного з'єднання провідників проведемо експеримент. Складемо електричне коло із джерела струму, ключа, двох лампочок, під'єднаних паралельно, та трьох амперметрів, увімкнутих у різні ділянки кола (мал. 29.6, *а*). Після замикання кола спостерігаємо за показниками всіх трьох амперметрів. Значення сили струму в нерозгалуженій частині кола дорівнює сумі сил струму в розгалуженнях (мал. 29.6, *б*).



Мал. 29.6.
Електричне коло з паралельним з'єднанням лампочок

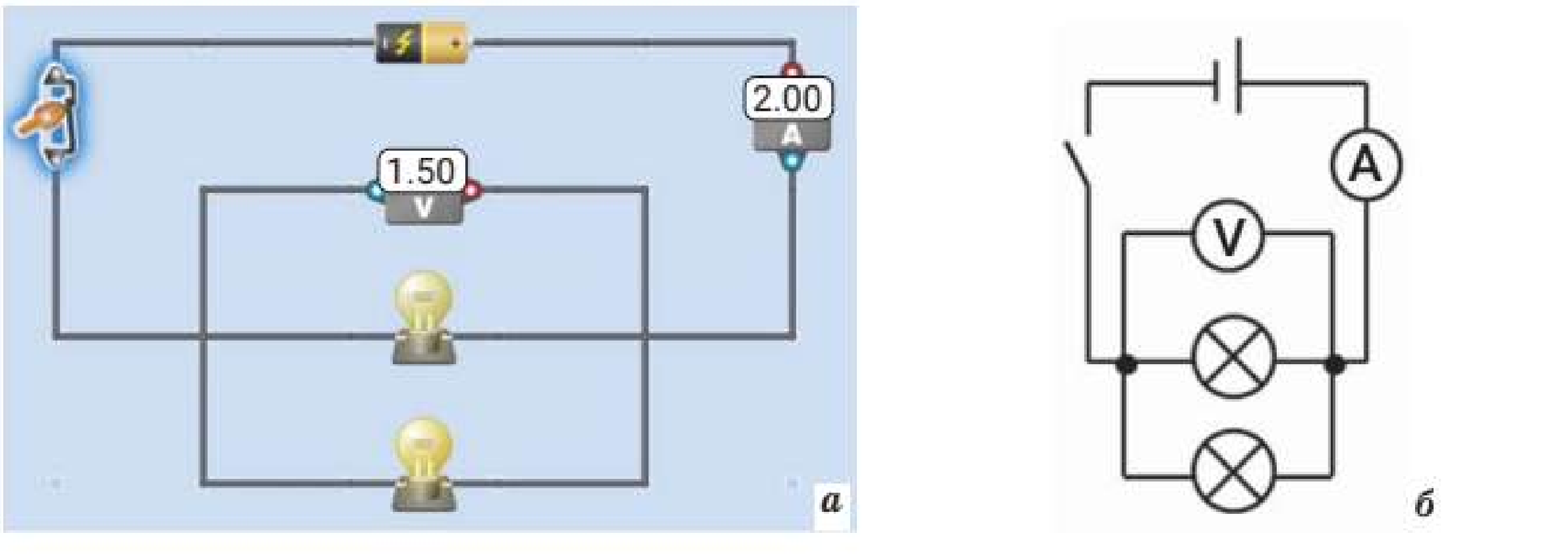
Отже, ***сила струму в нерозгалуженій частині кола дорівнює сумі сил струмів в окремих паралельно з'єднаних провідниках:*** $I = I_1 + I_2$.

Для довільної кількості провідників: $I = I_1 + I_2 + I_3 + ... + I_n$, де n — кількість провідників.

Продовжимо наше дослідження. Складемо електричне коло із джерела струму, ключа та двох лампочок, з'єднаних паралельно. Для вимірювання напруги вольтметр потрібно під'єднати до вузлових точок. Після замикання кола спостерігаємо за показниками вольтметра. У якій частині кола він показує напругу?

Хтось із вас скаже, що напругу на першій лампочці, хтось — напругу на другій лампочці, а ще хтось — загальну напругу на даній ділянці кола. І всі матимуть рацію.

Вольтметр, який під'єднаний до вузлових точок ділянки кола з двох лампочок, з'єднаних паралельно, показує одночасно значення напруги на цій ділянці та на кожній лампочці окремо — вони однакові (мал. 29.7).



Мал. 29.7.
Вимірювання напруги в колі з паралельно з'єднаних лампочок

Отже, ми дійшли висновку, що ***напруга на кожному з провідників, з'єднаних паралельно, така сама, як і напруга на цій ділянці кола:*** $U = U_1 = U_2$.

Для довільної кількості провідників: $U = U_1 = U_2 = U_3 = ... = U_n$, де n — кількість провідників.

З'єднуючи провідники паралельно, ми збільшуємо площу поперечного перерізу ділянки кола, а це означає, що опір спадає:

$$\downarrow R = \rho_{\text{п}} \frac{l}{S\uparrow}.$$

За паралельного з'єднання провідників загальний опір ділянки кола є меншим за опір кожного провідника.

Розрахувати загальний опір можна з формули: $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$.

Для довільної кількості провідників: $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + ... + \frac{1}{R_n}$, де n — кількість провідників.

3. Приклад розв'язування задачі

Задача. З'єднані паралельно електричні лампи опором 480 Ом і 800 Ом приєднали до джерела струму напругою 220 В. Визначте загальний опір ділянки кола, значення сили струму в кожній лампі та напруги на них.

Дано:		Розв'язання:
$R_1 = 480$ Ом	$U = U_1 = U_2$	$U_1 = U_2 = 220$ В
$R_2 = 800$ Ом	$I = I_1 + I_2$	$I_1 = \frac{220\text{ В}}{480\text{ Ом}} \approx 0{,}46$ А
$U = 220$ В	$I_1 = \frac{U_1}{R_1}$	$I_2 = \frac{220\text{ В}}{800\text{ Ом}} \approx 0{,}28$ А
	$I_2 = \frac{U_2}{R_2}$	$I = 0{,}46\text{ А} + 0{,}28\text{ А} = 0{,}74$ А
	$R = \frac{U}{I}$	$R = \frac{220\text{ В}}{0{,}74\text{ А}} \approx 297$ Ом
$R, I_1, I_2, U_1, U_2 - ?$		

Відповідь: $R \approx 297$ Ом; $I_1 \approx 0{,}46$ А; $I_2 \approx 0{,}28$ А; $U_1 = 220$ В; $U_2 = 220$ В.

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Визначте загальний опір ділянки кола в цій задачі іншим способом.

Запам'ятайте

Паралельне з'єднання провідників — таке з'єднання, за якого початки всіх провідників з'єднують в один вузол, а їхні кінці — у другий вузол. Характерною особливістю паралельного з'єднання є наявність розгалуження.

Сила струму в нерозгалуженій частині кола дорівнює сумі сил струмів в окремих паралельно з'єднаних провідниках: $I = I_1 + I_2 + I_3 + ... + I_n$.

Напруга на кожному з провідників, з'єднаних паралельно, така сама, як і напруга на цій ділянці кола: $U = U_1 = U_2 = U_3 = ... = U_n$.

За паралельного з'єднання провідників ***загальний опір*** ділянки кола є меншим від опору кожного провідника. Його можна розрахувати за формулою: $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + ... + \frac{1}{R_n}$.

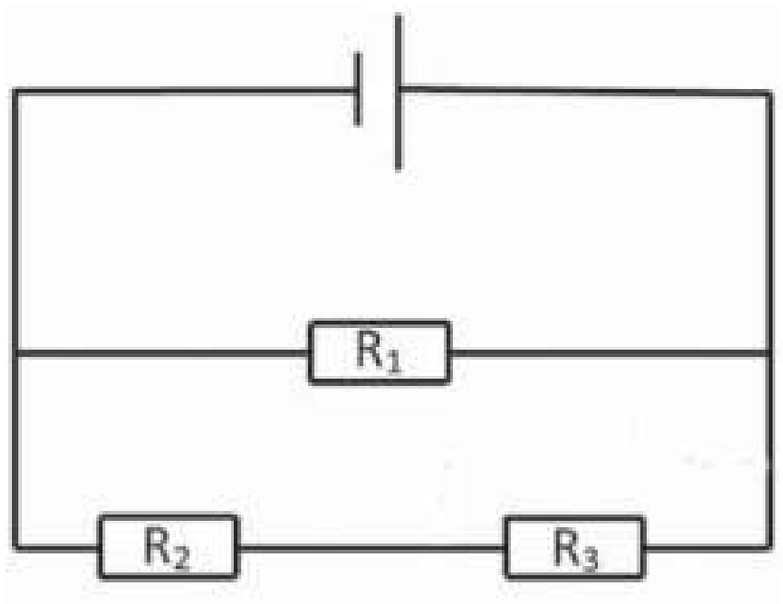
Перевірте себе

1. Декілька електричних ламп з'єднали паралельно й увімкнули в мережу 220 В. Чи світитиметься така гірлянда, якщо одна лампа перегорить?

2. Два резистори-спіралі опором 2 Ом і 3 Ом з'єднані паралельно (мал. 29.8). Визначте їхній загальний опір.

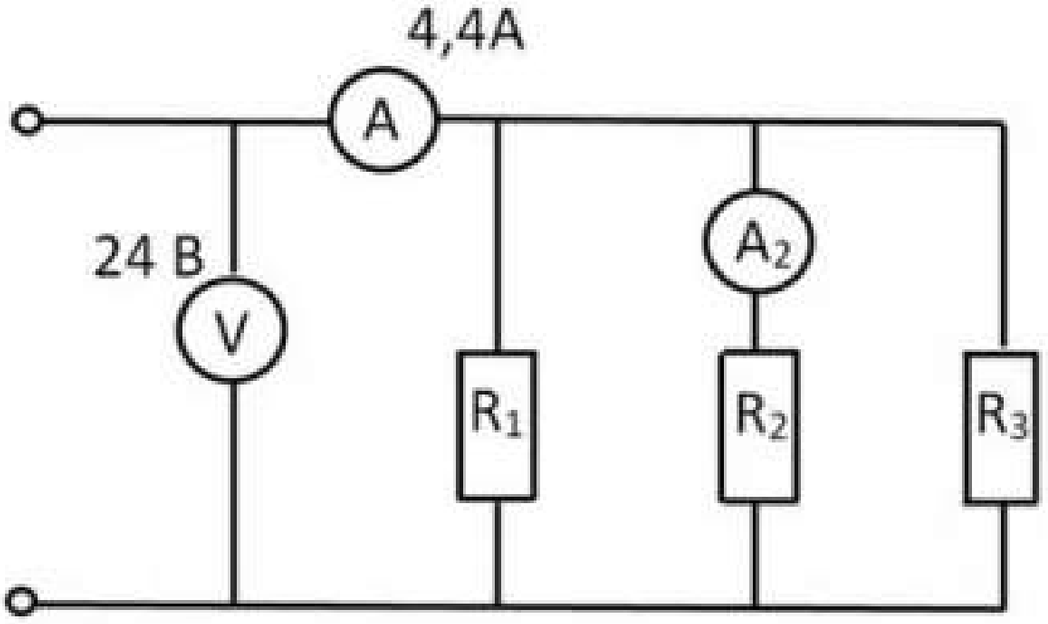
Мал. 29.8.
Резистори-спіралі, з'єднані паралельно

3. Резистори опорами $R_1 = 150$ Ом, $R_2 = 50$ Ом, $R_3 = 100$ Ом з'єднані так, як показано на малюнку 29.9. Визначте загальний опір ділянки кола.



Мал. 29.9.
Схема електричного кола

4. Електричний подовжувач розрахований на силу струму 10 А. До нього під'єднані системний блок комп'ютера, який споживає струм 1,3 А, монітор — 1 А, та принтер — 2,7 А. Максим, працюючи за комп'ютером, згадав, що потрібно зарядити телефон, який споживає струм 0,5 А, і під'єднав зарядний пристрій. У цей час його сестричка Оксанка увімкнула ще електричний чайник (9 А). Чи можна одночасно вмикати ці прилади? Чи працюватимуть вони? Відповідь обґрунтуйте.
5. Використавши малюнок 29.10, заповніть таблицю 1.



Мал. 29.10.
Схема електричного кола

Таблиця 1

	Резистор № 1	Резистор № 2	Резистор № 3
Опір	10 Ом		
Сила струму		0,8 А	
Напруга			

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Паралельне з'єднання провідників	Parallel connection of conductors

Лабораторна робота № 5
ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО КОЛА З ПАРАЛЕЛЬНИМ З'ЄДНАННЯМ ПРОВІДНИКІВ

Мета: експериментально перевірити закономірності паралельного з'єднання провідників.

Обладнання: джерело постійного струму, лабораторні амперметр і вольтметр, два досліджувані провідники (резистори, лампочки тощо), реостат, ключ, з'єднувальні дроти.

Дотримуйтеся правил безпеки життєдіяльності під час роботи!

Хід роботи

1. Накресліть схему електричного кола, що складається з двох паралельно з'єднаних між собою досліджуваних провідників, які приєднані до джерела постійного струму, амперметра, реостата та ключа.
2. За схемою складіть електричне коло.
3. Приєднайте амперметр у будь-якому місці нерозгалуженої частини кола.
4. Виміряйте силу струму в нерозгалуженій частині кола (I).
5. Виміряйте силу струму в розгалуженнях, під'єднуючи амперметр спочатку послідовно з першим провідником (I_1), а потім з другим (I_2).
6. Перевірте правильність рівняння: $I = I_1 + I_2$. Зробіть висновок.
7. Результати вимірювань запишіть у таблицю 1.
8. Приєднайте вольтметр до вузлових точок з'єднання.

9. Виміряйте напругу на ділянці кола з двох паралельно з'єднаних провідників (U).
10. Результати вимірювань запишіть у таблицю 1.
11. Використавши закон Ома, визначте опір кожного провідника (R_1) та (R_2), загальний опір ділянки кола з двох паралельно з'єднаних провідників (R).
12. Перевірте правильність рівняння: $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$. Зробіть висновок.
13. Результати обчислень запишіть у таблицю 1.

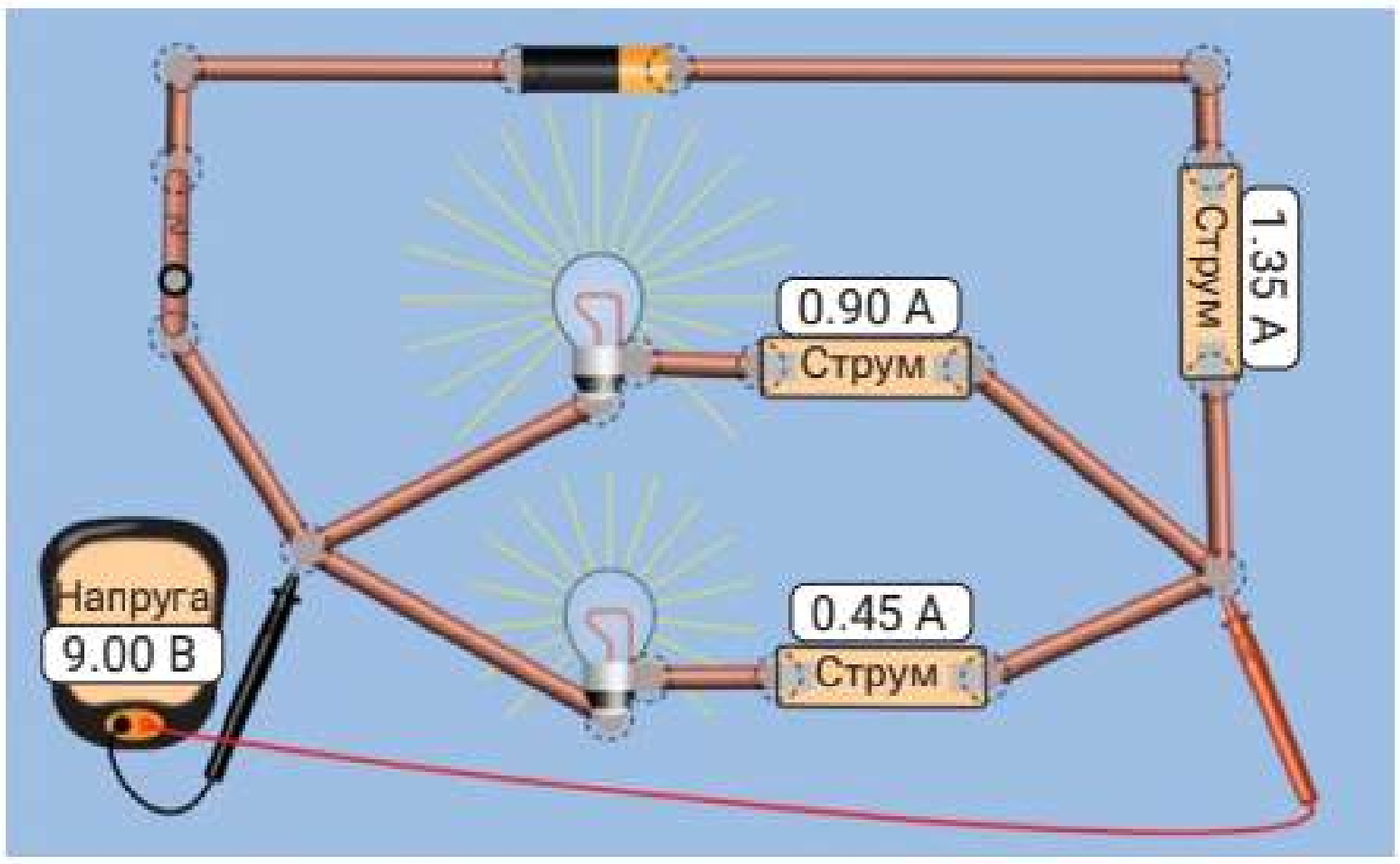
Таблиця 1

№ з/п	Напруга	Сила струму			Опір		
	U, В	I_1, А	I_2, А	I, А	R_1, Ом	R_2, Ом	R, Ом
1							

Проаналізуйте результати експерименту. Зробіть висновок (що саме визначали та перевіряли під час виконання лабораторної роботи; значення якої величини обчислювали та які результати отримали; чи можна вважати результати експерименту абсолютно точними; чи справдилися закономірності паралельного з'єднання провідників; де набуті знання можна використати на практиці).

Додаткове завдання

Розгляньте електричне коло (мал. 1). Зніміть показники електричних приладів, зображених на ньому. Визначте опір кожної лампочки та загальний опір ділянки кола. Поясніть причину різної яскравості світіння лампочок у колі.



Мал. 1.
Електричне коло

§ 30. Робота і потужність електричного струму

Щомісяця ми сплачуємо рахунки за спожиту вдома електроенергію. Мама попросила Матвія записати показники електролічильника. Його здивувало те, що в момент, коли він записував їх, цифри почали дуже швидко змінюватися. «Ого, мотає!» — подумав. А виявилося, що тато увімкнув мікрохвильову піч, яка споживає велику кількість енергії. Віддаючи мамі записані показники, хлопчик запитав у неї, що підраховує електролічильник, що означає напис «кВт · год» на ньому біля цифр і як мама обчислює вартість спожитої електроенергії.

А ви знаєте відповіді на ці запитання? Давайте дізнаємося.

Дізнайтеся про...

- роботу електричного струму;
- потужність електричного струму.

1. Робота електричного струму

З попередніх параграфів вам уже відомо, що внаслідок проходження струму через будь-яке тіло електрична енергія перетворюється на теплову, механічну, хімічну тощо. Перетворення енергії з одного виду на інший характеризується виконанням роботи. Що ж таке робота електричного струму і як її можна обчислити?

Робота електричного струму — фізична величина, яка характеризує перетворення електричної енергії на інші види.

Розрахуємо роботу електричних сил. Напруга на кінцях певної ділянки кола дорівнює: $U = \frac{A}{q}$, звідси $A = qU$.

Відомо, що заряд, який проходить за час t через ділянку провідника, напруга на кінцях якого U, можна розрахувати за формулою $q = It$.

Формула роботи електричного струму матиме вигляд:

$$A = UIt.$$

Одиницею роботи електричного струму є ***джоуль***.

$$1\ \text{Дж} = 1\ \text{В} \cdot 1\ \text{А} \cdot 1\ \text{с}.$$

Проаналізувавши формулу для розрахунку роботи електричного струму, робимо висновок, що для вимірювання роботи струму необхідно мати вольтметр, амперметр і секундомір. Таке вимірювання буде непрямим. Пряме вимірювання роботи струму здійснюють за допомогою лічильників електроенергії (мал. 30.1). Їх встановлюють скрізь, де використовують електричну енергію: у квартирах, офісах, школах тощо.

У сучасній техніці застосовують електронні лічильники, а також лічильники, які фіксують споживання електроенергії в різні години доби окремо.

Мал. 30.1.
Лічильник електроенергії

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Допоможіть мамі Матвія дати відповідь на запитання: «Що підраховує лічильник електроенергії?».
2. Запропонуйте, як можна зменшити споживання електроенергії у вашому помешканні.

2. Потужність електричного струму

Раціональне споживання енергетичних ресурсів актуальне не тільки в Україні, а й у цілому світі. І тому суспільство намагається економно використовувати електроенергію, не знижуючи рівня свого комфорту і заощаджуючи свої кошти. Як це вдається?

Починаючи з 1995 року, замість ламп розжарювання почали використовувати LED-лампи, які споживають значно менше електроенергії. Одними з перших застосували новинку жителі багатого Сінгапуру.

Для освітлення будь-якого приміщення LED-лампа споживає значно меншу потужність, ніж лампа розжарювання, у якій 90 % спожитої енергії витрачається на нагрівання, а лише 10 % на освітлення. Як приклад розглянемо таблицю відповідності потужностей лампочок за однакового освітлення приміщення.

Таблиця

Відповідності потужностей лампочок

Лампа розжарювання Потужність, Вт	LED-лампа (світлодіодна) Потужність, Вт
20	2—3
40	4—5
60	8—10
75	10—12
100	12—15
150	18—20
200	25—30

Так що ж таке потужність? І для чого потрібно знати про неї?

Різні електричні прилади споживають за одиницю часу різну кількість електроенергії, бо мають різну потужність.

Потужність електричного струму — фізична величина, що характеризує швидкість виконання роботи електричним струмом і чисельно дорівнює відношенню роботи електричного струму до часу її виконання:

$$P = \frac{A}{t}.$$

Одиницею вимірювання потужності в системі СІ є ***ват*** **(Вт).**

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

Оскільки робота електричного струму визначається за формулою $A = IUt$, то можна вивести формулу для розрахунку потужності:

$$P = \frac{IUt}{t} = IU.$$

З цієї формули випливає, що **1 Вт = 1 А · В.**

Використовуючи формулу потужності, можна визначити роботу електричного струму: $A = Pt$. З цієї формули одержуємо одиниці вимірювання електричної енергії, які широко застосовують у побуті — ***кіловат-години*** **(кВт · год):**

$$\textbf{1кВт} \cdot \textbf{год} = \textbf{1000 Вт} \cdot \textbf{3600 с} = \textbf{3 600 000 Дж} = \textbf{3,6} \cdot \textbf{10}^{\textbf{6}}\ \textbf{Дж}.$$

Щоб розрахувати вартість спожитої електроенергії, потрібно знати тариф — вартість однієї спожитої кВт · год.

Вартість = *A* (кВт · год) · тариф.

Для непрямого вимірювання потужності струму в електричному колі використовують вольтметр та амперметр, а для прямого вимірювання застосовують ватметр (мал. 30.2).

Мал. 30.2.
Ватметр

Купуючи різноманітні електроприлади, з метою заощадження необхідно звертати увагу на їхню потужність, яка зазначена в паспорті приладу або вказана на ньому. Її називають ***номінальною***. Потужність, яку ми одержимо в результаті прямого або непрямого вимірювання, називають ***фактичною***. Значення номінальної та фактичної потужностей можуть різнитися.

На лічильниках електроенергії вказані значення напруги та максимально допустимої сили струму в ньому. Якщо перемножити ці значення, то отримаємо максимально допустиму потужність споживачів, які можна під'єднати до цього лічильника. Загальна (фактична) потужність струму в колі за будь-якого з'єднання споживачів дорівнює сумі потужностей окремих споживачів.

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Потужність електрочайника становить 2,2 кВт, електричної духовки — 2000 Вт, телевізора — 0,045 кВт. Який з приладів споживатиме за однаковий час найбільше електроенергії, а який найменше? Відповідь обґрунтуйте.

3. Приклад розв'язування задачі

Задача. У мережу напругою 220 В увімкнено ніхромову спіраль електричної плитки довжиною 10 м і площею поперечного перерізу 0,1 мм^2. Визначте потужність плитки та роботу (в кДж) електричного струму за 5 хв.

Дано:	СІ		Розв'язання:
$U = 220$ В		$P = IU$	$R = 1{,}1\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}} \cdot \frac{10\ \text{м}}{0{,}1\ \text{мм}^2} = 110\ \text{Ом}$
$l = 10$ м		$I = \frac{U}{R}$	$I = \frac{220\ \text{В}}{110\ \text{Ом}} = 2\ \text{А}$
$S = 0{,}1$ мм^2		$R = \rho_\text{п}\frac{l}{S}$	$P = 2\text{А} \cdot 220\ \text{В} = 440\ \text{Вт}$
$t = 5$ хв	300 с	$A = Pt$	$A = 440\ \text{Вт} \cdot 300\ \text{с} = 132\ 000\ \text{Дж} =$
$\rho_\text{п} = 1{,}1\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$			$= 132$ кДж
P — ?			
A — ? (кДж)			

Відповідь: $P = 440$ Вт, $A = 132$ кДж.

Запам'ятайте

Робота електричного струму — фізична величина, що характеризує перетворення електричної енергії на інші види.

Потужність електричного струму — фізична величина, що характеризує швидкість виконання роботи електричним струмом.

Перевірте себе

1. В електричне коло увімкнули дві однакові лампочки, розраховані на напругу 4 В. Одна лампочка світила 2 хв, інша — 1 хв. У якій із лампочок електричний струм виконав більшу роботу?
2. Скільки електроенергії можна заощадити за час перерви (15 хв) у вашому класі, якщо його освітлюють дванадцятьма лампочками потужністю 100 Вт кожна?
3. Визначте роботу, яку виконує електричний струм в електродвигуні міксера за 3 хв під час приготування молочного коктейлю, якщо сила струму в колі 1,2 А, а напруга 220 В.

4. На корпусі електропраски написано «220 В, 2600 Вт». Які величини позначено? Визначте силу струму в нагрівальному елементі та його опір під час вмикання праски на передбачену напругу.
5. Через спіраль нагрівника потужністю 600 Вт протікає струм 5 А. Визначте опір спіралі та заряд, який проходить через поперечний переріз спіралі за 5 хв.
6. За показниками електролічильника (попередній становить 003415 кВт · год, останній — 003565 кВт · год) визначте кількість спожитої електроенергії та її вартість за тарифу 4,32 грн за 1 кВт · год.

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Ватметр	Wattmeter
Фактична потужність	Actual power
Номінальна потужність	Capacity

§ 31. Сучасні електричні побутові прилади

У 1895 році француз Марсель Одіфрен запатентував перший побутовий холодильник. Уперше такий холодильник було випущено корпорацією «General Electric» у 1910 році в США. Він коштував понад тисячу доларів, що тоді дорівнювало вартості двох автомобілів. Фірма-розробник виготовила лише 40 таких холодильників і збанкрутувала.

У 1939 році серійне виробництво холодильників було започатковано і в Україні — на Харківському тракторному заводі.

А у 1953 році угорсько-американська науковиця Марія Телкеш створила перший термоелектричний холодильник, який став прототипом сучасних портативних холодильників.

У побуті сучасної людини є безліч електроприладів. Навчимося вибирати їх правильно.

Дізнайтеся про...

- сучасні електричні побутові прилади;
- способи зменшення споживання електроенергії в побуті.

1. Сучасні електричні побутові прилади

Нині невід'ємною частиною нашого життя є сучасні побутові та промислові електроприлади.

Побутові електроприлади — електричне або електромеханічне обладнання, що виконує певну роботу в домашньому господарстві.

Вони допомагають нам виконувати багато повсякденної роботи — приготування їжі, прибирання в кімнаті, прання одягу тощо, вивільняючи нам час для інших справ. Побутові електроприлади є різновидом побутової техніки. Їх можна поділити на такі групи: для приготування їжі (мал. 31.1); для підігрівання води (мал. 31.2); для особистого догляду і прасування (мал. 31.3); електроінструменти (мал. 31.4) тощо.

Мал. 31.1.
Побутові прилади для приготування їжі:
а) пароварка; б) міксер; в) блендер; г) електрогриль; д) тостер; е) мікрохвильова піч

Мал. 31.2.
Побутові прилади для нагрівання води:
а) електрочайник; б) термопот; в) водонагрівальний кран

Мал. 31.3.
Побутові прилади для особистого догляду і прасування:
а) щипці для випрямлення волосся; б) фен; в) праска

Мал. 31.4.
Електроінструменти: а) дриль; б) паяльник; в) кутова шліфувальна машина (болгарка)

Не можна уявити сучасне життя і без комп'ютера, телевізора, ігрових приставок, музичних центрів.

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Пригадайте і назвіть побутові електроприлади, які є у вас вдома. Яке їхнє призначення?
2. Заповніть табличку, скориставшись інформацією з інтернет-джерел (робота в групах).

Електроприлад	Потужність, кВт	Спожита електроенергія за 5 хв, кВт · год
пароварка		
міксер		
блендер		
електрогриль		
тостер		
мікрохвильова піч		
електрочайник		
термопот		
водонагрівальний кран		
щипці для випрямлення волосся		
фен		
праска		
дриль		
паяльник		
кутова шліфувальна машина (болгарка)		

2. Способи зменшення споживання електроенергії в побуті

Електроприлади потрібно використовувати ощадливо, щоб, отримавши квитанцію за використану електроенергію, ви не захотіли відмовитися від досягнень прогресу та повернутися до епохи гасових ламп і печей, які опалюються дровами.

Проаналізуйте, як починається ваш ранок. Ви прокидаєтеся, наливаєте в чайник води, щоб приготувати якийсь напій, умикаєте його та йдете вмиватися. А чи потрібну кількість води ви налили? Скільки горняток напою можна з неї приготувати?

Мабуть, більшість із вас наливає повний чайник води. А чи задумувалися ви, що це зайва витрата води, електроенергії, часу та грошей. Зважаючи на те, що часто користуємося цим приладом, ми повинні звести до мінімуму непотрібні витрати. Нині це один із пріоритетних способів економії не тільки в кожній сім'ї, а й у державі.

Зважаючи на те, що ціни на енергоресурси постійно зростають, купуючи нові електроприлади, ми повинні брати до уваги не тільки бренд, технічні можливості та дизайн нового електроприладу, а й рівень його енергоефективності.

Енергоефективність — раціональне використання енергоресурсів: чим менше їх витрачається на досягнення певного результату, тим вищий показник.

Вибираючи енергоефективні прилади, необхідно зважати на його енергетичний клас. На упаковці кожного приладу є кольорова наклейка (мал. 31.5), що інформує про ступінь споживання ним електроенергії. Директивою Європейського Союзу від 19 травня 2010 року було запроваджено маркування для більшості побутових приладів, промислового обладнання, лампочок, а також для автомобілів щодо їх енергоефективності. Кожному приладу присвоюють певний клас енергоефективності — від A до G. Клас A позначає найвищу енергоефективність, а G — найнижчу. Маркування виробів за допомогою класів енергоефективності надає найважливішу інформацію про реальне споживання енергії різними пристроями та допомагає споживачам зробити усвідомлений вибір побутової техніки.

Мал. 31.5. Наклейка енергоефективності для холодильників

Прилади з маркуванням A++ або A+++ є найефективнішими з погляду

енергозбереження. Також важливо зважати на розмір і потужність пристрою, адже невеликі прилади часто споживають менше енергії.

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Чому не можна залишати техніку (наприклад, ноутбуки, комп'ютери) у «сплячому» режимі?
2. Чи можна порівнювати за рівнем енергоефективності кондиціонер класу «А+» та холодильник класу «А+»?

Запам'ятайте

Побутові електроприлади — електричне або електромеханічне обладнання, що виконує певну роботу в домашньому господарстві.

Енергоефективність — раціональне використання енергоресурсів: чим менше їх витрачається на досягнення певного результату, тим вищий показник.

Перевірте себе

1. Розрахуйте вартість спожитої електроенергії вашою пральною машиною за 1 годину роботи, використавши дані про потужність із паспорта приладу. Вартість електроенергії порахуйте за тарифом 4,32 грн за 1 кВт · год.
2. Визначте силу струму, яку споживає фен, якщо його потужність становить 2,2 кВт, а напруга в мережі — 220 В.
3. Визначте масу кам'яного вугілля, яке потрібно спалити, щоб енергія від його повного згоряння забезпечила щоденну роботу однієї лампи потужністю 100 Вт упродовж восьми годин грудня місяця.
4. Використавши додаткові джерела інформації, з'ясуйте, як вибрати за показником енергоефективності:
   а) кондиціонер;
   б) холодильник.

   Які моделі ви б обрали і чому?

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Побутові електроприлади	Household electrical appliances
Енергоефективність	Energy efficiency

§ 32. Закон Джоуля — Ленца

Чи звертали ви увагу на те, що всі лінії електропередач дещо провисають — улітку більше, а взимку менше. Чому?

Дізнайтеся про...

- фізичну природу теплової дії струму;
- закон Джоуля — Ленца.

1. Фізична природа теплової дії струму

Влітку провисання проводів можна пояснити тепловим розширенням твердих тіл через високу температуру повітря. А взимку, коли температура повітря низька, вони все одно провисають. Отже, провисання проводів пов'язане не тільки з їх нагріванням сонячним випромінюванням, а й з проходженням через них електричного струму.

Електричний струм у металах — це впорядкований рух вільних електронів під дією електричного поля. Провідники виготовлені з металів, у вузлах кристалічних ґраток яких розміщені позитивні йони. Під час проходження струму в провіднику відбувається взаємодія вільних електронів з йонами кристалічної ґратки (виникає електричний опір). Електрони віддають частину своєї енергії йонам. Інтенсивність коливань йонів збільшується, і температура провідника зростає. А від чого залежить кількість відданої енергії?

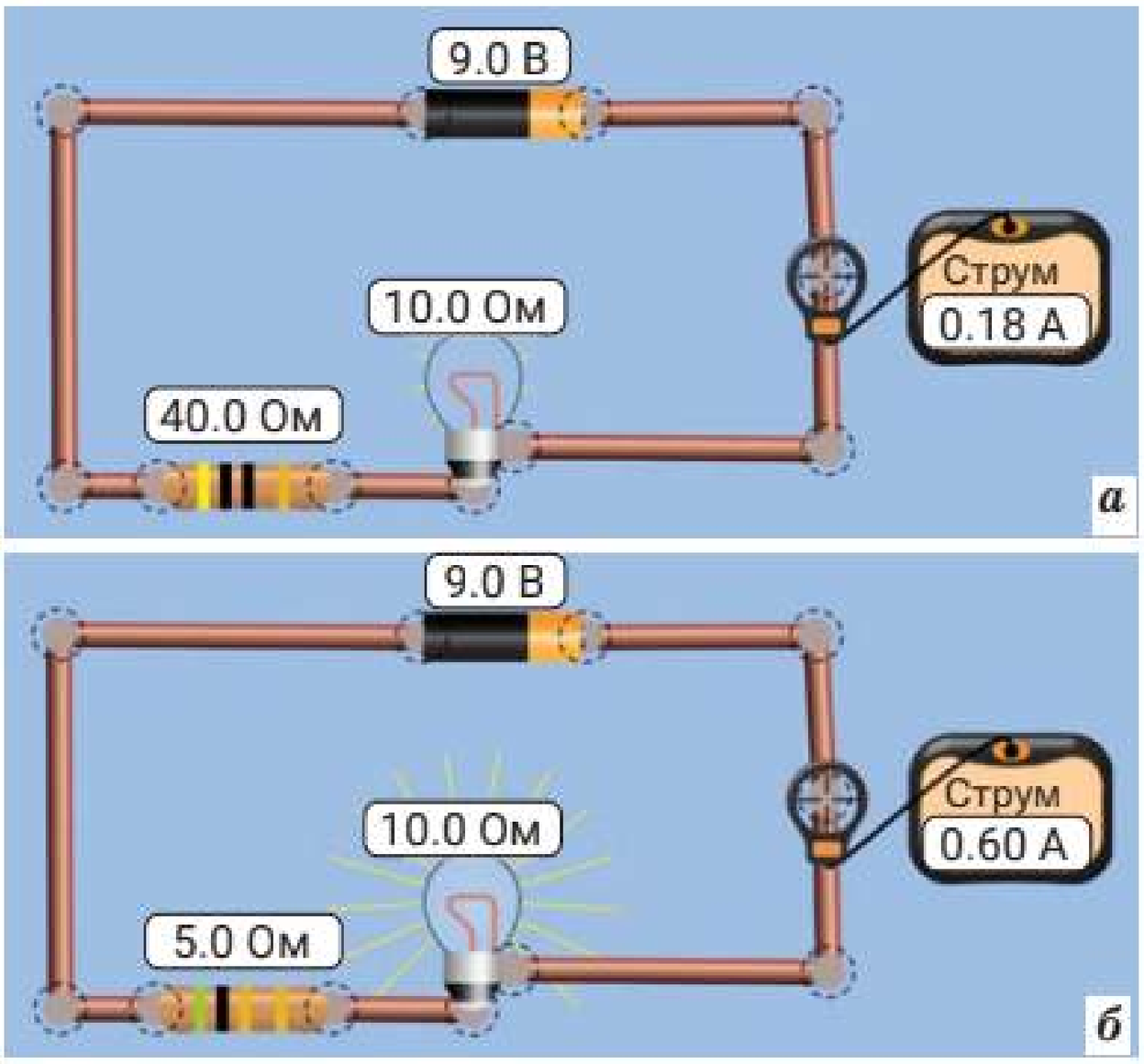
Якщо скласти електричне коло з двох послідовно з'єднаних провідників однакової довжини та площі поперечного перерізу, виготовлених з міді та сталі, пропустити через них електричний струм, то можна переконатися, що теплова енергія, яка виділяється в них, є різною — у сталевому провіднику вона більша. ***Чим більший опір провідника, тим більше він нагрівається.***

Складемо електричне коло, споживачем у якому є лампа розжарювання.

Будемо пропускати через неї електричний струм. Розжарювання спіралі лампи зростає в разі збільшення сили струму в колі. Це свідчить про те, що кількість теплоти, яка виділяється під час проходження струму по спіралі, збільшилася (мал. 32.1). Отже, ***у разі збільшення сили струму в провіднику кількість теплоти, що виділяється в ньому, теж збільшується.***

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Про який електроприлад ідеться в загадці: «Гладить все, чого торкається, а торкнеш — кусається»? Яка дія електричного струму покладена в основу його роботи?



Мал. 32.1.
Зміна розжарювання спіралі лампи зі зміною сили струму в колі

2. Закон Джоуля — Ленца

Фізичний закон, що дає кількісну оцінку теплової дії електричного струму, відкрив у 1841 році англійський фізик Джеймс Джоуль і незалежно від нього науковець німецького походження Емілій Ленц у 1842 році. Вони працювали окремо і висновки з результатів своїх досліджень робили незалежно один від одного. Щоб вшанувати роботу обох науковців, закон назвали їхніми прізвищами — **закон Джоуля — Ленца.**

Кількість теплоти, яка виділяється в провіднику зі струмом, прямо пропорційна квадрату сили струму, опору провідника й часу проходження струму.

Математично цей закон записують так:

$$Q = I^2Rt,$$

де Q — кількість теплоти, I — сила струму, R — опір провідника, t — час протікання струму.

Джеймс Джоуль

Емілій Ленц

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Чому в нагрівальних елементах використовують провідники з великим питомим опором, а в підвідних колах — провідники з малим питомим опором?

3. Приклад розв'язування задачі

Задача. Визначте кількість теплоти, що виділиться за 30 хв в електричному чайнику, увімкненому в мережу 220 В. Опір спіралі чайника дорівнює 100 Ом. Яку масу води можна було б нагріти на 80 °С, використовуючи всю теплоту, що виділяється під час проходження струму через спіраль електрочайника?

Дано:	СІ		Розв'язання:
$t = 30$ хв	1800 с	$Q_1 = I^2Rt$	$I = \frac{220\ \text{В}}{100\ \text{Ом}} = 2{,}2\ \text{А}$
$U = 220$ В		$I = \frac{U}{R}$	$Q_1 = (2{,}2\ \text{А})^2 \cdot 100\ \text{Ом} \cdot 1800\ \text{с} =$
$R = 100$ Ом		$Q_2 = cm\Delta t$	$= 871\,200$ Дж
$\Delta t = 80$ °С		$Q_2 = Q_1$	$Q_2 = 871\,200$ Дж
$c = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°С}}$		$m = \frac{Q_2}{c\Delta t}$	$m = \frac{871\,200\ \text{Дж}}{4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°С}} \cdot 80\ \text{°С}} \approx 2{,}6$ кг
Q_1 — ?			
m — ?			

Відповідь: $Q_1 = 871\,200$ Дж, $m \approx 2{,}6$ кг.

Запам'ятайте

Чим більший опір провідника, тим більше він нагрівається.

У разі збільшення сили струму в провіднику кількість теплоти, що виділяється в ньому, збільшується.

Закон Джоуля — Ленца: кількість теплоти, яка виділяється в провіднику зі струмом, прямо пропорційна квадрату сили струму, опору провідника й часу проходження струму.

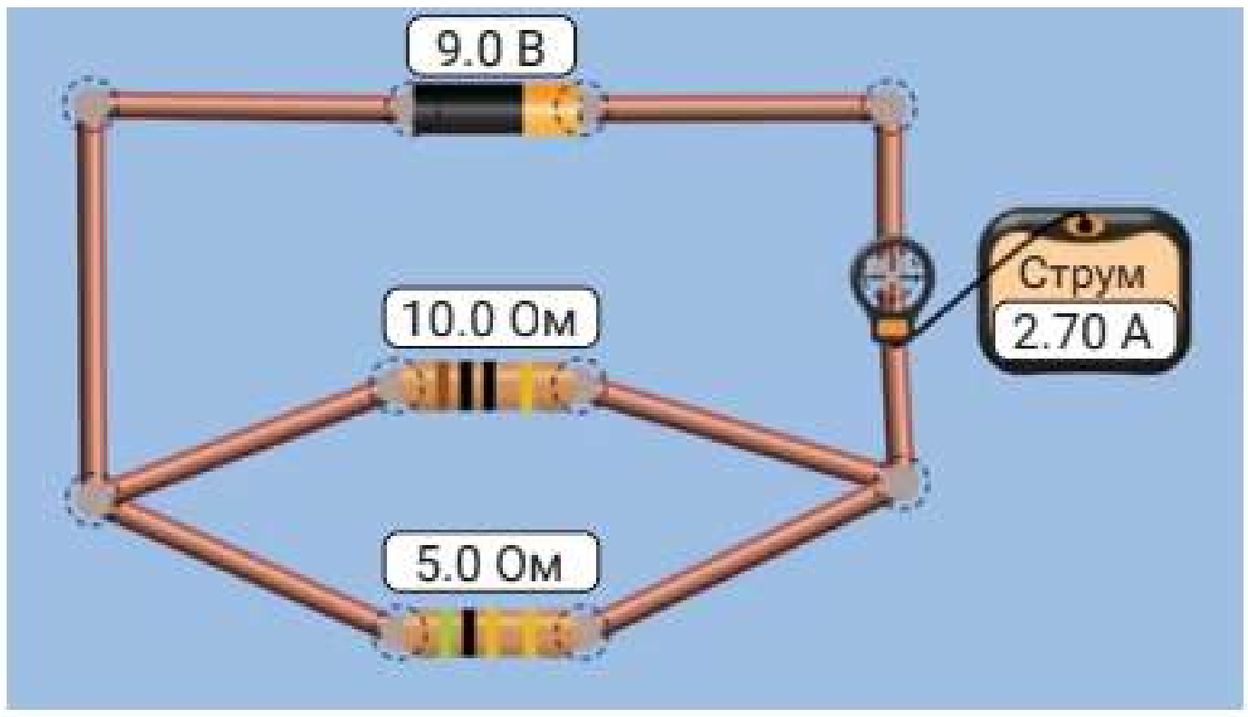
Перевірте себе

1. Яку дію електричного струму ви спостерігаєте у процесі, зображеному на малюнку 32.2? Які перетворення енергії відбуваються?
2. Визначте кількість теплоти, що виділиться в резисторі опором 10 Ом за 30 с, якщо через нього проходить струм силою 0,4 А.
3. Під час проходження через провідник струму силою 3 А за 5 хв у ньому виділилося 2700 Дж енергії. Визначте опір провідника.
4. Визначте кількість теплоти (у МДж), що виділиться за 30 хв роботи електронагрі-

Мал. 32.2.
Фритюрниця електрична

вача, увімкненого в мережу напругою 220 В. Спіраль нагрівача виготовлена з ніхромового дроту довжиною 22 см і площею поперечного перерізу 6,6 мм^2.

5. Використовуючи дані електричної схеми (мал. 32.3), установіть, у якому з резисторів виділиться протягом однакового часу більша кількість теплоти і в скільки разів.



Мал. 32.3.
Електричне коло

§ 33. Електронагрівальні прилади. Коефіцієнт корисної дії електронагрівального приладу. Коротке замикання. Запобіжники

Уявіть собі таку ситуацію. Ви після уроків приходите додому, вмикаєте світло в коридорі, переодягаєтеся і прямуєте у ванну кімнату, щоб помити руки. Там згадуєте, що треба випрати спортивну форму і запускаєте пральну машину — хай працює, поки ви розігріваєте їжу на електроплиті. Після обіду завантажуєте брудний посуд у посудомийну машину. Одночасно вмикаєте чайник, адже хочеться гарячого чаю. І раптом у квартирі пропадає світло. Траплялося таке? Чому так сталося? Що робити? Як цього уникнути?

Дізнайтеся про...

- електронагрівальні прилади;
- коротке замикання, запобіжники та їх види;
- коефіцієнт корисної дії (ККД) електронагрівального приладу.

1. Електронагрівальні прилади

У цьому параграфі йтиметься про одну з дій електричного струму — теплову. Її покладено в основу роботи багатьох електроприладів, які мають різну будову, форму та призначення, проте об'єднує їх одна деталь — нагрівальний елемент. Його виготовляють з тугоплавких металів, сплавів з великим питомим опором. Перший електричний пристрій, у якому використали теплову дію струму, — лампа розжарювання. І хоча декілька вчених одночасно займалися її розробкою, все ж таки автором вважають Томаса Едісона, бо він у 1879 році запатентував свою лампу розжарювання. Нагрівним елементом цієї лампи був вольфрамовий дріт (температура плавлення понад 3000 °С), який так нагрівався під час проходження струму, що починав світитися.

В електричних нагрівальних елементах широко використовують ніхром. Температура такого нагрівного елемента може досягати 1200 °С.

Провідники, які використовують для електропроводки, з'єднувальні шнури не повинні нагріватися, тому їх виготовляють з металів, що мають малий питомий опір, наприклад міді.

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Назвіть нагрівальні електроприлади, крім згаданих вище, які використовують у побуті, промисловості та сільському господарстві.

Упродовж багатьох років людство винаходило щораз більше електронагрівальних приладів, які стали незамінними помічниками в нашому побуті. Це електродуховки, електрокаміни, мультиварки, хлібопечі, сушарки для овочів та фруктів, тостери, фени, сушки та випрямлячі для волосся, бойлери, індукційні печі для випічки і навіть для плавлення сталі.

Поміркуйте і дайте відповідь

1. Щоб приготувати чай, ви кип'ятите воду в електрочайнику. Чи вся теплота нагрівного елемента чайника йде тільки на нагрівання та кип'ятіння води?

2. Коефіцієнт корисної дії (ККД) електронагрівального приладу

Кількість теплоти, що виділяється в нагрівнику внаслідок проходження по ньому електричного струму, — повна кількість теплоти $Q_{пов}$. Вона частково витрачається на нагрівання води — це корисна кількість теплоти $Q_{кор}$, і частково на нагрівання чайника та навколишнього середовища — це втрачена енергія.

Коефіцієнт корисної дії нагрівника (ККД) — фізична величина, що характеризує ефективність нагрівника і показує, яку частину від повної кількості теплоти становить корисна кількість теплоти:

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

ККД нагрівника завжди значно менший за 100%.

3. Коротке замикання, запобіжники та їх види

Повернемося до ситуації, описаної на початку параграфа. Якщо ввімкнути одночасно велику кількість потужних електроприладів (паралельне з'єднання), то загальний опір кола зменшиться, а згідно із законом Ома, сила струму збільшиться. Відбудеться суттєве нагрівання проводів, що може призвести не тільки до поломки приладу, а й до місцевого загоряння. Щоб такого не трапилося, в оселі має бути захист — запобіжник.

Запобіжник — пристрій, призначений для розмикання електричного кола в разі перевищення допустимого значення сили струму в ньому.

Розглянемо будову і принцип дії плавкого запобіжника (мал. 33.1). Він складається з невеличкого скляного циліндра, усередині якого вмонтовано дротину з легкоплавкого металу (наприклад, свинцю). Ця дротина — складова частина електричного кола квартири, будинку, автомобіля тощо. Коли струм у колі відповідає допустимому значенню, то вона слабо нагрівається. Якщо ж струм перевершить допустиму норму, то вона так сильно нагріється, що розплавиться. Унаслідок цього електричне коло розімкнеться і прилади та електропроводка не вийдуть з ладу. Такий запобіжник повторно не використовують. Його потрібно замінити новим.

Мал. 33.1.
Плавкий запобіжник

Плавкі запобіжники належать до перших серійних пристроїв захисту, а одними з найсучасніших є автоматичні вимикачі (мал. 33.2), які мають істотно інші властивості. Головною перевагою виробів нового покоління є можливість багаторазового використання. В основі такого вимикача — біметалева пластина. Вона в разі збільшення сили струму понад норму вигинається, унаслідок чого коло розмикається. Після охолодження такий пристрій знову можна повернути в робочий стан.

Мал. 33.2.
Автоматичний вимикач

Запобіжники відіграють важливу роль під час короткого замикання.

Коротке замикання — різке збільшення сили струму в колі в разі з'єднання кінців ділянки кола провідником, опір якого майже нульовий порівняно з опором усієї ділянки кола.

Воно відбувається під час ремонту електроприладів під напругою, торкання між собою неізольованих провідників. Якби не спрацював запобіжник, то можливі загоряння провідників, а відтак — великі пожежі.

4. Приклад розв'язування задачі

Задача. На електроплиті, ККД якої 55 %, за 12 хвилин закипає в каструлі 0,8 л води. Початкова температура води становить 20 °С. Визначте, під якою напругою працює електроплита, якщо струм у ній 3,1 А. Втратами енергії на нагрівання каструлі знехтуйте.

Дано:	СІ		Розв'язання:
$t = 12$ хв	720 с	$\eta = \frac{Q_{кор}}{Q_{пов}} \cdot 100\ \%$	$Q_{кор} = 4200\ \frac{Дж}{кг \cdot °С} \cdot 1000 \frac{кг}{м^3} \cdot$
$I = 3{,}1$ А		$Q_{кор} = cm(t_2 - t_1)$	$\cdot\ 0{,}0008\ м^3 \cdot (100\ °С - 20\ °С) =$
$\eta = 55\ \%$		$m = \rho V$	$= 268\ 800$ Дж
$\rho = 1000 \frac{кг}{м^3}$		$Q_{кор} = c\rho V(t_2 - t_1)$	
$V = 0{,}8$ л	$0{,}0008\ м^3$	$Q_{пов} = \frac{Q_{кор} \cdot 100\ \%}{\eta}$	$Q_{пов} = \frac{268\ 800\ Дж \cdot 100\ \%}{55\ \%} =$
$t_1 = 20\ °С$		$Q_{пов} = UIt$	$= 488\ 727$ Дж
$t_2 = 100\ °С$		$U = \frac{Q_{пов}}{It}$	$U = \frac{488\ 727\ Дж}{3{,}1\ А \cdot 720\ с} \approx 219$ В
$c = 4200 \frac{Дж}{кг \cdot °С}$			
U — ?			

Відповідь: $U \approx 219$ В.

Запам'ятайте

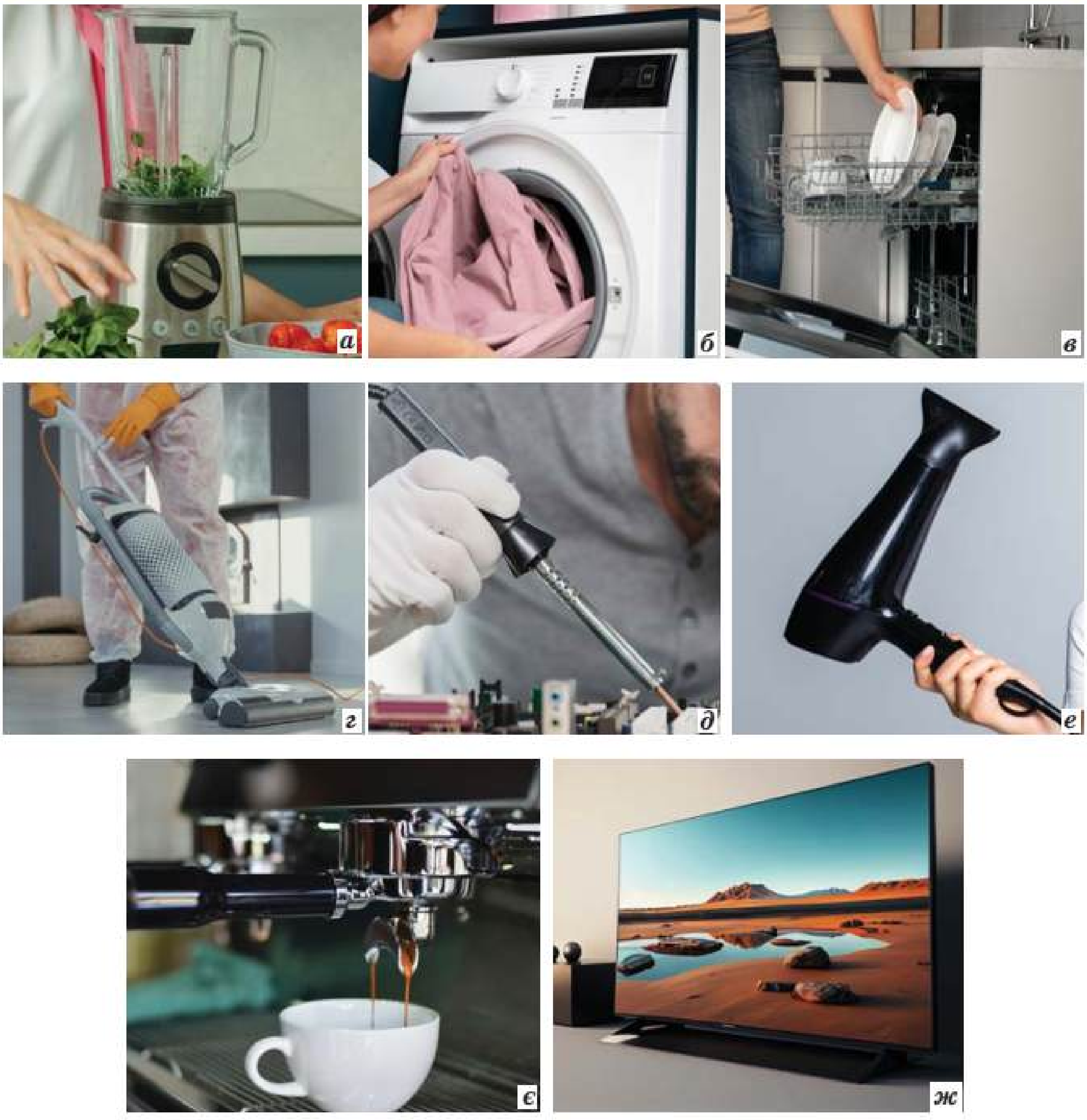
Коефіцієнт корисної дії нагрівника (ККД) — фізична величина, що характеризує ефективність нагрівника і показує, яку частину від повної кількості теплоти становить корисна кількість теплоти.

Запобіжник — пристрій, призначений для розмикання електричного кола в разі перевищення допустимого значення сили струму в ньому.

Коротке замикання — різке збільшення сили струму в колі в разі з'єднання кінців ділянки кола провідником, опір якого майже нульовий порівняно з опором усієї ділянки кола.

Перевірте себе

1. Розгляньте малюнок 33.3 та назвіть електроприлади, робота яких ґрунтується на тепловій дії електричного струму.



Мал. 33.3.
Електроприлади

2. Чому порожній електричний чайник не можна вмикати в електромережу?
3. Найбільша потужність, яку можуть споживати електроприлади у квартирі, становить 1,32 кВт. Чи не вийдуть з ладу плавкі запобіжники, розраховані на силу струму 6 А і напругу 220 В?
4. Скільки літрів води, узятої за температури 10 °С, можна нагріти до кипіння кип'ятильником, який споживає струм 3 А за напруги 127 В? Коефіцієнт його корисної дії становить 30 %. Час роботи — 10 хвилин.

Словник фізичних термінів (для пошуку інформації в англомовних джерелах)

Запобіжник	Fuse
Коротке замикання	Short circuit
Нагрівник	Heater

§ 34. Безпека людини під час роботи з електричними приладами і пристроями

Дізнайтеся про...

- правила безпечної роботи з електроприладами;
- заходи, яких потрібно вжити в разі враження людини електричним струмом.

1. Правила безпечної роботи з електроприладами

Електрика є навколо нас і робить наше життя комфортним. Однак вона може бути дуже небезпечною, якщо не дотримуватися правил безпеки під час її використання. Електричний струм здатний спричинити серйозні травми або навіть призвести до смерті.

Правила користування електроприладами

- Завжди читайте та дотримуйтеся інструкцій виробника.
- Не користуйтеся електроприладами без нагляду дорослих.
- Перевірте електричний прилад, уважно оглянувши його на виявлення зовнішніх пошкоджень.
- Не використовуйте електроприлади з пошкодженою ізоляцією шнура.
- Не ремонтуйте електроприлади самостійно.
- Не вмикайте одночасно кілька потужних електроприладів в одну розетку.
- Не протирайте пил з електроприладів, які працюють.
- Не торкайтеся електричних приладів мокрими руками.
- Обмежте використання електроприладів у ванній кімнаті.

- Прибирайте волосся під спеціальні головні убори, використовуйте одяг, який щільно облягає вас, і не нахиляйтеся низько над працюючими обертовими механізмами електроприладів.
- Спочатку вимкніть прилад, а потім виймайте вилку з розетки.
- Не витягуйте вилку електричного шнура з розетки, тягнучи за шнур.

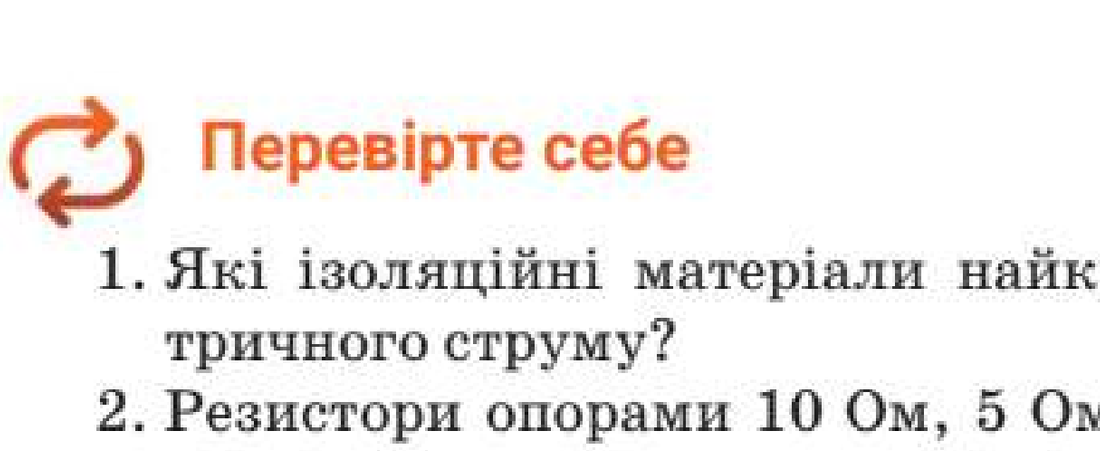
2. Як допомогти людині, яка зазнала ураження струмом

У разі враження людини електричним струмом потрібно вжити таких заходів:

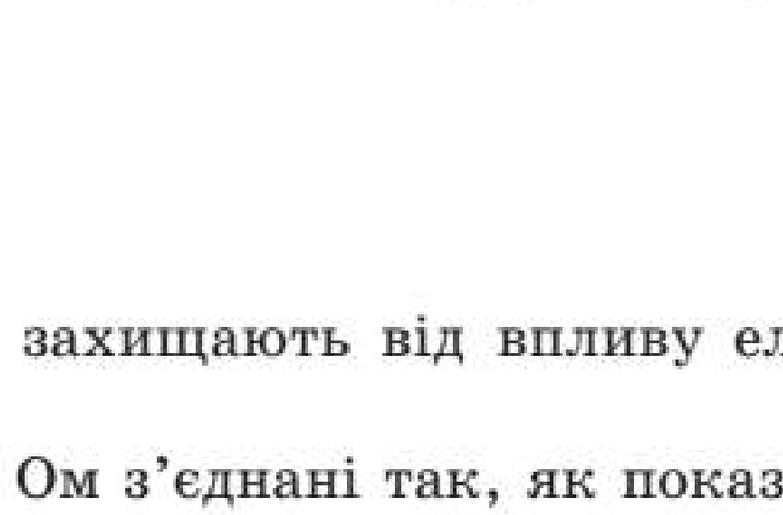
- не торкатися потерпілої/потерпілого, яка/який перебуває під дією струму;
- вимкнути прилад з електромережі;
- зателефонувати за номером **103**;
- звільнити потерпілу/потерпілого від проводів за допомогою ізоляційних матеріалів;
- звільнити дихання, у разі втрати свідомості дати понюхати нашатирний спирт;
- якщо немає пульсу, то зробити непрямий масаж серця та штучне дихання.

Перевірте себе

1. Які ізоляційні матеріали найкраще захищають від впливу електричного струму?
2. Резистори опорами 10 Ом, 5 Ом і 15 Ом з'єднані так, як показано на малюнку 34.1. Визначте загальний опір кола: а) з розімкнутим вимикачем; б) із замкнутим вимикачем.
3. Резистори опорами $R_1 = 10$ Ом, $R_2 = 5$ Ом, $R_3 = 15$ Ом з'єднані так, як показано на малюнку 34.2. Визначте загальний опір кола: а) з розімкнутим вимикачем; б) із замкнутим вимикачем.



Мал. 34.1.
Схема електричного кола



Мал. 34.2.
Схема електричного кола

Здійсніть самоперевірку

- Заповнити пропущене «З'єднання провідників. Робота і потужність. Закон Джоуля — Ленца»
- Логічні пари «З'єднання провідників. Робота і потужність. Закон Джоуля — Ленца»
- Числова пряма «Що потужніше?»
- Фрагменти зображення «Елементи електричного кола»
- Перший мільйон «З'єднання провідників. Робота і потужність. Закон Джоуля — Ленца»

https://f8.academiabook.club/samoperevirka-4-rozdil.html

Виконайте проєкт, дотримуючись алгоритму (додаток 2)

Орієнтовні теми проєктів:

- Електричний прилад: потужність — якість — ціна.
- Використання електричного струму в повсякденному житті.
- Електричний струм на службі в людини.
- Використовуємо знання фізики для економії сімейного бюджету.
- Електропобутові прилади з високою енергоефективністю в нашому домі.

Таблиця 1

Густини речовин
(за температури 20 °С і нормального атмосферного тиску)

у твердому стані					
Речовина	Густина		Речовина	Густина	
	кг/м³	г/см³		кг/м³	г/см³
Алюміній	2700	2,70	Мідь	8900	8,90
Бетон	2200	2,20	Олово	7300	7,30
Граніт	2600	2,60	Нікель	8900	8,90
Дуб сухий	800	0,80	Парафін	900	0,90
Залізо	7800	7,80	Платина	21 500	21,50
Золото	19 300	19,30	Свинець	11 300	11,30
Іридій	22 400	22,40	Скло	2500	2,50
Корок	240	0,24	Срібло	10 500	10,50
Капрон	1140	1,14	Сосна суха	440	0,44
Крейда	2400	2,40	Сталь	7800	7,80
Латунь	8500	8,50	Цегла	1400—1600	1,40—1,60
Лід	900	0,90	Цинк	7100	7,10
Мармур	2700	2,70	Чавун	7000	7,00

у рідкому стані					
Речовина	Густина		Речовина	Густина	
	кг/м³	г/см³		кг/м³	г/см³
Ацетон	790	0,79	Машинне масло	900	0,90
Бензин	710	0,71	Мед	1350	1,35
Вода чиста	1000	1,00	Нафта	800	0,80
Вода морська	1030	1,03	Олія	900	0,90
Гас	800	0,80	Ртуть	13 600	13,60
Гліцерин	1260	1,26	Спирт	800	0,80
Дизельне паливо	840	0,84	Сульфатна кислота	1800	1,80

у газоподібному стані					
Речовина	Густина		Речовина	Густина	
	кг/м³	г/см³		кг/м³	г/см³
Азот	1,250	0,00125	Кисень	1,430	0,00143
Водень	0,090	0,00009	Повітря	1,290	0,00129
Вуглекислий газ	1,980	0,00198	Чадний газ	1,250	0,00125
Гелій	0,180	0,00018	Хлор	3,210	0,00321

Таблиця 2

Питома теплоємність речовин

Речовина	c, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot °\text{C}}$	Речовина	c, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot °\text{C}}$
Алюміній	920	Олія	1800
Бензин	1400	Олово	230
Вода	4200	Пісок	880
Гас	2100	Повітря	1000
Гліцерин	2400	Ртуть	140
Графіт	750	Свинець	140
Дерево (дуб)	2400	Скло	840
Ефір	2350	Спирт	2500
Залізо	460	Срібло	250
Золото	130	Сталь	500
Лід	2100	Цегла	880
Латунь	400	Цинк	400
Мідь	400	Чавун	540

Таблиця 3

Питома теплота згоряння палива

Речовина	q, $\frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$	Речовина	q, $\frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$
Антрацит	30	Мазут	39
Бензин	46	Нафта	44
Буре вугілля	15	Порох	4
Водень	120	Природний газ	44
Гас	46	Солома	14
Деревне вугілля	34	Спирт	27
Дизельне паливо	42	Торф	15
Дрова (сухі)	10	Тротил	15
Кам'яне вугілля	25	Умовне паливо	30

Таблиця 4

Температура плавлення (кристалізації) деяких речовин (за нормального атмосферного тиску)

Речовина	t, °C	Речовина	t, °C
Азот	−210	Олово	232
Алюміній	660	Парафін	55
Водень	−259	Платина	1772
Вольфрам	3387	Ртуть	−39
Залізо	1535	Свинець	327
Золото	1065	Спирт	−115
Калій	63	Срібло	962
Кисень	−219	Сталь	1400
Лід	0	Титан	1660
Мідь	1085	Цинк	420
Нікель	1453	Чавун	1200

Таблиця 5

Питома теплота плавлення речовин (за температури плавлення та нормального атмосферного тиску)

Речовина	λ, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	Речовина	λ, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$
Алюміній	393	Парафін	150
Водень	59	Платина	113
Вольфрам	185	Ртуть	12
Залізо	270	Свинець	25
Золото	67	Срібло	87
Лід	332	Сталь	84
Мідь	213	Цинк	112
Олово	59	Чавун	96

Таблиця 6

Температура кипіння деяких речовин (за нормального атмосферного тиску)

Речовина	t, °C	Речовина	t, °C
Азот	−196	Кисень	−183
Бензин	70...200	Мідь	2567
Водень	−253	Молоко	100
Вода	100	Олія	310
Гліцерин	290	Ртуть	357
Ефір	35	Свинець	1740
Залізо	2750	Спирт	78

Таблиця 7

Питома теплота пароутворення речовин (за температури кипіння та нормального атмосферного тиску)

Речовина	r, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	Речовина	r, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$
Азот	199	Залізо	6120
Бензин	290	Мідь	4820
Вода	2260	Ртуть	293
Гліцерин	830	Свинець	855
Ефір	355	Спирт	900

Таблиця 8

Питомий електричний опір деяких речовин (за температури 20 °C)

Речовина	$\rho_п$, $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$	Речовина	$\rho_п$, $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$
Алюміній	0,028	Ніхром (сплав)	1,10
Вольфрам	0,055	Ртуть	0,96
Залізо	0,10	Свинець	0,21
Константан (сплав)	0,50	Срібло	0,016
Манганін (сплав)	0,43	Сталь	0,10
Мідь	0,17	Фехраль (сплав)	1,30
Нікелін (сплав)	0,42	Хромель (сплав)	1,40

Додаток 2

Орієнтовний алгоритм роботи над проєктом

I. Планування навчального проєкту.

1. Формування проєктної групи.
2. Вибір теми проєкту.
3. Формулювання проблеми проєкту.
4. Визначення цілей проєкту.
5. Розподіл обов'язків та завдань щодо реалізації цілей проєкту з укладанням робочого плану та врахуванням часових меж.

II. Реалізація навчального проєкту.

1. Реалізація завдань, визначених робочим планом.
2. Підготовка публічного представлення результатів роботи.

III. Публічна презентація проєкту.

IV. Оцінювання проєкту ***(власної роботи та співпраці в команді)***.

Додаток 3

Орієнтовні запитання для оцінювання власної роботи та співпраці в команді

1. Чого я навчився/навчилася?
2. Яких умінь і навичок я набув/набула, працюючи над проєктом?
3. Що сприяло роботі над проєктом?
4. Що заважало роботі над проєктом?
5. У чому полягали переваги/недоліки роботи в команді?
6. Я задоволений/задоволена результатом роботи групи над проєктом та власним внеском у нього?
7. Якби мені довелося починати новий проєкт, що б я зробив/зробила інакше?

Додаток 4

Орієнтовний паспорт проєкту

Назва проєкту	
Учасники проєкту	
Аргументація обраної теми	
Проблема	
Цілі проєкту	
Опис покрокових дій щодо реалізації проєкту	
Отриманий результат	
Висновки	
Оцінка проєкту	
Використаний ресурс *(перелік посилань та використаних джерел інформації)*	

Відеоматеріали

Параграф	Покликання	QR-код
§2	Теплове розширення твердих тіл, рідин та газів https://f8.academiabook.club/rozdil-1-p-2.html	
§3	Теплопровідність https://f8.academiabook.club/rozdil-1-p-3-v1.html	
	Конвекція https://f8.academiabook.club/rozdil-1-p-3-v2.html	
§12	Зміна агрегатних станів https://f8.academiabook.club/rozdil-2-p-12.html	
§13	Теплові машини https://f8.academiabook.club/rozdil-2-p-13.html	
§15	Будова атома. Електризація тіл. Електричний заряд. Два роди електричних зарядів. Взаємодія заряджених тіл https://f8.academiabook.club/rozdil-3-p-15.html	

§21	Джерела електричного струму. Гальванічні елементи та акумулятори, їх утилізація https://f8.academiabook.club/rozdil-3-p-21.html	
§25	Закон Ома для ділянки кола https://f8.academiabook.club/rozdil-3-p-25.html	
§26	Залежність опору провідника від його довжини, площі поперечного перерізу та матеріалу https://f8.academiabook.club/rozdil-3-p-26.html	
§33	Коефіцієнт корисної дії електронагрівального приладу https://f8.academiabook.club/rozdil-4-p-33.html	

Відповіді до завдань рубрики «Перевірте себе»

Параграф	Завдання	Відповідь
§ 5	4	0,5 кг
	5	3240 Дж
	6	$\approx 919 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$
	7	13,2 °C
§ 6	2	≈ 1,08 кг
	3	$1120 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$
	4	≈ 31 °C
§ 7	2	5 кг
	3	$44 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$, природний газ
	4	13,8 кг
	5	≈ 0,023 кг
§ 8	3	≈ 25 %
	4	≈ 406 г
	5	21,5 %
§ 10	1	33 200 Дж
	2	50 000 Дж
	3	255 120 Дж
	4	0,5 кг
	5	2714 кДж
	6	7 г
§ 12	1	90 Дж
	2	0,2 кг
	3	3768 кДж
	4	6177,5 кДж
§ 14	3	32,66 МДж
	4	≈ 24,5 %
	5	≈ 28,6 %
	6	≈ 621 кг
§ 17	5	$-1{,}6 \cdot 10^{-17}$ Кл
§ 18	4	$1{,}8 \cdot 10^{-4}$ Н
	5	4,0 нКл; $3{,}6 \cdot 10^{-4}$ Н
§ 23	4	$1{,}25 \cdot 10^{22}$
§ 24	4	5000 Кл
	5	356 400 Дж; 102 960 Дж; 63 360 Дж

Параграф	Завдання	Відповідь
§ 25	2	2 В; 0,3 А; 100 Ом; 10 А
	3	≈ 0,17 Ом; 0,25 Ом
	4	1 А
§ 26	3	$0{,}44 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$
	4	0,168 мм²
	5	≈ 0,85 В
§ 27	2	2,2 мА
§ 28	2	1 Ом
	3	300 Ом
	4	20
	5	$R_2 = 1$ Ом; $R_3 = 6$ Ом; $I_1 = I_2 = I_3 = 2$ А; $U_1 = 10$ В; $U_3 = 12$ В
§ 29	2	1,2 Ом
	3	75 Ом
	5	$R_2 = 30$ Ом; $R_3 = 20$ Ом; $I_1 = 2{,}4$ А; $I_3 = 1{,}2$ А; $U_1 = 24$В; $U_2 = 24$ В; $U_3 = 24$ В
§ 30	2	1 080 000 Дж
	3	47 520 Дж
	4	≈11,8 А; ≈18,6 Ом
	5	24 Ом; 1500 Кл
	6	150 кВт · год; 648 грн
§ 31	2	10 А
	3	≈ 3,57 кг
§ 32	2	48 Дж
	3	1 Ом
	4	2376 МДж
§ 33	3	Так, бо $P = 1320$ Вт
	4	≈ 0,18 л
§ 34	2	а) 30 Ом; б) 25 Ом
	3	а) 6,7 Ом; б) 3,3 Ом

ЗМІСТ

Шановні восьмикласники та восьмикласниці!..... 3

Інструкція з безпеки життєдіяльності під час проведення навчальних занять у кабінеті фізики 5

Інформаційна мапа вивченого у 7 класі..... 7

Розділ І. Кількість теплоти

§ 1. Тепловий рух. Тепловий стан тіла і температура. Теплова рівновага. Термометри. Температурні шкали..... 14

§ 2. Теплове розширення твердих тіл, рідин та газів 18

§ 3. Внутрішня енергія. Способи зміни внутрішньої енергії. Теплопровідність. Конвекція. Випромінювання..... 21

§ 4. Сонячне випромінювання та життя на Землі. Приклади теплопередачі в природі й техніці 27

§ 5. Кількість теплоти. Питома теплоємність речовини..... 32

§ 6. Тепловий баланс..... 36

Лабораторна робота № 1 39

Лабораторна робота № 2 40

§ 7. Енергія палива. Питома теплота згоряння палива..... 42

§ 8. Закон збереження енергії в механічних і теплових процесах. Коефіцієнт корисної дії (ККД) нагрівника..... 46

Здійсніть самоперевірку..... 50

Виконайте проєкт, дотримуючись алгоритму..... 50

Розділ ІІ. Зміна агрегатних станів речовини

§ 9. Агрегатні стани речовини. Плавлення і кристалізація..... 52

§ 10. Питома теплота плавлення та кристалізації..... 57

§ 11. Пароутворення та конденсація..... 61

§ 12. Кипіння..... 67

§ 13. Робота газу й пари під час розширення. Теплові машини. Двигун внутрішнього згоряння. Парова турбіна..... 72

§ 14. Коефіцієнт корисної дії (ККД) теплового двигуна. Екологічні проблеми використання теплових машин..... 77
Здійсніть самоперевірку..... 82
Виконайте проєкт, дотримуючись алгоритму..... 82

Розділ III. Електричне поле. Електричний струм

§ 15. Будова атома. Електризація тіл. Електричний заряд. Два роди електричних зарядів. Взаємодія заряджених тіл..... 84
§ 16. Електризація навколо нас..... 89
§ 17. Електричне поле. Електроскоп. Електрометр. Закон збереження електричного заряду..... 91
§ 18. Закон Кулона..... 98
§ 19. Електричний струм. Дії електричного струму. Провідники та непровідники електрики..... 100
§ 20. Електричний струм у різних середовищах..... 105
§ 21. Джерела електричного струму. Гальванічні елементи та акумулятори, їх утилізація..... 108
§ 22. Електричне коло та його основні елементи..... 113
§ 23. Сила струму. Амперметр..... 118
§ 24. Електрична напруга. Вольтметр..... 122
§ 25. Електричний опір. Закон Ома для ділянки кола..... 127
§ 26. Залежність опору провідника від його довжини, площі поперечного перерізу та матеріалу. Питомий опір. Реостати..... 132
Лабораторна робота № 3..... 136
§ 27. Дія електричного струму на організм людини..... 137
Здійсніть самоперевірку..... 144
Виконайте проєкт, дотримуючись алгоритму..... 144

Розділ IV. З'єднання провідників. Робота і потужність. Закон Джоуля — Ленца

§ 28. Послідовне з'єднання провідників..... 146
Лабораторна робота № 4..... 151
§ 29. Паралельне з'єднання провідників..... 153
Лабораторна робота № 5..... 158

§ 30. Робота і потужність електричного струму..... 160
§ 31. Сучасні електричні побутові прилади..... 164
§ 32. Закон Джоуля — Ленца..... 170
§ 33. Електронагрівальні прилади. Коефіцієнт корисної дії електронагрівального приладу. Коротке замикання. Запобіжники..... 172
§ 34. Безпека людини під час роботи з електричними приладами і пристроями..... 178
Здійсніть самоперевірку..... 180
Виконайте проєкт, дотримуючись алгоритму..... 180

Додатки

1. *Таблиця 1*. «Густини речовин»..... 181
Таблиця 2. «Питома теплоємність речовин»..... 182
Таблиця 3. «Питома теплота згоряння палива»..... 182
Таблиця 4. «Температура плавлення (кристалізації) деяких речовин»..... 183
Таблиця 5. «Питома теплота плавлення речовин»..... 183
Таблиця 6. «Температура кипіння деяких речовин»..... 184
Таблиця 7. «Питома теплота пароутворення речовин»..... 184
Таблиця 8. «Питомий електричний опір деяких речовин»..... 184
2. Орієнтовний алгоритм роботи над проєктом..... 185
3. Орієнтовні запитання для оцінювання власної роботи та співпраці в команді..... 185
4. Орієнтовний паспорт проєкту..... 185

Відеоматеріали..... 186
Відповіді до завдань рубрики «Перевірте себе»..... 188

НОВА УКРАЇНСЬКА ШКОЛА

8 клас

Фізика

Чому? Як? Навіщо?

а|кадемія

academia-pc.com.ua