

ВИДАВНИЦТВО
РАНОК

$$c_{\text{тіла}} = \frac{c_{\text{води}} m_{\text{води}} (t - t_1)}{m_{\text{тіла}} (t_{\text{тіла}} - t)}$$



Інтернет-
підтримка

$$Q = cm\Delta t$$

ФІЗИКА

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

8

За редакцією
Бар'яхтара В. Г., Довгого С. О.

Частина 1

$$I = \frac{1}{r^2} \left(|q_1| + |q_2| \right)$$

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

КЛАС

$$Q_2^- + \dots + Q_n^- = Q_1^+ + Q_2^+ + \dots + Q_n^+$$



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

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

ІНСТРУКЦІЯ З БЕЗПЕКИ ДЛЯ УЧНІВ ПІД ЧАС ПРОВЕДЕННЯ ЗАНЯТЬ У КАБІНЕТІ ФІЗИКИ

1

Загальні положення

- 1.1. У кабінеті фізики слід суворо дотримуватися правил безпеки та правил внутрішнього розпорядку навчального закладу, установлених норм і режимів праці та відпочинку.
- 1.2. У кабінеті фізики можна перебувати тільки в присутності вчителя або лаборанта.
- 1.3. Про вихід із ладу або несправність обладнання слід негайно повідомити вчителя.

2

Вимоги безпеки в екстремальних ситуаціях

- 2.1. У разі травмування, нездужання тощо слід негайно повідомити вчителя.
- 2.2. У разі виникнення загоряння, пожежі тощо слід негайно повідомити вчителя.
- 2.3. У випадку евакуації чітко виконуйте розпорядження вчителя.

3

Вимоги безпеки перед початком роботи

- 3.1. Чітко з'ясуйте порядок і правила безпечного виконання роботи.
- 3.2. Звільніть робоче місце від усіх не потрібних для роботи предметів і матеріалів.
- 3.3. Починайте роботу тільки з дозволу вчителя.
- 3.4. Виконуйте тільки ті завдання, які передбачені в роботі або доручені вчителем.

Вимоги безпеки під час роботи

- 4.1. Працюйте лише на своєму робочому місці.
- 4.2. Розміщуйте обладнання так, щоб запобігти його падінню або перекиданню.
- 4.3. Під час проведення дослідів не допускайте граничних навантажень вимірювальних приладів.
- 4.4. Стежте за справністю всіх кріплень у приладах і пристроях. Не торкайтесь обертових частин машин і не нахилийтеся над ними.
- 4.5. Користуйтеся провідниками з клемми й запобіжними чохлами з міцною ізоляцією та без видимих пошкоджень.
- 4.6. Без дозволу вчителя не вмикайте електричне обладнання; самостійно не усувайте несправності електромережі й електрообладнання.
- 4.7. Джерело струму вмикайте в електричне коло в останню чергу. Складене коло вмикайте тільки з дозволу вчителя.
- 4.8. Не торкайтесь елементів кола, що не мають ізоляції й перебувають під напругою. Користуйтеся інструментами із заізольованими ручками.
- 4.9. Виявивши несправність в електричному обладнанні, яке перебуває під напругою, негайно повідомте вчителя.

Вимоги безпеки після закінчення роботи

- 5.1. Після роботи приберіть робоче місце.
- 5.2. Електричне коло розбирайте тільки після вимкнення джерела електроживлення.
- 5.3. Не залишайте робоче місце без дозволу вчителя.

ФІЗИКА

8

КЛАС

ПІДРУЧНИК
для осіб з особливими
освітніми потребами

(Н 54.1 — Н 54.2)

8 КЛАС
(у 2-х частинах)

За редакцією
Бар'яхтара В. Г., Довгого С. О.

ЧАСТИНА 1

Рекомендовано
Міністерством освіти і науки України

Харків
Видавництво «Ранок»
2021

УДК 376:53(075.3)
Ф50

Авторський колектив:
Віктор Бар'яхтар, Станіслав Довгий, Фаїна Божинова, Олена Кірюхіна

Рекомендовано
Міністерством освіти і науки України
(наказ Міністерства освіти і науки України
від 22.02.2021 № 243)

Видано за рахунок державних коштів.
Продаж заборонено

Автори й видавництво висловлюють щирю подяку:
М. М. Кірюхіну, президенту Співки наукових і інженерних об'єднань України,
кандидату фізико-математичних наук;

І. Ю. Ненашеву, учителю-методисту, заслуженому вчителю України;
І. В. Хован, учителю фізики, кандидату педагогічних наук,
за слушні зауваження й конструктивні поради;

І. С. Чернецькому, завідувачу відділу створення навчально-тематичних систем знань
Національного центру «Мала академія наук України», кандидату педагогічних наук,
за допомогу у створенні відеороликів демонстраційних і фронтальних експериментів

*Методичний апарат підручника успішно пройшов експериментальну перевірку
в Національному центрі «Мала академія наук України»*

Ілюстрації *Володимира Хорошенка, Володимира Зюзюкіна*

Фізика : підруч. для осіб з особливими освітніми по-
Ф50 требами (Н 54.1 — Н 54.2) 8 клас (у 2-х частинах) : Ч. 1 /
[Бар'яхтар В. Г., Довгий С. О., Божинова Ф. Я., Кірюхі-
на О. О.]; за ред. Бар'яхтара В. Г., Довгого С. О. — Харків :
Вид-во «Ранок», 2021. — 192 с. : іл., фот.

ISBN 978-617-09-7345-0

УДК 376:53(075.3)



Інтернет-підтримка

ISBN 978-617-09-7350-4
ISBN 978-617-09-7345-0 (Ч. 1)

© Бар'яхтар В. Г., Довгий С. О., Божинова Ф. Я.,
Кірюхіна О. О., 2021
© Хорошенко В. Д., Зюзюкін В. В.,
ілюстрації, 2016
© Хлестун В. В., фотографії, 2016
© ТОВ Видавництво «Ранок», 2021


Дорогі друзі!

Цього навчального року ви продовжите свою подорож світом фізики. Будьте уважними й наполегливими, і тоді ви зможете зрозуміти суть викладеного матеріалу та застосувати здобуті знання в повсякденному житті.

Усі параграфи підручника завершуються рубриками «Підбиваємо підсумки», «Контрольні запитання», «Вправа».

У рубриці «Підбиваємо підсумки» подано відомості про основні поняття та явища, з якими ви ознайомилися в параграфі. Отже, ви маєте можливість іще раз звернути увагу на головне.

«Контрольні запитання» допоможуть з'ясувати, чи зрозуміли ви вивчений матеріал. Якщо ви зможете відповісти на всі запитання, то все гаразд; якщо ж ні, знову зверніться до тексту параграфа.

Рубрика «Вправа» допоможе вам навчитися застосувати отримані знання на практиці. Кожне завдання цієї рубрики позначено кольором, який відповідає рівню складності завдання (у порядку підвищення складності: ).

Серед завдань є такі, що слугують для *повторення матеріалу*, який ви вже вивчали раніше.

Довідкові дані, необхідні для виконання завдань, ви знайдете в *Додатку* наприкінці підручника.

Фізика — наука насамперед експериментальна, тому в підручнику наявні *експериментальні завдання* та *лабораторні роботи*. Обов'язково виконуйте їх — і ви будете краще розуміти фізику. Радимо опрацьовувати *завдання із «зірочкою»*, завдяки яким ви навчитесь подавати результати експериментів так, як це роблять справжні вчені (додаткову інформацію щодо визначення







абсолютної та відносної похибки результату вимірювання ви знайдете в інтернет-підтримці підручника).

Матеріали, запропоновані наприкінці кожного розділу в рубриках «Підбиваємо підсумки розділу», «Завдання для самоперевірки», допоможуть систематизувати отримані знання, будуть корисними під час повторення вивченого та в ході підготовки до контрольних робіт.

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

В інтернет-підтримці підручника ви знайдете відеоролики, що показують у дії певний фізичний дослід або процес; інформацію, яка допоможе у виконанні завдань; тренувальні тестові завдання з комп'ютерною перевіркою; матеріали «До практикумів із розв'язування задач»; деякі додаткові відомості до рубрики «Фізика і техніка в Україні».

Зверніть увагу на те, що в підручнику використано позначки, які допоможуть вам краще орієнтуватися в поданому матеріалі:

	Підбиваємо підсумки		Завдання на повторення
	Контрольні запитання		Експериментальне завдання
	Вправа		Інтернет-підтримка

Цікавої подорожі світом фізики, нехай вам щастить!

РОЗДІЛ I

ТЕПЛОВІ ЯВИЩА

- Ви багато разів спостерігали дію вітру, а тепер зможете пояснити, чому виникає вітер
- Ви неодноразово кип'ятили воду і знаєте температуру кипіння води, а тепер дізнаєтесь, як змусити воду закипіти за кімнатної температури
- Ви завжди надягаєте взимку теплі речі, а тепер з'ясуєте, чи завжди їх надягають, щоб захиститися від холоду
- Ви знаєте, що більшість автомобілів має двигун внутрішнього згоряння, а тепер зможете пояснити, як цей двигун працює і як збільшити його ККД



Частина 1. TEMПЕРАТУРА. ВНУТРІШНЯ ЕНЕРГІЯ. ТЕПЛОПЕРЕДАЧА



§ 1. TEMПЕРАТУРА ТА ЇЇ ВИМІРЮВАННЯ

Для всіх змалку є звичними слова: гаряче, тепле, холодне. «Обережно, чашка гаряча, обпечешся», «Сніг холодний, не знімай рукавичок, пальчики змерзнуть»,— застерігали нас дорослі. «Доведеться побути в ліжку. Температура висока», — наполягав лікар... А що ж таке температура з погляду фізики?

1. Знайомимося з поняттям «температура»

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

З'ясовуючи, *наскільки нагріті* ті чи інші тіла, ми порівнюємо їхні температури. Коли говорять: «Сьогодні надворі тепліше, ніж учора», — це означає, що температура повітря на вулиці сьогодні вища, ніж учора; фраза «Сніг на дотик холодний» означає, що температура снігу нижча від температури руки. Таким чином, на інтуїтивному рівні ми визначаємо *температуру тіла як фізичну величину, що характеризує ступінь нагрітості тіла.*

Однак, визначаючи ступінь нагрітості тіл на дотик, можна дати лише приблизну оцінку їхньої температури. Більш того, відчуття можуть нас обманювати: за тієї самої кімнатної температури металеві предмети здаються

холоднішими, ніж дерев'яні або пластмасові, гладенький папір здається холоднішим, ніж шорсткий килимок (рис. 1.1, а). І навіть одне тіло в той самий момент може мати на дотик різний ступінь нагрятості. Якщо занурити ліву руку в теплу воду, праву — в холодну, а через деякий час обидві руки помістити в посудину з водою кімнатної температури, то виникне дивне відчуття: ту саму воду ліва рука сприйме як холодну, а права — як теплу (рис. 1.1, б).

2. Вводимо поняття теплової рівноваги

Досліди показують: коли більш нагріте тіло контактує з менш нагрітим, то більш нагріте тіло завжди охолоджується, а менш нагріте — нагрівається. До того ж можуть змінюватися й інші властивості тіл: вони стають більшими або меншими за розмірами, можуть перейти в інший агрегатний стан, почати краще чи гірше проводити електричний струм та ін. Натомість *однаково нагріті тіла, контактуючи одне з одним, не змінюють*

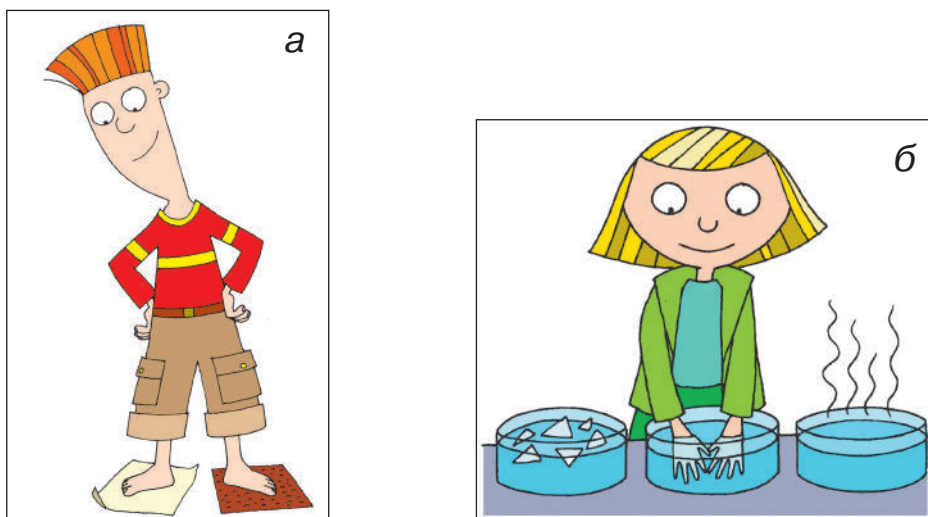


Рис. 1.1. Досліди на підтвердження суб'єктивності наших відчуттів

своїх властивостей, і тоді кажуть, що ці тіла перебувають у стані теплової рівноваги (рис. 1.2).

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

3. Дізнаємося про фізичний зміст температури

Температура тіла тісно пов'язана зі швидкістю хаотичного руху частинок речовини, з яких складається тіло (атомів, молекул, йонів). Цей рух так і називають — *тепловий*. Частинки речовини завжди рухаються, отже, завжди мають *кінетичну енергію*. Чим швидше рухаються частинки, тим вища температура тіла.

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



Рис. 1.2. Однаково нагріті тіла перебувають у стані теплової рівноваги: *а* — книжки перебувають у стані теплової рівноваги зі столом; *б* — дрова — з повітрям; *в* — іграшки — з водою

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

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

4. Вимірюємо температуру

Прилади для вимірювання температури називають **термометрами**. Дія термометрів заснована на тому, що зі зміною температури тіла змінюються певні властивості цього тіла. На рис. 1.3 подано деякі види термометрів: *а* — *металевий* (біметалева пластинка, яка з'єднана зі стрілкою термометра, вигинається в результаті нагрівання); *б* — *побутовий електронний* (зі зміною температури змінюються покази на цифровому табло); *в* — *рідинно-кристалічний* (унаслідок зміни температури змінюється колір відповідної ділянки термометра).

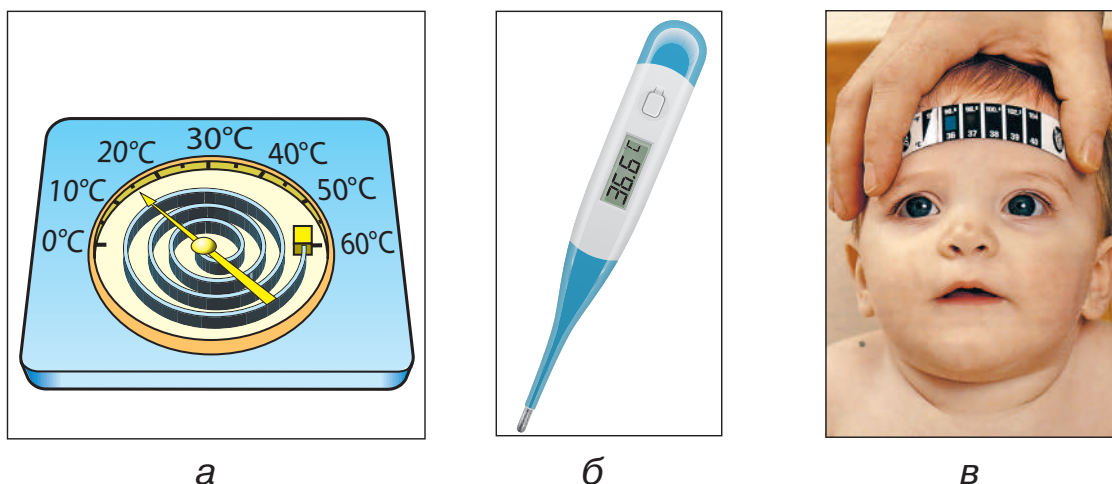


Рис. 1.3. Деякі види термометрів: металевий (а); побутовий електронний (б); рідинно-кристалічний (в);

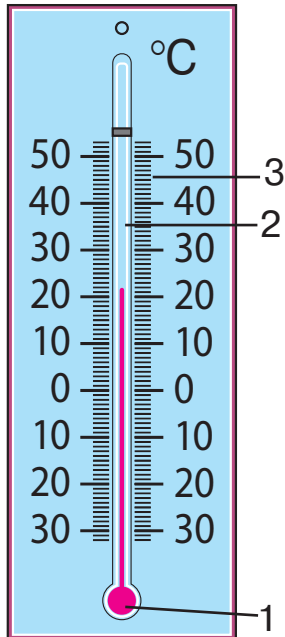


Рис. 1.4.
Рідинний
термометр

Як приклад розглянемо *рідинний термометр*, дія якого ґрунтується на розширенні рідини під час нагрівання (докладніше про це — в § 2). Найпростіший рідинний термометр (див. [рис. 1.4](#)) складається з резервуара (1), заповненого рідиною (зазвичай спиртом), довгої тонкої трубки (2), у яку виступає стовпчик рідини, і шкали (3). Об'єм рідини є мірою температури: чим вища температура тіла, тим більшим є об'єм рідини й тим вищий стовпчик рідини в термометрі.

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

0 °C — *температуру танення чистого льоду за нормального атмосферного тиску*. Резервуар майбутнього термометра опускають у лід, що тане, і, дочекавшись, коли стовпчик рідини припинить рух, навпроти поверхні рідини в стовпчику ставлять позначку 0 °C ([рис. 1.5, а](#));

100 °C — *температуру кипіння води за нормального атмосферного тиску*. Резервуар майбутнього термометра занурюють у киплячу воду і положення стовпчика рідини позначають як 100 °C ([рис. 1.5, б](#)).

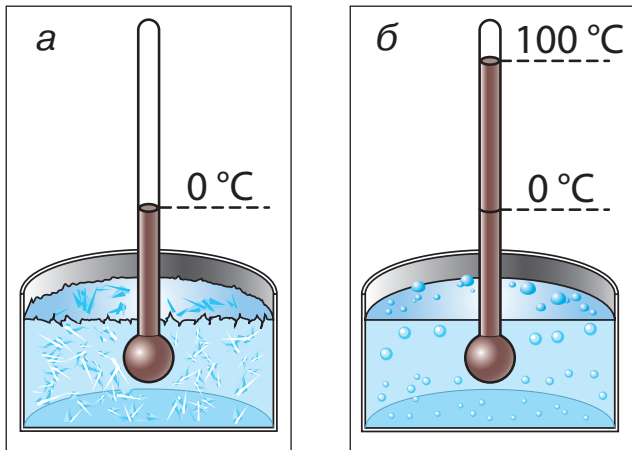


Рис. 1.5. Побудова температурної шкали Цельсія: *а* — температурі танення льоду приписують значення $0\text{ }^{\circ}\text{C}$; *б* — температурі кипіння води приписують значення $100\text{ }^{\circ}\text{C}$

Поділивши відстань між позначками 0 і $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ на сто рівних частин, отримаємо термометр, який проградуєвано за шкалою Цельсія, та одиницю температури за цією шкалою — **градус Цельсія** ($^{\circ}\text{C}$).

Температуру, виміряну за шкалою Цельсія, позначають символом t : $[t] = 1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

У СІ за основну одиницю температури взято **кельвін (К)**. Температура, виміряна за шкалою Цельсія (t), пов'язана з температурою, виміряною за шкалою Кельвіна (T), співвідношенням: $t = T - 273$.

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



Підбиваємо підсумки

Якщо в будь-який спосіб створити контакт між тілами, через деякий час їхні властивості припинять змінюватися. Тоді говорять, що тіла перебувають у стані теплової рівноваги. Фізичну величину, яка характеризує стан теплової рівноваги, називають температурою. Температура — це міра середньої кінетичної енергії руху

частинок речовини, із яких складається тіло. Прилади для вимірювання температури називають термометрами. Дія термометрів ґрунтується на тому, що зі зміною температури змінюються певні властивості тіл.



Контрольні запитання

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



Вправа № 1

1. Наведіть приклади тіл, які перебувають у стані теплової рівноваги. Обґрунтуйте свою відповідь.
2. Згадайте будову й принцип дії рідинного термометра та поясніть, що більше розширюється під час нагрівання — скло чи рідина.
3. Чому розміри термометра мають бути невеликими порівняно з розмірами тіла, температуру якого вимірюють?
4. Дізнайтеся про історію створення термометрів і різних температурних шкал (Фаренгейта, Реомюра тощо). Підготуйте коротке повідомлення.
5. Визначте ціну поділки та покази термометрів на рис. 1.3, а і рис. 1.4.



Експериментальне завдання

Проведіть дослід із водою, поданий на рис. 1.1, б. Опишіть послідовність своїх дій, зробіть висновок.



§ 2. ЗАЛЕЖНІСТЬ РОЗМІРІВ ФІЗИЧНИХ ТІЛ ВІД ТЕМПЕРАТУРИ

Улітку електричні проводи між стовпами провисають сильніше, ніж узимку, тобто влітку вони виявляються довшими. Якщо набрати повну пляшку холодної води та поставити її відкритою в тепле місце, згодом частина води з пляшки виллється. Повітряна кулька, винесена з кімнати на мороз, зменшується в об'ємі. Спробуємо розібратися, чому так.

1. Переконаємося в тепловому розширенні твердих тіл, рідин і газів

Зазвичай тверді тіла, рідини, гази під час нагрівання розширюються, а під час охолодження — стискаються.

Теплове розширення газів можна спостерігати за допомогою колби, заповненої повітрям. Шийку колби щільно закоркуємо, а в корок уставимо скляну трубку. Зануримо скляну трубку в посудину з водою. Нагріємо колбу, обхопивши її рукою, — повітря в колбі розшириться та вийде у вигляді бульбашок із трубки під водою (рис. 2.1).

Для спостереження теплового розширення рідин наповнимо колбу підфарбованою водою та закоркуємо так, щоб частина рідини потрапила у скляну трубку, розміщену в корку (рис. 2.2, а). Зафіксуємо рівень рідини

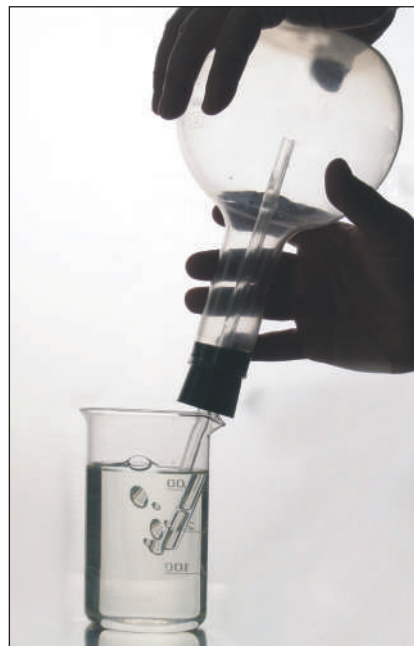


Рис. 2.1. Нагріваючись, повітря в колбі розширюється, і деяка його частина виходить із колби

в трубці й опустимо колбу в посудину з гарячою водою. Спочатку рівень води в трубці трохи знизиться (рис. 2.2, б), оскільки спочатку нагрівається й розширюється колба, а вже потім, нагріваючись, розширюється вода. Через деякий час переконаємося, що в міру нагрівання колби та води в ній рівень рідини в трубці помітно підвищується (рис. 2.2, в). Отже, рідини, як і газу, під час нагрівання розширюються.

? Поясніть принцип роботи рідинного термометра.

Теплове розширення твердих тіл можна продемонструвати за допомогою пристрою, який винайшов нідерландський фізик *Вільгельм Якоб Гравезанд* (1688–1742). Пристрій являє собою мідну кульку, яка легко проходить крізь пригнане до неї кільце. Нагріємо кульку в полум'ї спиртівки — нагріта кулька крізь кільце не проходить (рис. 2.3, а). Після охолодження кулька знову легко пройде крізь кільце (рис. 2.3, б).

? Чи пройде кулька крізь кільце, якщо нагріти не кульку, а кільце?

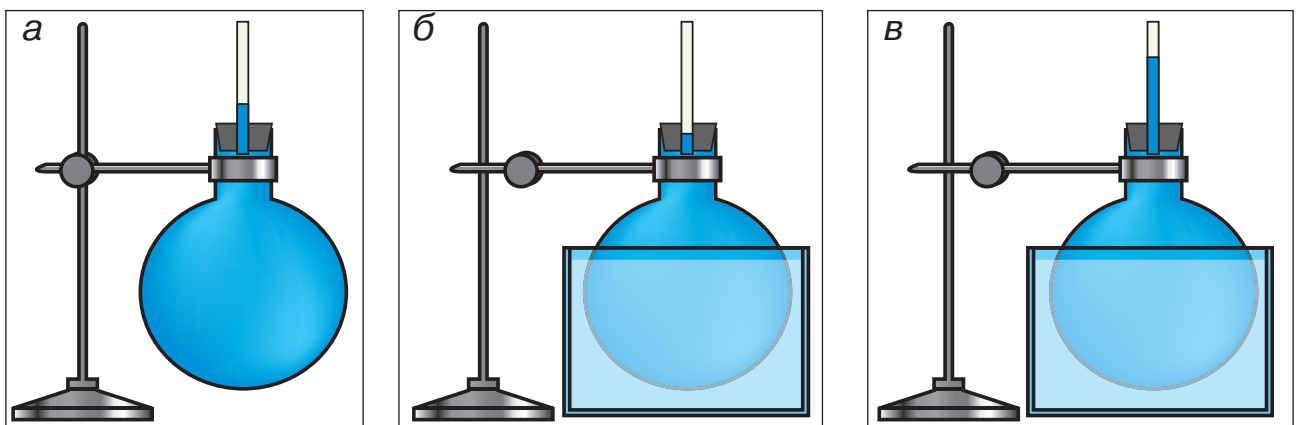


Рис. 2.2. Дослід, який демонструє, що під час нагрівання рідина розширюється

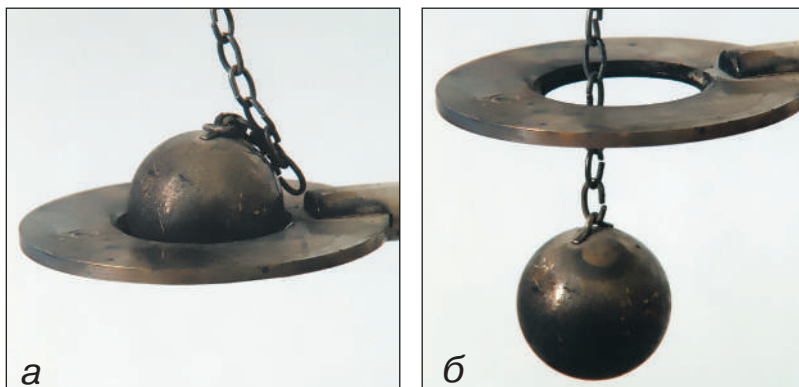


Рис. 2.3. Пристрій Гравезанда, за допомогою якого ілюструють теплове розширення твердих тіл

2. З'ясовуємо причину теплового розширення

Чому ж збільшується об'єм тіла під час нагрівання, адже кількість частинок речовини (молекул, атомів, йонів) у тілі зі збільшенням температури не змінюється?

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

3. Характеризуємо теплове розширення тіл

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

Теплове розширення тіла залежить від речовини, з якої складається тіло. Візьмемо алюмінієву трубку та виміряємо її довжину. Потім нагріємо трубку, пропускаючи крізь неї гарячу воду. Через деякий час переконаємося, що довжина трубки трохи збільшилась. Замінивши алюмінієву трубку на скляну тієї самої довжини, побачимо,

що за умови однакового збільшення температури скляна трубка видовжується менше, ніж алюмінієва.

Існують речовини, об'єм яких на певному інтервалі температур під час нагрівання зменшується, а під час охолодження — збільшується. До таких речовин належать вода, чавун і деякі інші. Вода, наприклад, під час охолодження до $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (точніше до $3,98\text{ }^{\circ}\text{C}$) стискується, як і більшість речовин. Однак починаючи з температури $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ і до замерзання ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$) вода розширюється. Завдяки цій властивості річки, моря й океани не промерзають до дна навіть у сильні морози. Адже саме за температури

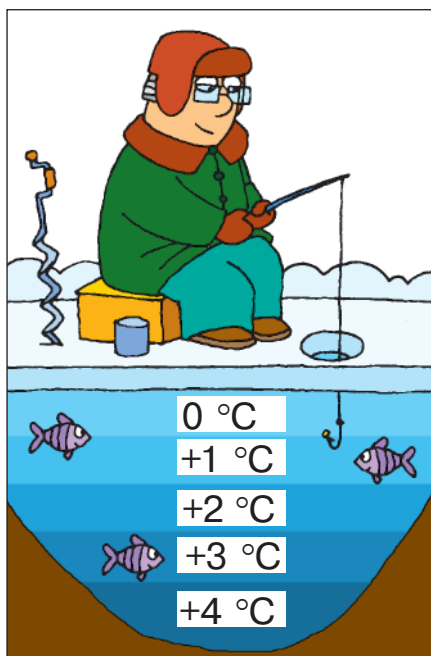


Рис. 2.4. Розподіл температур у глибокій водоймі взимку. Найвища температура води — на дні водойми, найнижча ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$) — безпосередньо під шаром льоду

$4\text{ }^{\circ}\text{C}$ вода має найбільшу густину і тому опускається на дно водойми. За температури ж $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ густина води є меншою, тому така вода залишається на поверхні й замерзає — перетворюється на лід (рис. 2.4). Оскільки густина льоду менша від густини води, лід розташовується на поверхні води та надійно захищає водойму від глибокого промерзання. Усе це має неабияке значення для життя різноманітних водоростей, риб та інших істот у водоймах.

? Який вигляд мали б водойми, якби вода під час охолодження завжди зменшувалася в об'ємі, а густина льоду була би більшою за густину води?

4. Теплове розширення у природі й техніці

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

Поверхня Землі прогрівається нерівномірно. У результаті повітря поблизу її поверхні прогрівається і розширюється теж нерівномірно — утворюються вітри, які, в свою чергу, впливають на зміну погоди і клімат. Нерівномірне прогрівання води в морях і океанах — одна з причин виникнення течій, які теж суттєво впливають на клімат. Різкі коливання температури в гірських районах викликають нерівномірні розширення та стискання гірських порід — виникають тріщини, що спричиняють руйнування гір, а отже, зміну рельєфу.

Явище теплового розширення широко використовують у техніці та побуті. Так, для автоматичного вимикання та вмикання електричних пристроїв (наприклад, чайника) використовують біметалеві пластинки. Дія таких пластинок заснована на тому, що різні метали по-різному розширюються під час нагрівання (рис. 2.5).

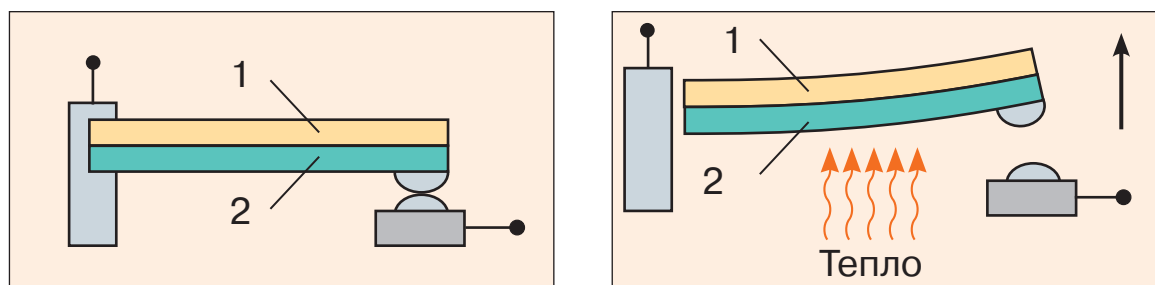


Рис. 2.5. У разі збільшення температури металева смуга 2 розширюється більше, ніж смуга 1, виготовлена з іншого металу, тому пластинка вигинається й розмикає електричне коло



Рис. 2.6. Щоб міст не руйнувався, його виготовляють з окремих секцій, з'єднаних спеціальними зчленуваннями (ряди зубців змикаються під час спеки й розходяться під час морозів)

Теплове розширення повітря допомагає рівномірно прогріти квартиру, остудити продукти в холодильнику, провітрити помешкання (чому і як це відбувається, ви дізнаєтесь із § 6).

Теплове розширення слід обов'язково брати до уваги під час будівництва мостів (рис. 2.6) і ліній електропередачі, укладання залізничних рейок, виготовлення залізобетонних конструкцій і в багатьох інших випадках.



Підбиваємо підсумки

Зазвичай тверді тіла, рідини й гази під час нагрівання розширюються, а під час охолодження стискаються. Тверді тіла та рідини розширюються набагато менше, ніж гази. Зміна розмірів тіла внаслідок зміни температури залежить від речовини, з якої складається це тіло.

Причина теплового розширення полягає в тому, що зі збільшенням температури збільшується швидкість руху частинок речовини (атомів, молекул, йонів) і в результаті збільшується середня відстань між ними.

Явище теплового розширення враховують і широко використовують у техніці й побуті. Воно відіграє дуже важливу роль у природі.



Контрольні запитання

1. Наведіть приклади та опишіть досліди на підтвердження того, що тверді тіла, рідини й гази розширюються під час нагрівання. **2.** У чому причина збільшення об'єму тіл під час нагрівання? **3.** Від чого (крім температури) залежить зміна розмірів тіл під час їх нагрівання або охолодження? **4.** Які особливості теплового розширення води? **5.** Наведіть приклади застосування теплового розширення в техніці, побуті.



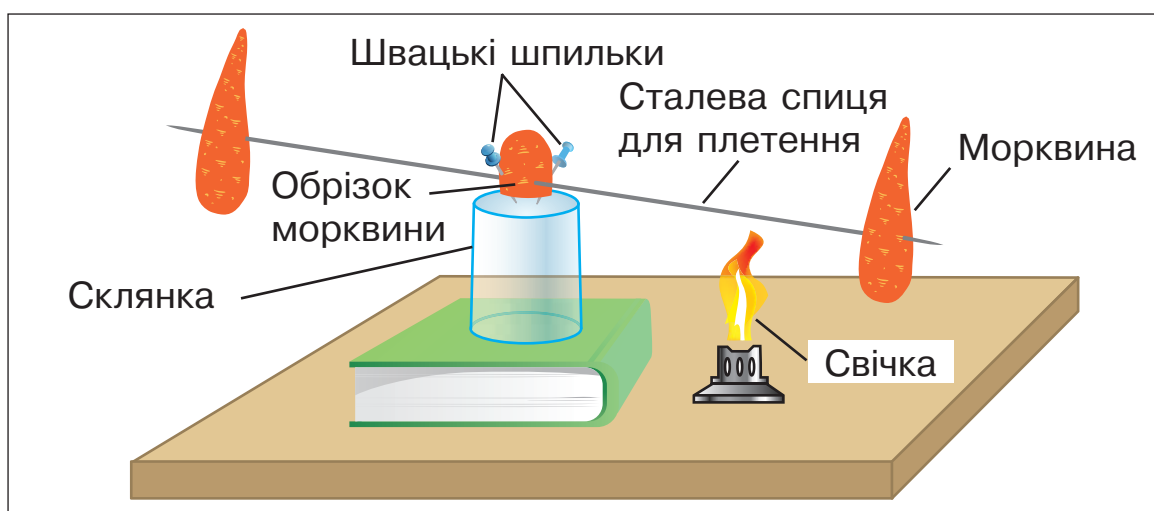
Вправа № 2

- 1.** Виберіть усі правильні закінчення речення.
Коли тіло охолоджується, то зменшується...
 - а) швидкість руху його частинок
 - б) відстань між його частинками
 - в) кількість частинок у тілі
 - г) розміри частинок тіла
- 2.** Як і чому зміниться об'єм повітряної кульки, якщо її перенести з холодного приміщення в тепле?
- 3.** Згадайте дослід із пристроєм Гравезанда. Як змінюються внаслідок нагрівання об'єм, маса, густина кульки; середня швидкість руху частинок кульки?
- 4.** Уявіть, що термометр для вимірювання температури на вулиці замість спирту заповнили водою. Чому такий термометр буде незручним?
- 5.** Чому на точних вимірювальних приладах зазначають температуру?
- 6.** Якщо в холодну скляну банку налити окріп (або налити холодну воду в гарячу банку), банка може тріснути. Чому це відбувається?



Експериментальне завдання

«Теплові терези». Виготовте «терези», які реагуватимуть на різницю температур (див. [рисунок](#)). Пересуваючи, морквини, зрівноважте терези. Розташуйте під одним із плечей «терезів» запалену свічку — через деякий час це плече опуститься; приберіть свічку — плече повернеться до початкового положення. Поясніть спостережуване явище.



Відеодослід. Перегляньте відеоролик і поясніть спостережуване явище.



ФІЗИКА І ТЕХНІКА В УКРАЇНІ

Фізико-технічний інститут низьких температур ім. Б. І. Веркіна НАН України (Харків) заснований у 1960 р. для вивчення фізичних явищ за низьких температур, зокрема для освоєння космічного простору. Завдання, поставлені перед науковцями, передбачали дослідження теплових властивостей газів, рідин і твердих тіл в умовах космосу. Досвіду таких досліджень у світі не було, тому довелося починати з методів вимірювання температури, теплопровідності, вивчення особливостей конвекції та випромінювання.

§ 3. ВНУТРІШНЯ ЕНЕРГІЯ

Що означає фраза: «Супутник увійшов в атмосферу Землі й припинив своє існування»? Адже супутник мав величезну механічну енергію — кінетичну, оскільки він рухався, і потенціальну, оскільки був високо над поверхнею Землі. Куди ж зникла ця колосальна енергія? Енергія супутника передалася частинкам повітря та супутника, тобто перейшла в енергію всередині речовин — у внутрішню енергію.

1. Внутрішня енергія

Завдяки тепловому руху *кожна частинка речовини (молекула, атом, йон) завжди має кінетичну енергію* (рис. 3.1). Зрозуміло, що кінетична енергія окремої частинки незначна, оскільки маса частинки є дуже малою. Водночас кількість частинок в тілі величезна, і тому їхня сумарна кінетична енергія є досить великою. Наприклад, сумарна кінетична енергія частинок повітря у великій шафі становить близько 400 кДж. Цієї енергії достатньо, щоб усіх учнів вашого класу підняти на висоту 25 м.

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

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

Одиниця внутрішньої енергії в СІ — джоуль (Дж).

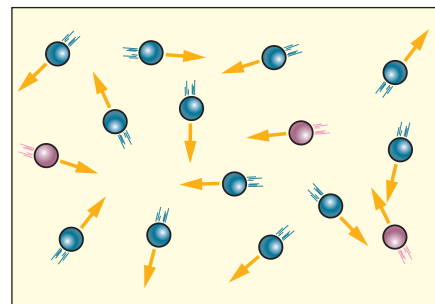


Рис. 3.1. Кожна частинка речовини безперервно хаотично рухається, завдяки чому має кінетичну енергію

2. Коли змінюється внутрішня енергія тіла

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

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

Отже, *внутрішня енергія тіла змінюється зі зміною його температури: зі збільшенням температури тіла його внутрішня енергія збільшується, а зі зменшенням температури — зменшується.*

Внутрішня енергія змінюється також зі зміною агрегатного стану речовини (рис. 3.2). Наприклад, під час плавлення речовини її внутрішня енергія збільшується, а під час кристалізації — зменшується. Докладніше про це ви дізнаєтеся наприкінці розділу І «Теплові явища».

3. Розрізняємо внутрішню і механічну енергії

Під час вивчення механіки йшлося про те, що суму кінетичної і потенціальної енергій системи тіл називають

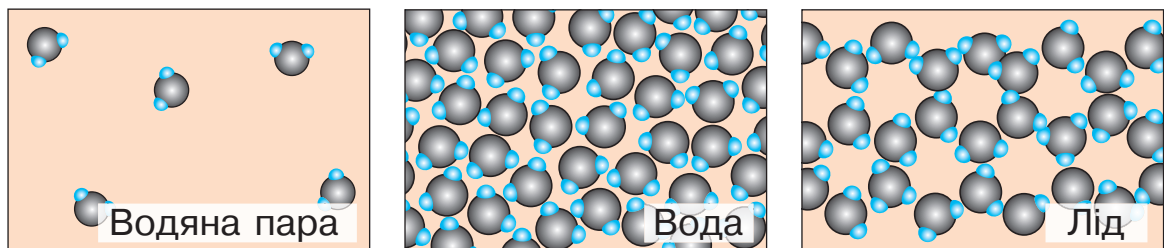


Рис. 3.2. У різних агрегатних станах розташування молекул є різним, тому є різною потенціальна енергія їхньої взаємодії

повною механічною енергією цієї системи. Дехто з вас, можливо, скаже: «То виходить, що внутрішня енергія і механічна енергія — одне й те саме!» Проте це не так.

Коли розглядають механічну енергію, то йдеться про одне або декілька тіл. А от коли розглядають внутрішню енергію, то йдеться про рух і взаємодію дуже великої кількості частинок (наприклад, в 1 г води міститься більш ніж 10^{22} молекул!). Зрозуміло, що у випадку із внутрішньою енергією не можна відстежити індивідуальні характеристики кожної частинки, тому фізики використовують тільки *середні характеристики* (про середню кінетичну енергію ви вже знаєте).

Механічна енергія залежить від руху й розташування *фізичного тіла відносно інших тіл* або *частин тіла відносно одна одної*. Натомість внутрішня енергія визначається характером руху та взаємодії *тільки частинок тіла*. Так, механічна енергія наплічника, що лежить на підлозі, стоїть на стільці або «подорожує» разом із вами шкільним коридором, є різною, а от його внутрішня енергія за незмінної температури буде однаковою (рис. 3.3).

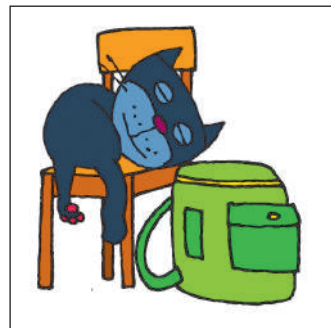


Рис. 3.3. У поданих випадках механічна енергія наплічника є різною, а внутрішня енергія — однаковою



Підбиваємо підсумки

Будь-яке фізичне тіло має внутрішню енергію. Внутрішня енергія тіла — це сума кінетичних енергій усіх частинок, з яких складається тіло, і потенціальних енергій їхньої взаємодії. Внутрішня енергія тіла змінюється зі зміною його температури та в процесі зміни агрегатного стану речовини, з якої це тіло складається.



Контрольні запитання

1. Чому частинки речовини мають потенціальну енергію? завжди мають кінетичну енергію? **2.** Що називають внутрішньою енергією тіла? Від чого вона залежить? **3.** Поки лід плавиться, його температура не змінюється. Чи змінюється при цьому внутрішня енергія льоду? **4.** Чи може тіло мати внутрішню енергію, але не мати при цьому механічної енергії?



Вправа № 3

- 1.** Якщо підняти камінь, то потенціальна енергія каменя, а отже, кожної його частинки збільшується. Чи означає це, що внутрішня енергія каменя також збільшується? Обґрунтуйте свою відповідь.
- 2.** Як під час руху м'яча вгору змінюються його внутрішня та механічна енергії? Опір повітря не враховуйте.
- 3.** Як змінюються внутрішня й механічна енергії пляшки з водою у вашому наплічнику, коли ви в холоднечу заходите з вулиці в теплий будинок? піднімаєтеся сходами? прискорюєте рух шкільним коридором?
- 4.** Металеву кульку підвісили на мотузці й нагріли. Як змінилися внутрішня та механічна енергії кульки?

5. Установіть відповідність між механічною енергією та формулою для її визначення.



- | | |
|---------------------------------------|----------------------|
| 1 Кінетична енергія | A mgh |
| 2 Потенціальна енергія піднятого тіла | Б Fl |
| 3 Повна механічна енергія | В $E_k + E_p$ |
| | Г $mv^2/2$ |



§ 4. СПОСОБИ ЗМІНИ ВНУТРІШНЬОЇ ЕНЕРГІЇ

Згадайте, як діти повертаються до школи після гри в сніжки. Хтось енергійно тре руки, хтось тулить їх до теплої батареї. Для чого діти це роблять? Щоб зігріти змерзлі руки! А чим відрізняються способи нагрівання за допомогою тертя та через контакт із тілом, яке має вищу температуру?

1. Знайомимосся з процесом теплопередачі

Якщо вимкнути з розетки гарячу праску, за якийсь час вона охолоне (рис. 4.1); занурена в гарячий чай ложка обов'язково нагріється. У кожному із цих прикладів змінюється температура тіл, отже, змінюється їхня внутрішня енергія. Водночас над цими тілами не виконується робота й самі тіла також ніякої роботи не виконують. У таких випадках кажуть про *передачу тепла*.

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

Рис. 4.1. Вимкнена гаряча праска холодне — передає енергію навколишньому середовищу, доки не встановиться теплова рівновага



Для кількісної характеристики теплопередачі використовують поняття *кількість теплоти*.

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

Кількість теплоти позначають символом Q . *Одиниця кількості теплоти в СІ — джоуль (Дж): $[Q] = 1 \text{ Дж}$.*

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

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

Чим більшою є різниця температур, тим швидше за інших рівних умов здійснюється передача тепла. Теплопередача триватиме, доки температури тіл не стануть однаковими, тобто доки між тілами не встановиться *теплова рівновага*.

2. Змінюємо внутрішню енергію, виконуючи роботу

Численні спостереження й експерименти переконують: *навіть у разі відсутності теплообміну внутрішня енергія тіла може збільшуватись, якщо над тілом **виконується робота***. Першим це довів англійський фізик Бенджамін Томпсон (граф Румфорд) (1753–1814). Учений експериментально показав, що теплота — це енергія, яку можна одержати за рахунок виконання роботи (рис. 4.2).

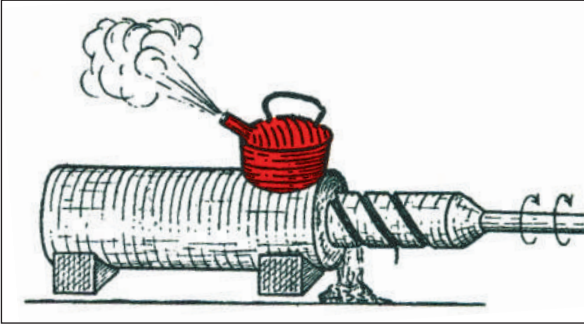


Рис. 4.2. Схема експерименту Румфорда: вода в казані, поставленому на заготовку гарматного дула, закипає під час свердління дула

Наведемо ще кілька прикладів. Робота сил тертя шин автомобіля об дорожнє покриття спричиняє збільшення внутрішньої енергії шин та покриття дороги. Довказ цього — їхнє нагрівання під час руху автомобіля. Так само, якщо інтенсивно терти долоні одну об одну, їхня внутрішня енергія збільшується (рис. 4.3). З описаним явищем маємо справу й у техніці. Наприклад, у процесі оброблення металевих деталей через роботу сил тертя помітно зростає температура як самого інструмента (свердла, різця тощо), так і деталі, яку обробляють.

? Поясніть, чому закипає вода в казані на рис. 4.2.

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

Проведемо дослід. Візьмемо товстостінну скляну посудину, дно якої вкрите шаром води. Вода випаровується, і в посудині буде водяна пара. Закоркуємо посудину і через корок пропустимо трубку. Сполучимо трубку з помпою та почнемо накачувати до посудини повітря.

За деякий час корок вилетить, при цьому в посудині з'явиться туман — дрібні краплинки води, що утворилися з водяної пари (рис. 4.4). Поява туману відбувається в разі зниження температури. Отже, температура повітря в посудині зменшилася, відповідно зменшилася

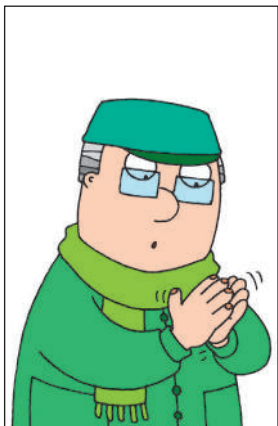


Рис. 4.3. Внутрішня енергія долоней збільшується внаслідок виконання роботи



Рис. 4.4. Повітря виконує роботу, і його внутрішня енергія зменшується

внутрішня енергія повітря. Таким чином, повітря виконало механічну роботу (виштовхнуло корок) за рахунок власної внутрішньої енергії. *Якщо тіло саме виконує роботу, то його внутрішня енергія зменшується.*



Підбиваємо підсумки

Існують два способи зміни внутрішньої енергії тіла: виконання роботи й теплопередача. Процес зміни внутрішньої енергії тіла без виконання роботи називають теплопередачею. Енергія в процесі теплопередачі може самовільно передаватися тільки від тіла з більшою температурою до тіла з меншою температурою.

Кількість теплоти Q — це фізична величина, що дорівнює енергії, яку тіло одержує або віддає під час теплопередачі. Кількість теплоти вимірюють у джоулях (Дж).

Якщо за відсутності теплообміну над тілом виконують роботу, внутрішня енергія тіла збільшується, а якщо тіло саме виконує роботу, його внутрішня енергія зменшується.



Контрольні запитання

1. У які способи можна змінити внутрішню енергію тіла? **2.** Що називають теплопередачею? Наведіть приклади. **3.** Що таке кількість теплоти? Назвіть її одиницю в СІ. **4.** Наведіть приклади зміни внутрішньої енергії тіла, коли воно виконує роботу; коли над тілом виконують роботу.



Вправа № 4

1. Наведіть два способи запалювання сірника: а) виконанням роботи; б) теплопередачею.
2. Чому військові, що десантуються з гелікоптерів по канатах, надягають рукавички?
3. Чи є істинним твердження, що під час теплопередачі енергія завжди передається від тіла з більшою внутрішньою енергією до тіла з меншою внутрішньою енергією? Свою відповідь обґрунтуйте.
4. Наведіть приклади зміни внутрішньої енергії тіла, коли водночас виконується робота та відбувається теплопередача. Чи може в таких випадках внутрішня енергія залишитися незмінною?
5. Дізнайтеся про позасистемну одиницю кількості теплоти. Де її зараз використовують?



Експериментальне завдання

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



§ 5. ТЕПЛОПРОВІДНІСТЬ

Як зробити, щоб морозиво в літню спеку швидко не розтануло, якщо поблизу немає холодильника? У якому взутті швидше змерзнуть ноги — в тому, яке щільно прилягає до ноги, чи в просторому? Зясуємо.

1. Знайомимося з механізмом теплопровідності

Проведемо дослід. Закріпимо в лапці штатива мідний стрижень. Уздовж стрижня воском прикріпимо канцелярські кнопки. Почнемо нагрівати вільний кінець стрижня в полум'ї пальника. Через деякий час кнопки по черзі падатимуть на стіл (рис. 5.1). Щоб пояснити результати досліду, скористаємося молекулярно-кінетичною теорією.

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

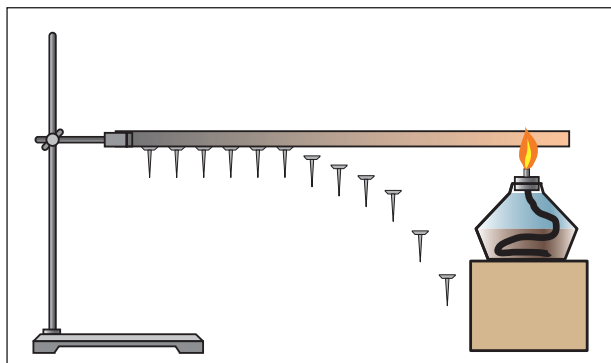


Рис. 5.1. Дослід, який демонструє теплопровідність металів

одна за одною відпадають від стрижня. *Зверніть увагу!* Власне речовина (мідь) не переміщується.

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

2. Переконаємося, що різні речовини мають різну теплопровідність

Ви, напевно, помічали, що одні речовини проводять тепло краще, ніж інші. Так, якщо помістити в склянку з гарячим чаєм дві чайні ложки — сталеву та мідну, то мідна нагріється набагато швидше. Це означає, що мідь краще проводить тепло, ніж сталь.

Досліди показали: найкращі провідники тепла — метали. Деревина, скло, чимало видів пластмас проводять тепло значно гірше, саме тому ми можемо, наприклад, тримати запалений сірник доти, доки полум'я не торкнеться пальців (рис. 5.2, а).

Погано проводять тепло й рідини (винятком є розплавлені метали). Покладемо на дно пробірки з водою шматочок льоду, а щоб лід не спливав, притиснемо його важком (рис. 5.2, б). Нагріватимемо верхній шар води. Через певний час вода поблизу поверхні закипить, а лід ще не розтане.

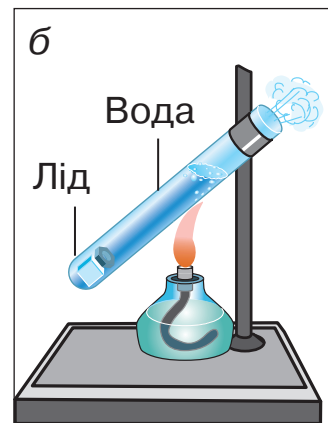
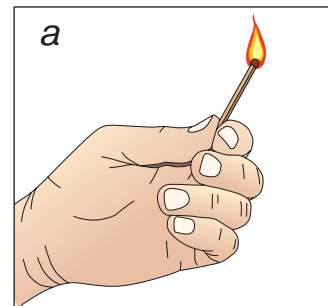


Рис. 5.2. Досліди, які ілюструють низьку теплопровідність деревини (а) та води (б)

Ще гірше за рідину проводять тепло гази. І це легко пояснити. Відстань між молекулами газів набагато більша, ніж відстань між молекулами рідин і між молекулами твердих тіл. Отже, зіткнення частинок і, відповідно, передавання енергії від однієї частинки до іншої відбуваються рідше.

Скловолокло, вата, хутро дуже погано проводять тепло, оскільки, по-перше, між їхніми волокнами є повітря, по-друге, ці волокна погано проводять тепло самі по собі.

? Розгляньте рис. 5.3, 5.4. Поясніть, чому окремі деталі кухонного начиння виготовлені з різних матеріалів. Чому будинки будують з деревини або цегли? Чому підкладки курток заповнюють пухом?

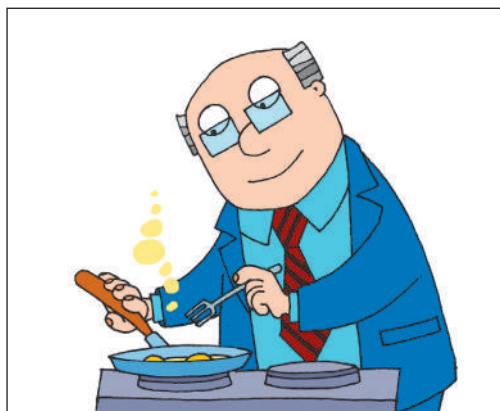


Рис. 5.3. Де потрібно швидко передати тепло, застосовують речовини з високою теплопровідністю

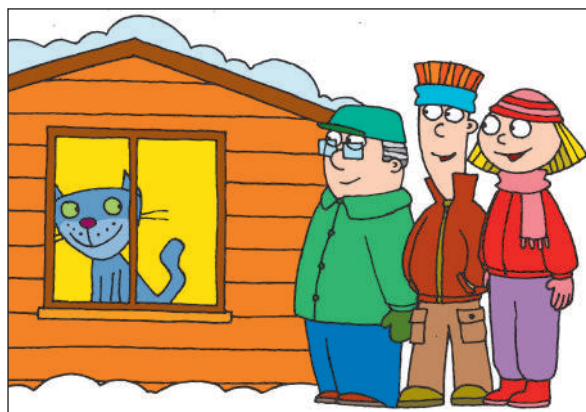


Рис. 5.4. Щоб зменшити охолодження тіл (або зменшити їх нагрівання), застосовують речовини з низькою теплопровідністю

3. Теплопровідність у природі, в житті людини

Ви знаєте, що тварини навесні та восени линяють. Навесні хутро тварин стає коротшим і менш густим, восени ж, навпаки, — довшає та густішає. Вовна, хутро, пух

погано проводять тепло й надійно захищають тіла тварин від охолодження. Тварини, що живуть або полюють у холодних морях, мають під шкірою товстий жировий прошарок, який завдяки слабкій теплопровідності дозволяє їм тривалий час перебувати у воді без переохолодження.

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

Людина в різних сферах діяльності застосовує ті чи інші речовини, зважаючи на їхню теплопровідність. Речовини з кращою теплопровідністю застосовують там, де потрібно швидко передати тепло. Наприклад, каструлі, сковорідки, батареї опалення тощо виготовляють із металів. Там, де потрібно запобігти нагріванню або охолодженню тіл, застосовують речовини, що погано проводять тепло. Наприклад, дерев'яна ручка джезви дозволить налити каву, не використовуючи рукавичок, а у водогінних трубах, які прокладено глибоко під землею, вода не замерзне й у сильні холоди і т. д.



Підбиваємо підсумки

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

Різні речовини та речовини в різних агрегатних станах по-різному проводять тепло. Одними з найкращих теплопровідників є метали, найгіршими — газы. Люди широко використовують у своїй життєдіяльності здатність речовин по-різному проводити тепло.



Контрольні запитання

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



Вправа № 5

- 1.** Чому з точки зору фізики вираз «шуба гріє» є неправильним?
- 2.** Чому подвійні рами сприяють кращій теплоізоляції?
- 3.** Чому під соломою сніг довго не тане?
- 4.** Чому безсніжними зимами озимина потерпає від морозів?
- 5.** За кімнатної температури металеві предмети на дотик здаються холоднішими, ніж дерев'яні. Чому? За якої умови вони здаватимуться теплішими, ніж дерев'яні? однаковими з ними за температурою?
- 6.** Повітряна куля перебуває на певній висоті. Як поводитиметься куля, якщо температуру повітря всередині кулі збільшити? зменшити?



Експериментальне завдання

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

i ФІЗИКА І ТЕХНІКА В УКРАЇНІ

Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАН України (Київ) — один із найбільших науково-технічних матеріалознавчих центрів Європи. В інституті створено нові напрями сучасного матеріалознавства: синтез великих надміцних кристалів алмазу, одержання алмазних і алмазоподібних плівок і покриттів з особливими властивостями, високотемпературна кераміка, комп'ютерне матеріалознавство.

i § 6. КОНВЕКЦІЯ

Спекотний літній полудень, берег моря. Вода на поверхні тепла, а її нижні шари прохолодні. Від води віє легкий вітерець. А чому виникає цей вітерець, адже трохи далі від води дерева навіть не ворохнуться? І чому нагрівся тільки верхній шар води, адже сонце пече вже досить довго?

1. Спостерігаємо конвекцію в рідинах і газах

Ви вже знаєте, що гази й рідини погано проводять тепло. А чому ж тоді нагрівається повітря в кімнаті від радіаторів водяного опалення? Чому нагрівається вода в каструлі, яку поставлено на ввімкнену плиту? Чому охолоджується напій, якщо в нього покласти кубик льоду? Щоб відповісти на ці запитання, звернемося до дослідів.

Круглодонну колбу наповнимо на три чверті водою й закріпимо в лапці штатива. Скляною паличкою покладемо на дно колби кілька дрібок акварельної фарби. Потім нагріватимемо колбу знизу. Через деякий час із дна колби почнуть підніматися забарвлені струминки води. Досягши верхніх шарів води, струминки спустатимуться

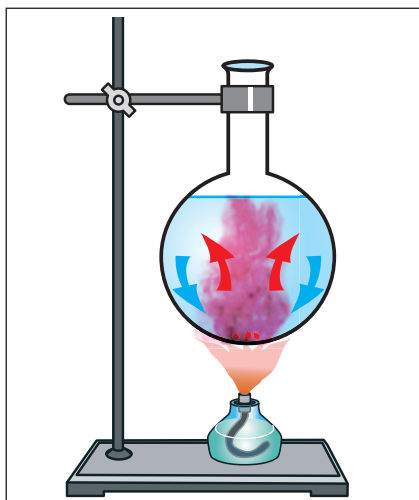


Рис. 6.1. Дослід, який демонструє конвекцію в рідині



Рис. 6.2. Висхідні потоки гарячого повітря обертають металеву вертушку

вздовж холодніших боків колби (рис. 6.1); далі процес повториться. У результаті відбудеться природне перемішування нагрітих і ненагрітих частин рідини.

Аналогічний процес може бути й в газах. Щоб у цьому переконатися, достатньо потримати долоню над гарячою електроплитою або ввімкненою електричною лампою розжарення. Потоки гарячого повітря, що піднімаються, навіть можуть обертати легку вертушку (рис. 6.2).

У наведених прикладах спостерігаємо ще один вид теплопередачі — *конвекцію*.

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

Зверніть увагу: *конвекція не може відбуватись у твердих тілах*, оскільки в твердих тілах не можуть виникнути потоки речовини.

2. Знайомимося з механізмом конвекції

З'ясуємо причини виникнення *природної конвекції*. Для цього подумки виділимо невеликий об'єм рідини в посудині, яка розміщена над пальником (див. [рис. 6.3](#)).

Ви знаєте: на будь-яке тіло всередині рідини (або газу) діють сила тяжіння й архімедова (виштовхувальна) сила. Ці сили діють і на будь-який невеликий об'єм власне рідини. У разі підвищення температури рідина розширюється, її густина зменшується й архімедова сила, що діє на виділений об'єм рідини, стає більшою за силу тяжіння. Унаслідок цього нагріта рідина (яка має меншу густину) спливає, а холодна рідина (яка має більшу густину) опускається. Аналогічні міркування справджуються й для газів.

Коли природне перемішування шарів рідини або газу є неможливим або недостатнім, вдаються до їх штучного перемішування — *примусової конвекції* ([рис. 6.4](#)). Примусове перемішування повітря здійснюють, наприклад, у космічному кораблі, в умовах невагомості, де не діє архімедова сила.

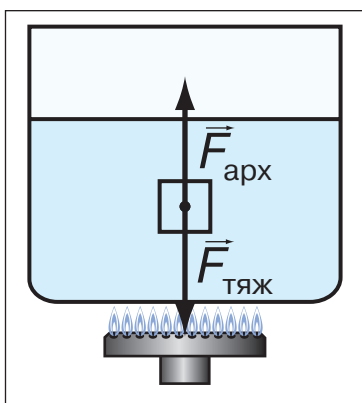


Рис. 6.3. На будь-який невеликий об'єм рідини діють сила тяжіння й архімедова сила



Рис. 6.4. Для рівномірного прогрівання каші господиня вдається до примусової конвекції

3. Спостерігаємо й використовуємо конвекцію

Природна конвекція має дуже велике значення в природі й широко застосовується людиною. З курсу географії вам відомо, що одним із чинників, які впливають на клімат Землі, є вітри. А чи знаєте ви, що однією з основних причин появи вітрів на планеті є конвекція?

Розглянемо, наприклад, як утворюється *бриз* — вітер, що виникає поблизу берега моря чи великого озера. Удень суходіл прогрівається швидше за воду, тому температура повітря над суходолом вища, ніж над поверхнею води. Повітря над суходолом розширюється, його густина зменшується, і повітря підіймається. У результаті тиск над суходолом падає і холодне повітря з водою починає низом переміщуватися до суходолу — виникає *денний (морський) бриз* (рис. 6.5, а).

? Поясніть утворення *нічного (берегового) бризу* (рис. 6.5, б). Підказка: суходіл холодне швидше за воду.

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

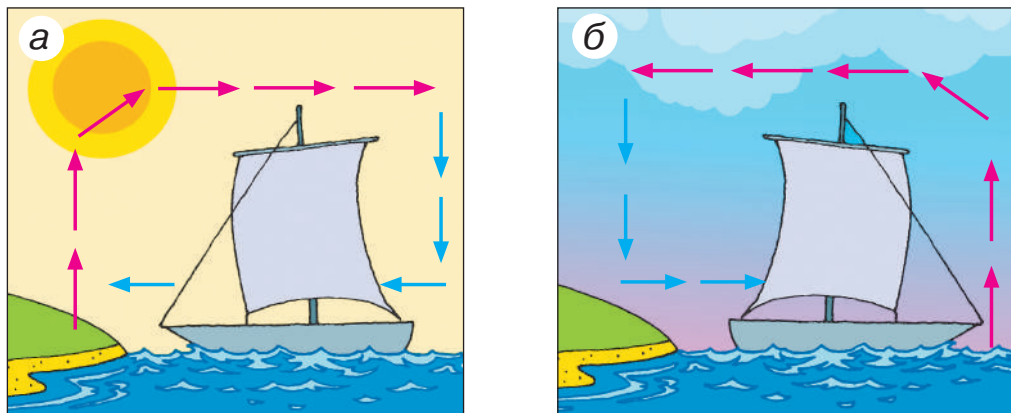


Рис. 6.5. Утворення бризів пояснюється конвекцією: а — денний (морський) бриз; б — нічний (береговий) бриз

З конвекцією ми часто маємо справу й у побуті. Так, завдяки конвекції нагріваються вода в чайнику та їжа в каструлі, відбуваються обігрівання (рис. 6.7) й охолодження помешкань. Створення тяги в печі також є проявом конвекції (рис. 6.8). Повітря в печі нагрівається і розширюється, його густина зменшується, і тепле повітря прямує вгору, у трубу. У результаті тиск повітря навколо дров і в трубі зменшується й стає меншим за тиск у кімнаті; завдяки цьому збагачене киснем холодне повітря струмує до дров.



Підбиваємо підсумки

Конвекція — це вид теплопередачі, що здійснюється шляхом перенесення енергії потоками рідини або газу. У твердих речовинах конвекція неможлива.

Розрізняють природну і примусову конвекції. Природну конвекцію можна пояснити наявністю архімедової сили та явищем теплового розширення. Теплі шари рідини або газу прямують угору (вони мають меншу густину), а холодні (більшої густини) — опускаються.

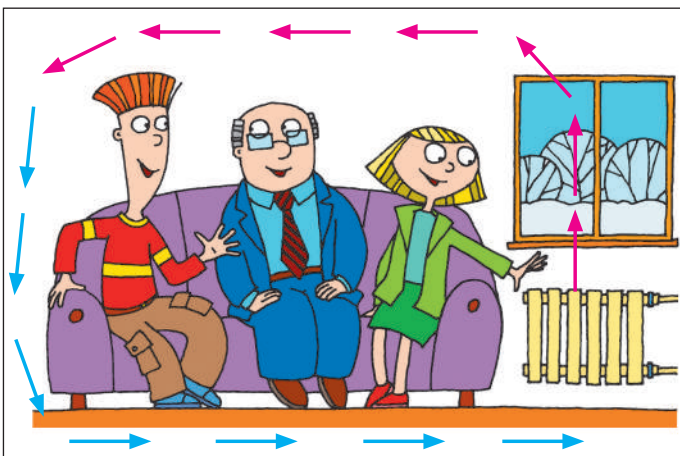


Рис. 6.7. Тепловий радіатор завдяки конвекції обігріває все приміщення

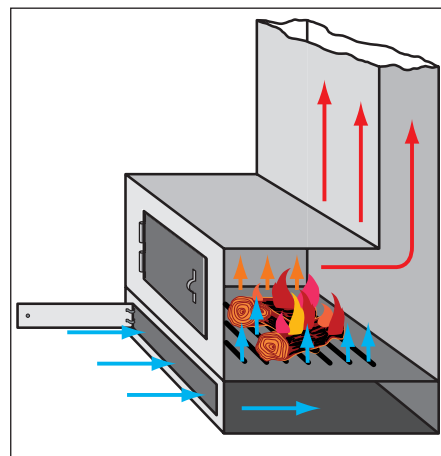


Рис. 6.8. Створення тяги в печі



Контрольні запитання

1. Що таке конвекція? **2.** Опишіть дослід, який демонструє конвекцію в рідині. **3.** Чим відрізняється конвекція від теплопровідності? **4.** Назвіть причини виникнення природної конвекції. **5.** Чи можлива конвекція в твердих речовинах? **6.** Що називають примусовою конвекцією? **7.** Наведіть приклади проявів конвекції в природі та в житті людини.



Вправа № 6

- 1.** Чому язики полум'я підіймаються?
- 2.** Чому влітку вода в річці на глибині холодніша, ніж на поверхні?
- 3.** Де краще розмістити посудину з водою, щоб швидше її нагріти: над нагрівником, під нагрівником чи збоку від нього? Де краще розмістити балон із водою, щоб швидше охолодити в ньому воду за допомогою льоду: на льоду, під льодом чи поряд із ним? Відповіді аргументуйте.
- 4.** Чому не падають хмари? Чому град зазвичай випадає влітку, спекотного дня?
- 5.** Дізнайтеся, як застосовують явище конвекції в техніці. Підготуйте коротку презентацію.
- 6.** У рідинному манометрі, ліве коліно якого відкрите в атмосферу, міститься вода (рис. 1). Який тиск більший — атмосферний чи тиск у балоні? На скільки більший?

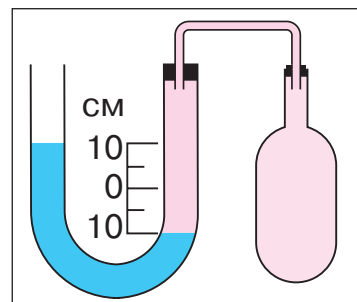


Рис. 1



Експериментальні завдання

1. Під наглядом дорослих запаліть свічку та дослідіть напрямок конвекційних потоків уздовж прочинених дверей. Для цього повільно пересувайте запалену свічку вздовж дверного отвору — зверху вниз. Поясніть результати спостереження.
2. Виріжте з паперу квадрат, зігніть його по середніх лініях і знову розправте. Закріпіть на гумці швацьку голку вістрям догори й покладіть на вістря підготований аркушик (див. [рис. 2](#)). Повільно наблизьте до аркушика долоню. Він почне обертатися. Покажіть фокус друзям і поясніть явище. (Підказка: температура долоні не скрізь однакова.)

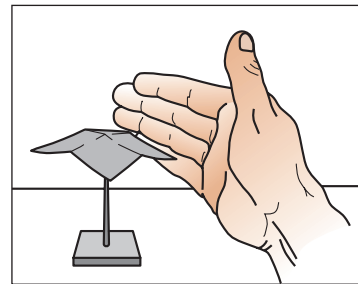


Рис. 2



§ 7. ВИПРОМІНЮВАННЯ

Основа нашого життя — обмін енергією. Здебільшого енергія потрапляє на Землю від Сонця. Листя, що розпускається навесні під сонячним промінням, вітри й течії, які виникають унаслідок різниці температур прогрітих Сонцем ділянок Землі, «використовують» сонячну енергію сьогодення. А такі джерела теплової енергії, як нафта, газ, вугілля, «виросли» під сонячними променями глибокої давнини. А як енергія від Сонця потрапляє на Землю?

1. Ознайомлюємося з випромінюванням

Тож як енергія від Сонця потрапляє на Землю? Адже між цими космічними об'єктами практично немає молекул, тобто ані про теплопровідність, ані про конвекцію не може бути й мови.

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

Ми *спостерігаємо*, що язика полум'я піднімаються (якщо це багаття) чи спрямовуються в трубу (якщо це піч або камін), отже, туди ж рухається й тепле повітря. Звідси перший висновок: стоячи біля вогню, ми отримуємо енергію *не* завдяки конвекції (рис. 7.1).

Зробимо *припущення*: можливо, енергія передається завдяки теплопровідності. Щоб перевірити це припущення, помістимо біля вогню лист металу (рис. 7.2, а). Він надійно захистить від жару незважаючи на те, що метал добре проводить тепло. А от прозоре скло (рис. 7.2, б), хоча воно і є гарним теплоізолятором, захищає від жару гірше, ніж непрозорий метал. Робимо другий висновок: тепло від відкритого вогню передається *не тільки* завдяки теплопровідності.

Отже, маємо справу ще з одним видом теплопередачі. Його називають *випромінюванням*.

Випромінювання — це вид теплопередачі, в ході якого енергія передається за допомогою променів (електромагнітних хвиль).



Рис. 7.1. Стоячи біля багаття, ми одержуємо енергію *не* в результаті конвекції

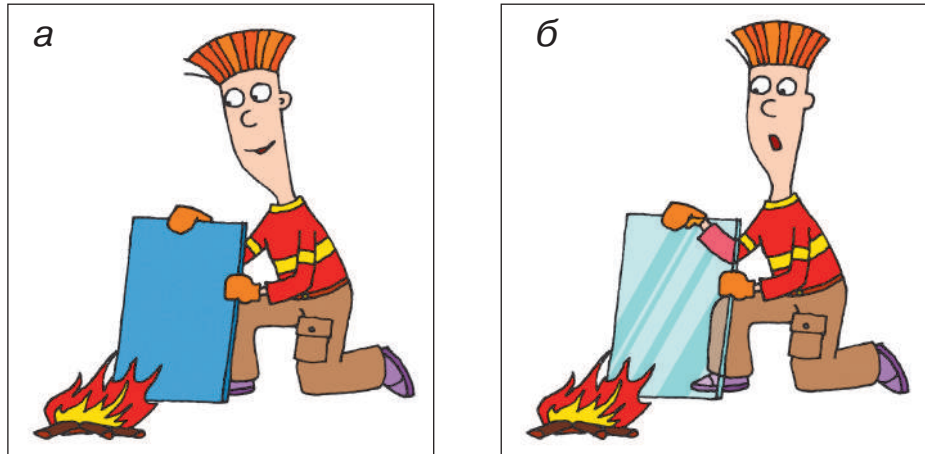


Рис. 7.2. Метал, який добре проводить тепло, краще захищає від гарячого полум'я, ніж скло, що є поганим теплопровідником

2. Особливості теплового випромінювання

Електромагнітні хвилі поширюються навіть у вакуумі, тому випромінювання відрізняється від інших видів теплопередачі тим, що енергія може передаватися через простір, у якому відсутня речовина. Наприклад, енергія від Сонця до Землі й інших планет передається тільки завдяки випромінюванню. Однак неправильно вважати, що випромінювання відіграє важливу роль тільки в космосі. *Випромінювання — це універсальний вид теплопередачі, воно відбувається між усіма тілами.*

? Згадайте, в якому одязі — світлому чи темному — ви краще почуваетесь у літню спеку. Яка поверхня — світла чи темна — сильніше нагрівається сонцем? Поміркуйте, як залежить від кольору тіла його здатність поглинати теплове випромінювання.

Щоб перевірити правильність ваших відповідей, скористаємося *теплоприймачем* (рис. 7.3). Закріпимо його в муфті штатива та сполучимо з рідинним манометром.

До темної поверхні теплоприймача піднесемо гарячу електричну праску (рис. 7.4, а). Рівень рідини в коліні манометра, сполученому з теплоприймачем, знизиться. Це означає, що повітря в коробочці нагрілось і його тиск збільшився. Повернемо теплоприймач до праски білою поверхнею — у цьому випадку різниця рівнів рідини в колінах манометра буде меншою (рис. 7.4, б), тобто повітря в теплоприймачі нагріється менше. *Тіла з темною поверхнею краще поглинають теплове (інфрачервоне) випромінювання, ніж тіла зі світлою поверхнею.*

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

Слід додати, що всі тіла за будь-якої температури обмінюються енергією завдяки випромінюванню. Тобто *будь-яке тіло водночас і випромінює, і поглинає тепло.* Якщо температура тіла більша за температуру тіл навколо, то воно випромінює енергії більше, ніж поглинає. Якщо ж тіло холодніше за навколишні тіла, то енергія, яку воно поглинає, буде більшою, ніж випромінювана.

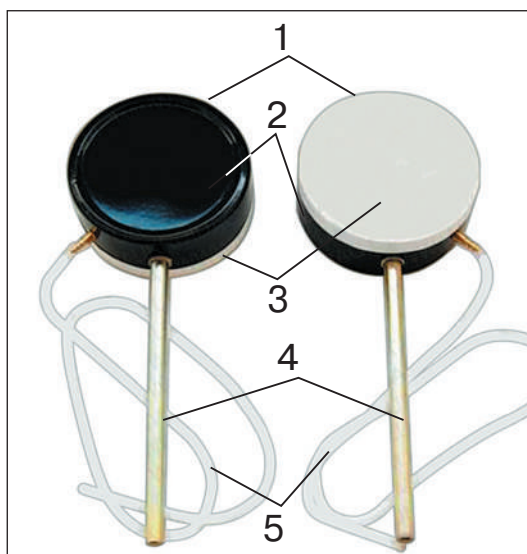


Рис. 7.3. Теплоприймач:
1 — порожня коробочка;
2 — темна (зазвичай чорна) поверхня коробочки;
3 — біла або срібляста поверхня коробочки;
4 — ручка;
5 — трубка для сполучення з рідинним манометром

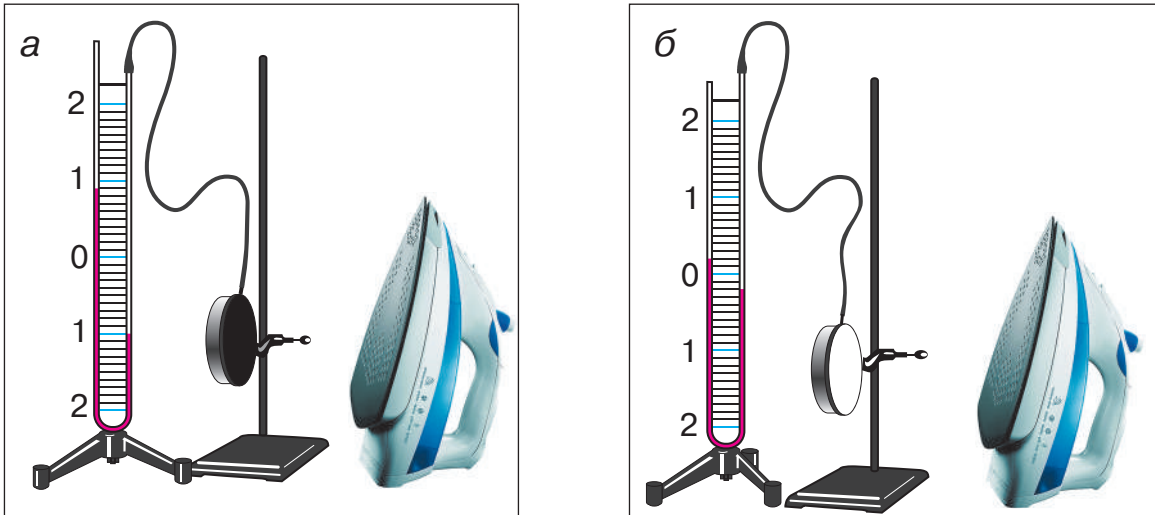


Рис. 7.4. Дослід, який демонструє, що здатність тіла поглинати енергію випромінювання залежить від кольору поверхні тіла

Отже, випромінювання, як і будь-який інший вид теплопередачі, врешті-решт веде до теплової рівноваги.



Підбиваємо підсумки

Вид теплопередачі, в ході якого енергія передається за допомогою електромагнітних хвиль, називають випромінюванням. Випромінювання — це універсальний вид теплопередачі, воно відбувається між усіма тілами (навіть коли тіла перебувають у вакуумі).

Енергія, яку випромінює і поглинає тіло, залежить від кольору його поверхні. Сильніше випромінюють і краще поглинають енергію тіла з темною поверхнею. Тіла зі світлою поверхнею, навпаки, гірше і випромінюють, і поглинають енергію.



Контрольні запитання

1. Чому енергія від Сонця до Землі не може передаватися завдяки конвекції та теплопровідності?

2. Опишіть дослід на підтвердження того, що енергія від багаття передається не тільки завдяки теплопровідності. **3.** Що таке випромінювання? **4.** Тіла якого кольору краще поглинають тепло? Опишіть дослід на підтвердження вашої відповіді. **5.** Чи існують умови, за яких тіло не випромінює і не поглинає енергію?



Вправа № 7

- 1.** Чому опалювальні батареї краще фарбувати в темний колір?
- 2.** У який колір краще фарбувати фургони рефрижераторів?
- 3.** Чому навесні забруднений сніг тоне швидше, ніж чистий?
- 4.** Узимку в неопалюваному приміщенні, вікна якого «дивляться» на південь, буває досить тепло. Коли таке може бути? Чому?
- 5.** Для чого між стінками колби в термосах відкачують повітря, а поверхню колби роблять дзеркальною?
- 6.** Атмосфера Землі прозора, тому сонячні промені проходять крізь атмосферу, майже не нагріваючи її. А завдяки чому нагрівається атмосферне повітря і від чого залежить ступінь його нагрятості?

§ 8. ПИТОМА ТЕПЛОЄМНІСТЬ РЕЧОВИНИ

На запитання: «Що швидше нагріється — 200 чи 300 грамів рідини?» — хтось швиденько відповість, що 200: зрозуміло ж бо, що 300 грамів нагріватимуться довше. І ця відповідь, можливо, буде правильною, а можливо — ні. Отже, не кваптеся з висновками, з'ясуємо все послідовно.

1. З'ясуємо, від чого залежить кількість теплоти, необхідна для нагрівання

Якщо в однакові посудини налити дві рідини масами 200 і 300 г й однаковими нагрівниками нагріти рідини від 20 до 100 °С, рідина якої маси нагріється швидше?

Поміркуємо. Є очевидним: якщо рідина та сама, то для нагрівання 300 г рідини потрібно більше часу, а отже, і більша кількість теплоти, ніж для нагрівання 200 г. Це означає, що *кількість теплоти, необхідна для нагрівання речовини, збільшується зі збільшенням маси речовини.*

Проте ми не знаємо, про які рідини йдеться в запитанні, і тому не можемо однозначно відповісти, яка з них нагріється швидше. Адже *кількість теплоти, яку необхідно передати речовині для певної зміни її температури, залежить від того, яка це речовина.* Переконаємося в цьому за допомогою досліду (рис. 8.1).

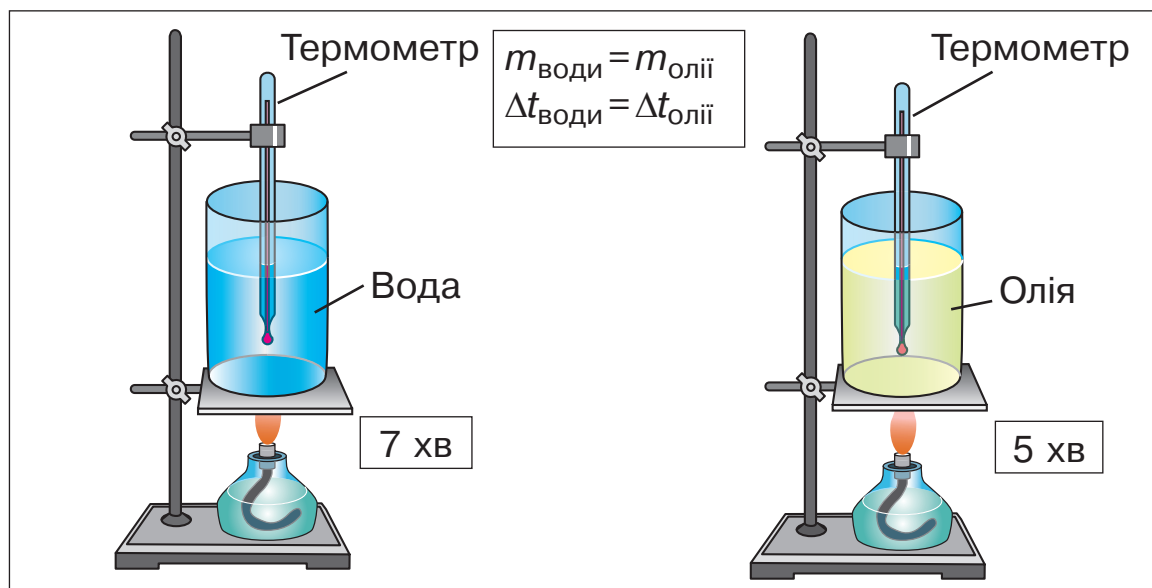



Рис. 8.1. Якщо нагрівати різні речовини однакової маси, то для однакової зміни їхньої температури потрібен різний час, тобто різна кількість теплоти

 Поміркуйте, чи однакову кількість теплоти поглине речовина певної маси під час її нагрівання від 20 до 100 °С і під час її нагрівання від 20 до 40 °С. Якщо не однакову, то в якому випадку більшу? У скільки разів більшу?

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

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

Це твердження записують формулою:

$$Q = cm\Delta t,$$

де Q — кількість теплоти; m — маса речовини; Δt — зміна температури; c — коефіцієнт пропорційності, що є характеристикою речовини і називається *питома теплоємність речовини*.

2. Визначаємо питому теплоємність речовини

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

Питому теплоємність позначають символом c і визначають за формулою:

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

Із цієї формули дістанемо *одиницю питомої теплоємності* — **джоуль на кілограм-градус Цельсія***:

$$[c] = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}.$$

Питома теплоємність показує, на скільки джоулів змінюється внутрішня енергія речовини масою 1 кг у разі зміни температури на 1 °С, якщо об'єм речовини залишається незмінним.

3. Порівнюємо питомі теплоємності різних речовин

Питомі теплоємності речовин можуть суттєво різнитися. Так, питома теплоємність золота $130 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$, що означає: під час нагрівання 1 кг золота на 1 °С воно поглинає 130 Дж теплоти, а якщо 1 кг золота охолоне на 1 °С, то при цьому виділиться 130 Дж теплоти. А от питома теплоємність соняшникової олії $1700 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$, тобто під час нагрівання 1 кг олії на 1 °С вона поглинає 1700 Дж теплоти, а в процесі охолодження 1 кг олії на 1 °С виділяється 1700 Дж теплоти.

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

* У СІ питому теплоємність вимірюють у джоулях на кілограм-кельвін; числові значення питомої теплоємності, поданої в $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ і $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{K}}$, є однаковими.

у твердому стані — $460 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$, розплавленого заліза — $830 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$. Значення питомих теплоємностей речовин визначають дослідним шляхом і заносять у таблиці (див. табл. 1 Додатка наприкінці підручника).

4. Учимось розв'язувати задачі

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

Аналіз фізичної проблеми. Скористаємося формулою, що визначає питому теплоємність речовини.

Дано:

$$m = 2 \text{ т} = 2000 \text{ кг}$$

$$t_1 = 10 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 60 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$Q = 88 \text{ МДж} = 88\,000\,000 \text{ Дж}$$

Знайти:

$$c \text{ — ?}$$

Розв'язання

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

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

Перевіримо одиницю, визначимо значення шуканої величини:

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

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

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

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



Підбиваємо підсумки

Дослідним шляхом з'ясовано, що кількість теплоти, яку поглинає тіло під час нагрівання або виділяє під час охолодження, прямо пропорційна масі цього тіла, зміні його температури та залежить від речовини, з якої це тіло виготовлене (складається): $Q = cm\Delta t$.

Питомою теплоємністю речовини називають фізичну величину, що характеризує певну речовину й дорівнює кількості теплоти, яку необхідно передати цій речовині масою 1 кг, щоб нагріти її на 1 °С.

Одиниця питомої теплоємності — джоуль на кілограм-градус Цельсія $\left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}}\right)$. Питому теплоємність можна визначити за формулою $c = \frac{Q}{m\Delta t}$ або знайти у відповідній таблиці.



Контрольні запитання

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



Вправа № 8

- Питома теплоємність срібла дорівнює $250 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}}$. Що це означає?
- Чому в системах охолодження найчастіше використовують воду?

3. Сталеву ложку масою 40 г нагріли в киплячій воді. Яка кількість теплоти пішла на нагрівання ложки, якщо її температура збільшилася від 20 до 80 °С?
4. Щоб нагріти деталь масою 250 г на 160 °С, їй було передано 20 кДж теплоти. З якого матеріалу виготовлено деталь?
5. Відомо: $c = \frac{Q}{m\Delta t}$. Чи можна сказати, що питома теплоємність залежить від маси речовини? від зміни її температури? від кількості переданої їй теплоти?
6. В алюмінієвій каструлі масою 500 г нагріли 1,5 кг води від 20 °С до кипіння. Яку кількість теплоти передано каструлі з водою?
7. На яку висоту можна підняти вантаж масою 2 т, якщо вдалося б використати всю енергію, що звільняється під час остигання 0,5 л води від 100 до 0 °С?
8. Оберіть на карті дві місцевості, розташовані на одній широті: одну біля моря, іншу — в глибині континенту. Зіставте перепади температур (день — ніч, зима — літо) у цих місцевостях. Поясніть результати.

§ 9. ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС

Закон збереження і перетворення енергії справджується для всіх процесів у природі, в тому числі для процесу теплопередачі. Математичним вираженням закону збереження енергії в процесі теплопередачі є рівняння теплового балансу. Ознайомимося з ним і навчимося застосовувати.

1. Записуємо рівняння теплового балансу

Уявіть систему тіл, яка не одержує і не віддає енергію (таку систему називають *ізолюваною*), а зменшення

або збільшення внутрішньої енергії тіл системи відбувається *лише внаслідок теплопередачі* між тілами цієї системи. Тоді на підставі закону збереження енергії можна стверджувати: *загальна кількість теплоти, яку віддають одні тіла системи, дорівнює загальній кількості теплоти, яку одержують інші тіла цієї системи.*

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

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

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

Зауважимо, що в наведеній формі рівняння теплового балансу всі доданки є модулями кількості теплоти, тобто є величинами додатними. Тому, розраховуючи кількість теплоти, яку віддає або отримує тіло, завжди будемо віднімати від більшої температури меншу.

2. Учимося розв'язувати задачі

Коли ви розв'яжете задачі на складання рівняння теплового балансу, слід пам'ятати: процес теплообміну зрештою приводить до стану теплової рівноваги, тобто через деякий час *температури всіх тіл системи стають однаковими.*

Задача. У воду масою 400 г, узятую за температури 20 °С, додали 100 г гарячої води, що має температуру 70 °С. Якою буде температура води? Вважайте, що теплообмін із довкіллям не відбувається.

Аналіз фізичної проблеми. У теплообміні беруть участь два тіла. Віддає енергію гаряча вода: її температура зменшується від $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ до кінцевої температури t . Одержує енергію холодна вода: її температура збільшується від $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до t . За умовою, теплообмін із довкіллям не відбувається, тому для розв'язання задачі можна скористатися рівнянням теплового балансу.

Дано:

$$m_1 = 400\text{ г} = 0,4\text{ кг}$$

$$t_1 = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$m_2 = 100\text{ г} = 0,1\text{ кг}$$

$$t_2 = 70\text{ }^{\circ}\text{C}$$

Знайти:

$$t \text{ — ?}$$

Розв'язання

Кількість теплоти, одержана холодною водою: $Q_1 = cm_1(t - t_1)$. (1)

Кількість теплоти, віддана гарячою водою: $Q_2 = cm_2(t_2 - t)$. (2)

Відповідно до рівняння теплового балансу: $Q_1 = Q_2$. (3)

Підставивши рівняння (1) і (2) у рівняння (3), дістанемо: $cm_1(t - t_1) = cm_2(t_2 - t) \Rightarrow m_1(t - t_1) = m_2(t_2 - t)$.

Виконавши перетворення, отримаємо:

$$m_1t - m_1t_1 = m_2t_2 - m_2t.$$

Звідси:

$$m_1t + m_2t = m_2t_2 + m_1t_1 \Rightarrow t(m_1 + m_2) = m_2t_2 + m_1t_1.$$

Остаточного маємо: $t = \frac{m_2t_2 + m_1t_1}{m_1 + m_2}$.

Визначимо значення шуканої величини:

$$[t] = \frac{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C} + \text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}}{\text{кг} + \text{кг}} = \frac{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}}{\text{кг}} = ^{\circ}\text{C}; \quad t = \frac{0,4 \cdot 20 + 0,1 \cdot 70}{0,4 + 0,1} = 30\text{ }(^{\circ}\text{C}).$$

Аналіз результату. Одержане значення кінцевої температури води ($30\text{ }^{\circ}\text{C}$) є цілком реальним: воно більше за $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ і менше від $70\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Відповідь: $t = 30\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Підбиваємо підсумки

Для будь-яких процесів, що відбуваються в природі, виконується закон збереження і перетворення енергії. Для ізольованої системи, в якій внутрішня енергія тіл змінюється тільки внаслідок теплопередачі між тілами цієї системи, закон збереження енергії можна сформулювати так: загальна кількість теплоти, віддана одними тілами системи, дорівнює загальній кількості теплоти, одержаної іншими тілами цієї системи.

Математичним вираженням закону збереження енергії в процесі теплопередачі є рівняння теплового балансу: $Q_1^- + Q_2^- + \dots + Q_n^- = Q_1^+ + Q_2^+ + \dots + Q_k^+$.



Контрольні запитання

1. Яку систему тіл називають ізольованою? **2.** Сформулюйте закон збереження енергії, на підставі якого складають рівняння теплового балансу.



Вправа № 9

Теплообміном із довкіллям знехтуйте.

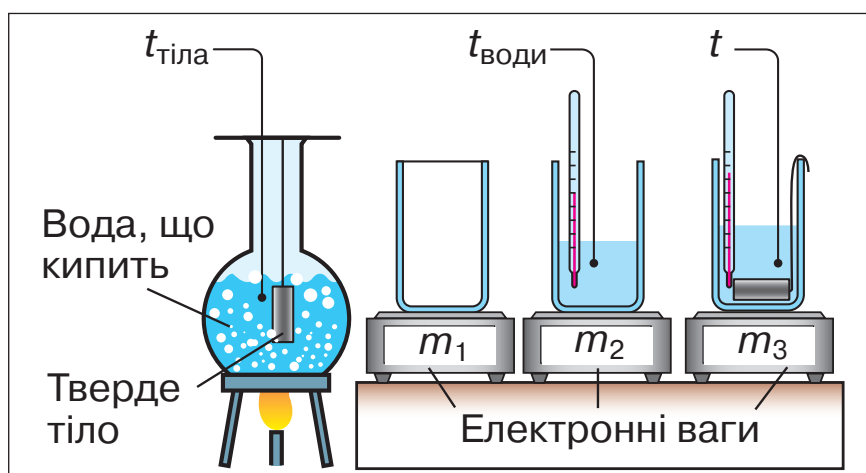
- 1.** У ванну налито 80 л води за температури 10 °С. Скільки літрів води за температури 100 °С потрібно додати у ванну, щоб температура води в ній становила 25 °С?
- 2.** У каструлю налили 2 кг води за температури 40 °С, а потім додали 4 кг води за температури 85 °С. Визначте температуру суміші.
- 3.** Нагрітий у печі сталевий брусок масою 200 г занурили у воду масою 250 г за температури 15 °С. Вода нагрілася до 25 °С. Обчисліть температуру в печі.

4. Латунна посудина масою 200 г містить 400 г води за температури 20 °С. У воду опустили 800 г срібла за температури 69 °С. У результаті вода нагрілася до 25 °С. Визначте питому теплоємність срібла.



Експериментальне завдання

Скориставшись рисунком, складіть план проведення експерименту щодо визначення питомої теплоємності речовини, з якої виготовлено тверде тіло. Якщо є необхідне обладнання, проведіть відповідний експеримент за допомогою дорослих.



ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

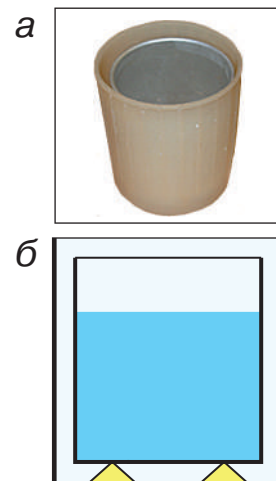
Тема. Вивчення теплового балансу за умови змішування води різної температури.

Мета: ознайомитися з будовою та принципом дії калориметра; визначити кількість теплоти, віддану гарячою водою, і кількість теплоти, одержану холодною водою, у результаті змішування води різної температури; порівняти результати.

Обладнання: мірний циліндр, термометр, калориметр, склянка з холодною водою, склянка з гарячою водою, паперові серветки, мішалка.

Теоретичні відомості

Для багатьох дослідів із вивчення теплових явищ застосовують *калориметр* — пристрій, що складається з двох посудин, які розміщені одна в одній і розділені повітряним прошарком (див. рисунок). Завдяки невеликій відстані між внутрішньою і зовнішньою посудинами, що зумовлює відсутність конвекційних потоків, а також унаслідок слабкої теплопровідності повітря теплообмін із довкіллям у калориметрі є незначним.



Найпростіший калориметр (а); принципова будова калориметра (б)

Вказівки до роботи

II Підготовка до експерименту

1. Перед тим як розпочати вимірювання:
 - а) уважно прочитайте теоретичні відомості;
 - б) згадайте, що таке стан теплової рівноваги.
2. Визначте ціну поділки шкал вимірювальних приладів.

III Експеримент

Суворо дотримуйтеся інструкції з безпеки.

Результати вимірювань відразу заносьте до таблиці.

1. Ознайомтесь із будовою калориметра.
2. Налийте в мірний циліндр 60–80 мл холодної води. Визначте її об'єм (V_1) і виміряйте її температуру (t_1).
3. Налийте в калориметр гарячої води (1/3 внутрішньої посудини калориметра) і виміряйте її температуру (t_2).

4. Не виймаючи термометр, вилийте в калориметр холодну воду з мірного циліндра і, обережно перемішуючи суміш мішалкою, стежте за показами термометра. Коли припиниться змінення температури (тобто встановиться теплова рівновага), запишіть температуру суміші (t).
5. Обережно вийміть термометр із води, протріть серветкою та покладіть у футляр.
6. Перелийте всю воду з калориметра в мірний циліндр, виміряйте загальний об'єм V води.



Опрацювання результатів експерименту

1. Визначте масу холодної води за формулою:
 $m_1 = \rho_{\text{води}} V_1$.
2. За формулою $Q_1 = c_{\text{води}} m_1 (t - t_1)$ обчисліть кількість теплоти Q_1 , одержану холодною водою.
3. Визначте об'єм V_2 і масу m_2 гарячої води:
 $V_2 = V - V_1$; $m_2 = \rho_{\text{води}} V_2$.
4. За формулою $Q_2 = c_{\text{води}} m_2 (t_2 - t)$ обчисліть кількість теплоти Q_2 , віддану гарячою водою.
5. Закінчіть заповнення таблиці.

Температура води, °С			Об'єм води, мл			Маса води, кг		Кількість теплоти, Дж	
t_1	t_2	t	V_1	V	V_2	m_1	m_2	Q_1	Q_2



Аналіз результатів експерименту

Проаналізуйте експеримент і його результати. Сформулюйте висновок, у якому: а) порівняйте кількість

теплоти, віддану гарячою водою, і кількість теплоти, одержану холодною водою; б) зазначте причину можливої розбіжності результатів.

Завдання «із зірочкою»

Оцініть відносну похибку експерименту, скориставшись формулою:

$$\varepsilon = \left| 1 - \frac{Q_1}{Q_2} \right| \cdot 100 \% .$$



ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

Тема. Визначення питомої теплоємності речовини.

Мета: визначити питому теплоємність речовини у твердому стані.

Обладнання: мірний циліндр, терези з важками, термометр, калориметр, металеве тіло з ниткою, склянка з водою кімнатної температури, електричний чайник із киплячою водою (один на клас), паперові серветки, мішалка.

Теоретичні відомості

Для визначення питомої теплоємності речовини в твердому стані можна скористатися таким методом.

Тіло нагрівають в окропі, а потім опускають у калориметр із холодною водою. Відбувається теплообмін, у якому беруть участь чотири тіла: тверде тіло віддає енергію, одержують енергію вода, калориметр і термометр. Оскільки термометр і калориметр порівняно з водою одержують незначну кількість теплоти, можемо вважати, що кількість теплоти, віддана твердим тілом, дорівнює кількості теплоти, одержаної холодною водою:

$$Q_{\text{тіла}} = Q_{\text{води}}.$$

Отже, маємо:

$$c_{\text{тіла}} m_{\text{тіла}} (t_{\text{тіла}} - t) = c_{\text{води}} m_{\text{води}} (t - t_{\text{води}}).$$

Таким чином:
$$c_{\text{тіла}} = \frac{c_{\text{води}} m_{\text{води}} (t - t_{\text{води}})}{m_{\text{тіла}} (t_{\text{тіла}} - t)},$$

де $c_{\text{тіла}}$, $c_{\text{води}}$ — питомі теплоємності речовини, з якої складається тіло, та води; $m_{\text{тіла}}$, $m_{\text{води}}$ — маси тіла й води; $t_{\text{тіла}}$ і $t_{\text{води}}$ — температури тіла й води на початку досліду; t — температура тіла й води після встановлення теплової рівноваги.

Вказівки до роботи



Підготовка до експерименту

1. Перед тим як розпочати вимірювання:
 - а) уважно прочитайте теоретичні відомості;
 - б) згадайте, що характеризує питома теплоємність речовини; одиницю питомої теплоємності.
2. Визначте ціну поділки шкал вимірювальних приладів.



Експеримент

Суворо дотримуйтесь інструкції з безпеки.

Результати вимірювань відразу заносьте до таблиці.

1. Налийте в мірний циліндр 100–150 мл води. Виміряйте об'єм води ($V_{\text{води}}$).
2. Перелийте воду з мірного циліндра в калориметр. Виміряйте початкову температуру води в калориметрі ($t_{\text{води}}$).
3. Вийміть термометр із води і покладіть на серветку. Підійдіть з калориметром до вчителя, який із чайника з киплячою водою дістане за нитку металеве тіло та покладе його у ваш калориметр.

4. Знову помістіть термометр у калориметр і, злегка перемішуючи воду мішалкою, стежте за підвищенням температури. Коли припиниться змінення температури (тобто встановиться теплова рівновага), запишіть показ термометра — кінцеву температуру води і тіла (t).
5. Вийміть термометр із води, осушіть його паперовою серветкою та покладіть у футляр.
6. Вийміть металеве тіло з води, осушіть його паперовою серветкою та зважте ($m_{\text{тіла}}$).

1	Початкова температура води $t_{\text{води}}$, °С	
2	Кінцева температура води t , °С	
3	Об'єм води $V_{\text{води}}$, м ³	
4	Маса води $m_{\text{води}}$, кг	
5	Питома теплоємність води $c_{\text{води}}$, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°С}}$	
6	Початкова температура тіла $t_{\text{тіла}}$, °С	
7	Кінцева температура тіла t , °С	
8	Маса тіла $m_{\text{тіла}}$, кг	
9	Питома теплоємність тіла $c_{\text{тіла}}$, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°С}}$	



Опрацювання результатів експерименту

1. Визначте масу води в калориметрі за формулою $m_{\text{води}} = \rho_{\text{води}} V_{\text{води}}$. Результат обчислень занесіть до таблиці.

2. Поміркуйте та заповніть рядки 5–7 таблиці.

3. Скориставшись формулою

$$c_{\text{тіла}} = \frac{c_{\text{води}} m_{\text{води}} (t - t_{\text{води}})}{m_{\text{тіла}} (t_{\text{тіла}} - t)},$$
 визначте питому теплоємність металу, з якого виготовлено тіло.

4. Закінчить заповнення таблиці.

5. Скориставшись таблицею питомих теплоємностей деяких речовин у твердому стані (див. табл. 1 Додатка), дізнайтеся, з якого металу виготовлено тіло.

■ Аналіз результатів експерименту

Проаналізуйте експеримент і його результати. Сформулюйте висновок, у якому зазначте: а) яку величину ви визначали; б) який результат отримали; в) які чинники вплинули на точність отриманого результату.

+ Творче завдання

Запропонуйте спосіб визначення питомої теплоємності рідини. Запишіть план експерименту.

* Завдання «із зірочкою»

Оцініть відносну похибку проведеного в ході лабораторної роботи експерименту, скориставшись формулою:

$$\varepsilon = \left| 1 - \frac{c_{\text{вим}}}{c_{\text{табл}}} \right| \cdot 100 \%,$$

де $c_{\text{вим}}$ — отримане значення питомої теплоємності речовини, з якої виготовлено тіло; $c_{\text{табл}}$ — табличне значення питомої теплоємності речовини.

Частина 2. ЗМІНА АГРЕГАТНОГО СТАНУ РЕЧОВИНИ. ТЕПЛОВІ ДВИГУНИ



§ 10. АГРЕГАТНИЙ СТАН РЕЧОВИНИ

Уявіть зимовий день. Завмерли дерева, укриті інеєм, а вода в гірській річці не замерзає. Надзвичайно чиста, прозора, вона тече, розбиваючись об обмерзле каміння. У чому відмінність води і льоду? І чому з'явився на деревах іній?

1. Різні агрегатні стани речовини

Ви вже знаєте, що лід (сніг, іній) і вода — це різні *агрегатні стани води: твердий і рідкий*. Поява інею на деревах пояснюється так: у повітрі завжди є водяна пара, яка, охолоджуючись, кристалізується й осідає у вигляді інею. Водяна пара — це *газоподібний* стан води.

Вам відомо, як небезпечно розбити термометр із ртуттю — густою рідиною сріблястого кольору; ртуть, випаровуючись, утворює дуже отруйну пару. А от за температури, нижчої від $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$, ртуть являє собою твердий метал. Таким чином, ртуть, як і вода, може перебувати у твердому, рідкому та газоподібному станах.

*Практично будь-яка речовина залежно від фізичних умов може перебувати в трьох агрегатних станах: **твердому, рідкому, газоподібному**.*

Існує ще один агрегатний стан речовини — **плазма** — частково або повністю йонізований газ, тобто газ, який складається із заряджених частинок (йонів і електронів) та нейтральних атомів і молекул. Наприклад, ртуть перебуває в плазмовому стані в увімкнених ртутних лампах (лампам денного світла). У Всесвіті плазма є найпоширенішим станом речовини (рис. 10.1).

Водяна пара, вода, лід утворені *однаковими* молекулами — молекулами води. Чому ж різняться фізичні властивості речовин, які утворені однаковими молекулами, але перебувають у різних агрегатних станах?

2. Пояснюємо фізичні властивості твердих тіл

Тіла, зображені на [рис. 10.2](#), різняться кольором, формою тощо, вони складаються з різних речовин. Разом із тим вони мають спільні фізичні властивості, притаманні всім твердим тілам.

Тверді тіла зберігають об'єм і форму. Річ у тім, що частинки (молекули, атоми, йони) твердих тіл розташовані в положеннях рівноваги. У цих положеннях сила притягання і сила відштовхування між частинками дорівнюють одна одній. У разі спроби збільшити або зменшити відстань між частинками (змінити розмір тіла) виникає міжмолекулярне притягання або відштовхування відповідно. Крім того, частинки твердих тіл практично не пересуваються — вони лише безперервно коливаються.



Рис. 10.1. Речовина в надрах зір перебуває у стані плазми. Розрідженою плазмою заповнений і міжзоряний простір



Рис. 10.2. Незважаючи на численні відмінності, всі тверді тіла зберігають свої об'єм і форму

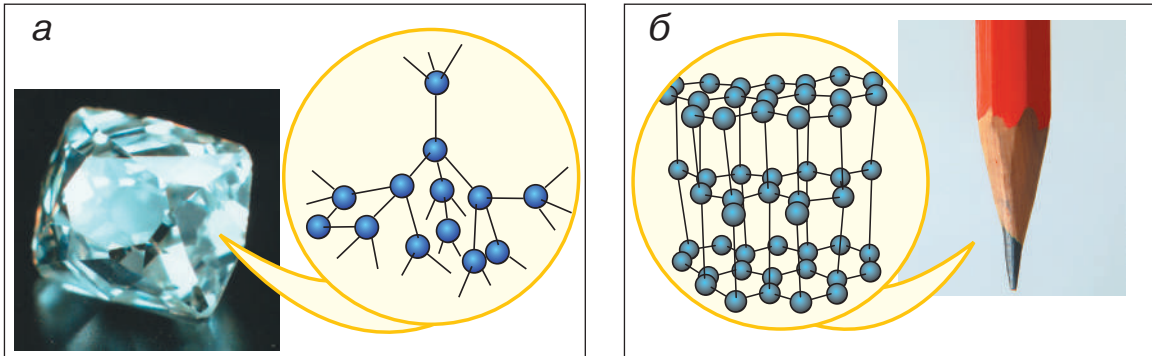


Рис. 10.3. Моделі кристалічних ґраток: а — алмазу, б — графіту. Кульками зображено атоми вуглецю.

У ході вивчення будови твердих тіл з'ясовано, що частинки більшості речовин у твердому стані розташовані в чітко визначеному порядку — вони утворюють кристалічні ґратки. Такі речовини називають **кристалічними**. Прикладами кристалічних речовин можуть бути алмаз, графіт (рис. 10.3), лід, сіль (рис. 10.4), метали тощо. (Зверніть увагу: насправді атоми розташовані впритул один до одного; ліній, що з'єднують атоми на рисунках, не існує, їх проведено, щоб продемонструвати характер просторового розташування атомів.)

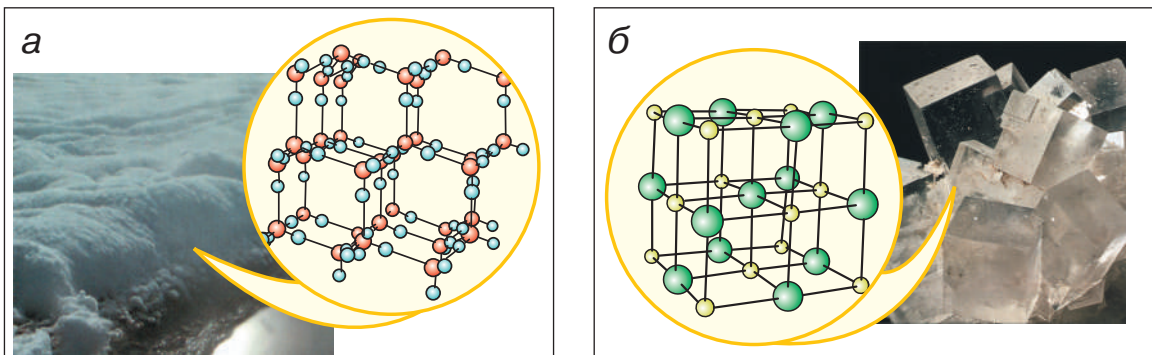


Рис. 10.4. Моделі кристалічних ґраток: а — льоду (H_2O — молекула води: червоні кульки — атоми кисню, сині — водню); б — кухонної солі (жовті кульки — йони натрію, зелені — хлору)

Порядок розташування частинок у кристалічній ґратці речовини визначає фізичні властивості речовини. Так, алмаз і графіт складаються з тих самих атомів вуглецю, однак ці речовини дуже різняться, оскільки атоми в них розташовані по-різному (див. [рис. 10.3](#)).

Існує група твердих речовин (скло, віск, смола, бурштин тощо), частинки яких не утворюють кристалічні ґратки і в цілому розташовані безладно. Такі речовини називають **аморфними**.

За певних умов тверді тіла плавляться — переходять у рідкий стан. *Кожна кристалічна речовина плавиться за певної температури.* На відміну від кристалічних, *аморфні речовини не мають певної температури плавлення* — вони переходять у рідкий стан, поступово розм'якшуючись.

3. Пояснюємо фізичні властивості рідин

Рідина змінює форму, набуваючи форми тієї посудини, в якій міститься, зберігає об'єм ([рис. 10.5](#)) і є практично нестисливою. Ці властивості рідин пояснюються так.

Як і в твердих тілах, частинки в рідинах розташовані впритул одна до одної ([рис. 10.6](#)). У цілому їх розташування хаотичне, однак у невеликому об'ємі речовини зберігається певна взаємна орієнтація сусідніх частинок — існує ближній порядок. Середня відстань між частинками приблизно дорівнює їх розмірам. Таке щільне упакування спричиняє не тільки збереження об'єму рідини, але й те, що рідину майже неможливо стиснути.



Згадайте про сили міжмолекулярного притягання й відштовхування та поясніть останнє твердження.

Кожна частинка рідини протягом певного часу (порядку 10^{-11} с) здійснює рух, подібний до коливального,

не віддаляючись при цьому від своїх «сусідів»; потім вона переколює в інше місце, де знову деякий час коливається біля свого нового положення рівноваги. Перескакування (переходи) молекул з одного рівноважного стану в інший відбуваються здебільшого в напрямку зовнішньої сили, тому *рідина є плинною* — під дією зовнішніх сил вона набуває форми тієї посудини, в якій міститься.



Рис. 10.5. У рідкому стані речовина зберігає свій об'єм, але набуває форми посудини, в якій міститься

4. Пояснюємо фізичні властивості газів

Слово «газ» походить від грецького «хаос», «безлад». І справді, для газоподібного стану речовини характерний повний безлад у взаємному розташуванні та русі частинок.

Наприклад, частинки повітря у вашій кімнаті розташовані на відстанях, які приблизно в 10 разів перевищують розміри самих частинок. На таких відстанях частинки практично не взаємодіють одна з одною, тому вони розлітаються й газ займає весь наданий об'єм. Великими відстанями між частинками пояснюється й той факт, що гази легко стискаються.

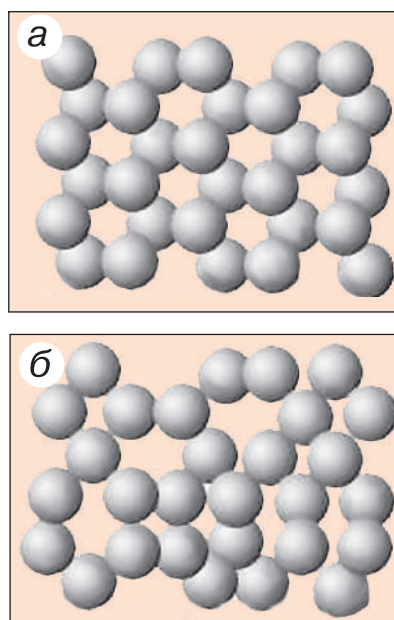


Рис. 10.6. Характер розташування частинок: *а* — в твердих кристалічних речовинах; *б* — у рідинах і аморфних речовинах

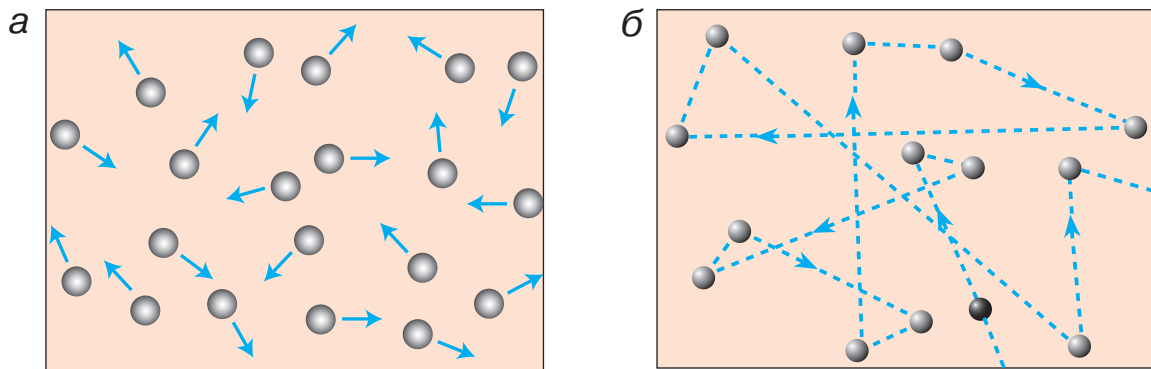


Рис. 10.7. Рух і розташування частинок газу: *а* — напрямок руху частинок змінюється в результаті зіткнення з іншими частинками; *б* — приблизна траєкторія руху частинки (збільшено в мільйон разів)

Щоб зрозуміти, як рухаються молекули й атоми газу, уявімо рух однієї частинки. Ось вона рухається в якомусь напрямку, зіштовхується з іншою частинкою, змінює напрямку і швидкість свого руху й летить далі, до наступного удару (рис. 10.7). Чим більшою є кількість частинок у певному об'ємі, тим частіше вони зіштовхуються. Наприклад, кожна частинка, що входить до складу повітря в класній кімнаті, зіштовхується з іншими та змінює швидкість свого руху кілька мільярдів разів за секунду.



Підбиваємо підсумки

Практично будь-яка речовина залежно від фізичних умов може існувати в трьох агрегатних станах: твердому, рідкому, газоподібному. Коли речовина переходить з одного агрегатного стану в інший, змінюються взаємне розташування частинок речовини (молекул, атомів, йонів) і характер їхнього руху та взаємодії.

Існує четвертий агрегатний стан — плазма. Плазма — це частково або повністю йонізований газ.

**Контрольні запитання**

1. Чи можна стверджувати, що ртуть — завжди рідина, а повітря — завжди газ? **2.** Чи відрізняються молекули водяної пари та льоду? **3.** У якому стані перебуває речовина в надрах зір? **4.** Чому тверді тіла зберігають об'єм і форму? **5.** У чому подібність і відмінність кристалічних й аморфних речовин? **6.** Як рухаються і як розташовані молекули в рідинах? **7.** Чому гази займають весь наданий об'єм?

**Вправа № 10**

- 1.** Виберіть правильне закінчення речення.
Якщо перелити рідину в іншу посудину, рідина...
а) змінить і форму, і об'єм; б) збереже і форму, і об'єм; в) збереже об'єм, але змінить форму.
- 2.** Вода випарувалась і перетворилася на пару. Чи змінилися при цьому молекули води? Як змінилися розташування молекул і характер їхнього руху?
- 3.** Чи можна стверджувати, що в закритій посудині, яка частково заповнена водою, над поверхнею рідини води немає?
- 4.** У чайнику кипить вода. Чи справді ми бачимо водяну пару, що виходить із носика чайника?
- 5.** Дізнайтеся про наноматеріали та галузі їх застосування. Підготуйте презентацію або повідомлення.
- 6.** З наведених назв фізичних величин оберіть ті, що є характеристикою речовини: а) густина; б) маса; в) об'єм; г) питома теплоємність; д) температура.

**Експериментальне завдання**

«Тверда рідина». Аморфні речовини називають дуже в'язкими рідинами. Доведіть, що віск, нехай дуже

повільно, але тече. Для цього покладіть маркер на підвіконня, зверху на маркер (перпендикулярно до нього) покладіть свічку й залиште так на кілька днів. Поясніть результати експерименту.



ФІЗИКА І ТЕХНІКА В УКРАЇНІ

Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України (Київ) є визнаним у світі науковим центром фундаментальних досліджень у галузі фізики металів. Основними завданнями інституту є пошук принципово нових способів створення металічних матеріалів, які можуть використовуватися в складних умовах, і розроблення на основі цих матеріалів принципово нових пристроїв для сучасної техніки.

§ 11. ПЛАВЛЕННЯ ТА КРИСТАЛІЗАЦІЯ

Чому грудочка снігу тоне в руці? Чому утворюються крижані бурульки і коли вони утворюються — у відлигу чи, навпаки, в мороз? Як охолодити трохи снігу без морозильної камери? Чому свинець можна розплавити в сталевій ложці, а от сталь у свинцевій ложці — не можна? Дізнаємося!

1. Процеси плавлення та кристалізації

Якщо трохи снігу занести до теплої кімнати, незабаром сніг розтане, або, як кажуть фізики, *розплавиться*.

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

Простежимо зміну температури снігу в процесі його танення в теплій кімнаті. На початку досліджу температури снігу є нижчою від $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, сніг не тоне, а його температура швидко збільшується (рис. 11.1, а). Коли стовпчик термометра досягає позначки $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, температура снігу перестає збільшуватись, а в посудині з'являється вода (сніг

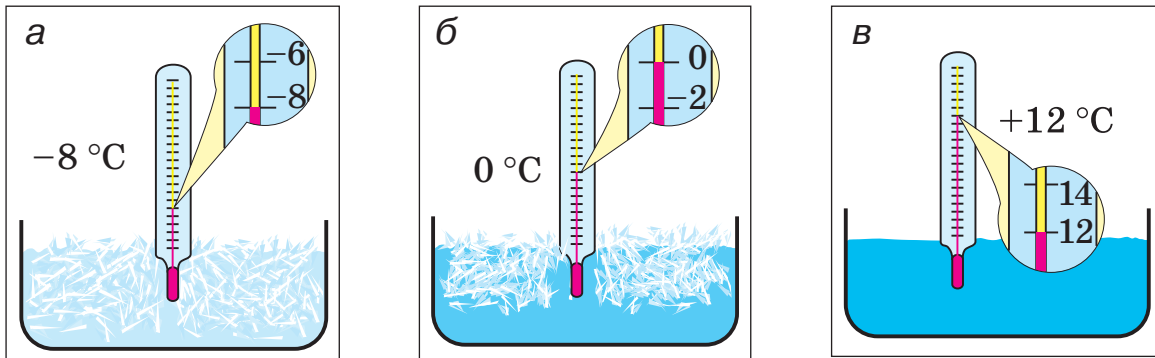


Рис. 11.1. Спостереження процесу танення снігу

починає плавитися). Перемішаємо воду із залишками снігу й відзначимо, що температура суміші залишається незмінною (рис. 11.1, б). І тільки після того як сніг повністю розплавиться, температура почне зростати (рис. 11.1, в).

Досліди показують: *практично всі кристалічні речовини починають плавитися після досягнення ними певної (власної для кожної речовини) температури; у процесі плавлення температура речовини не змінюється.*

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

Отже, тверда речовина в разі досягнення певної температури перетворюється на рідину. Так само за певних умов тверднуть (кристалізуються) рідини. Наприклад, якщо винести воду на мороз або поставити посудину з водою в морозильну камеру, то вода з часом закристалізується, перетворившись на лід (рис. 11.2).

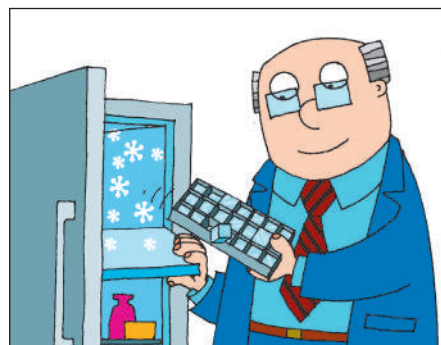


Рис. 11.2. У морозильній камері вода кристалізується

Кристалізація — це процес переходу речовини з рідкого стану у твердий кристалічний.


Вимірюючи температуру речовин під час їх охолодження та подальшої кристалізації, доходимо висновків:

1) процес кристалізації починається тільки після охолодження рідини до певної для цієї рідини температури;

2) під час кристалізації температура речовини не змінюється;

3) температура кристалізації речовини дорівнює температурі її плавлення.

Температури плавлення (кристалізації) різних речовин досить сильно різняться. Так, температура плавлення спирту становить $-115\text{ }^{\circ}\text{C}$, льоду — $0\text{ }^{\circ}\text{C}$; свинцю — $327\text{ }^{\circ}\text{C}$, а щоб розплавити вольфрам, його слід нагріти до величезної температури $3387\text{ }^{\circ}\text{C}$.

 Чому свинець можна розплавити в сталевій ложці, а сталь у свинцевій ложці — не можна?

Температура плавлення (кристалізації) — це характеристика речовини, її визначають експериментально й заносять у таблиці (див. табл. 2 Додатка). У таких таблицях немає *аморфних речовин*, адже вони не мають певної температури плавлення: нагріваючись, аморфні речовини поступово м'якшають, а в ході охолодження — твердішають. Вивчаючи процеси плавлення та кристалізації, ми розглядатимемо тільки кристалічні речовини.

2. Будуємо графік і пояснюємо процеси плавлення та кристалізації

Для детальнішого вивчення процесів плавлення та кристалізації речовин розглянемо графік залежності

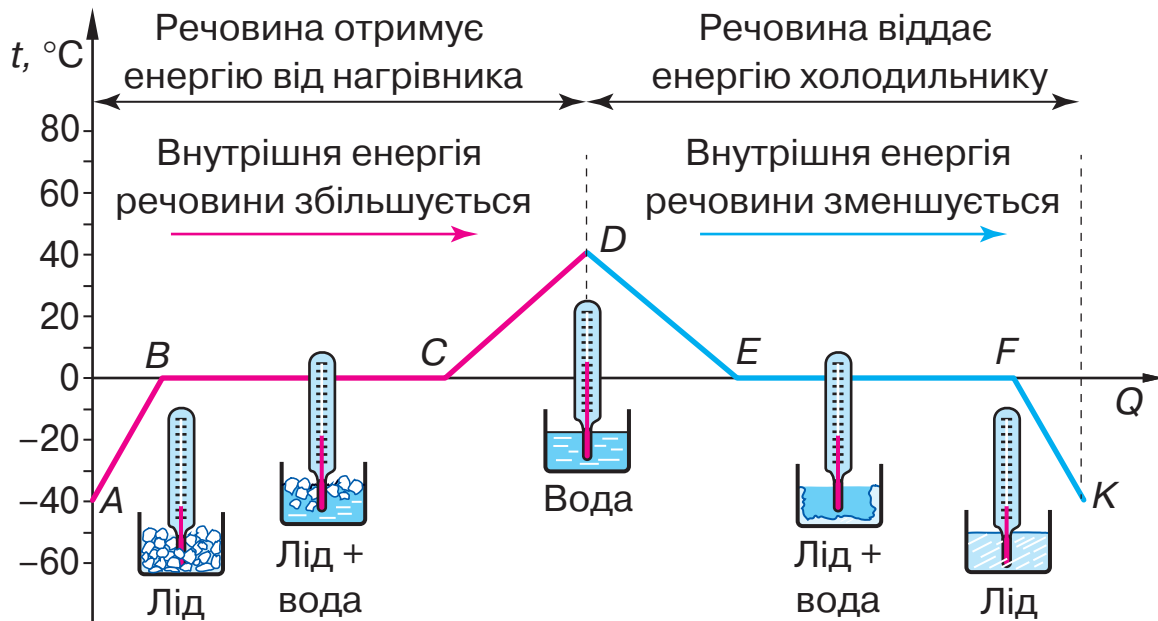


Рис. 11.3. Графік плавлення льоду та кристалізації води

температури кристалічної речовини (льоду) від кількості теплоти (рис. 11.3).

На момент початку спостереження (точка A) температура льоду становила $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Унаслідок роботи нагрівника температура льоду збільшується (ділянка AB), тобто збільшується кінетична енергія коливального руху молекул води у вузлах кристалічної ґратки льоду.

Після досягнення температури $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ лід починає плавитися, а його температура не змінюється (ділянка BC) незважаючи на те, що нагрівник продовжує працювати й передавати льоду певну кількість теплоти. Уся енергія, що надходить від нагрівника, іде на руйнування кристалічної ґратки льоду. Внутрішня енергія льоду продовжує збільшуватися.

Після того як весь лід розплавився (точка C), температура отриманої води починає зростати (ділянка CD), тобто починає зростати кінетична енергія молекул.

У той момент, коли температура сягнула $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ (точка D), нагрівник вимкнули. Воду помістили в холодильник, і її температура почала падати (ділянка DE). Зниження температури свідчить про те, що кінетична енергія, а отже, швидкість руху молекул зменшуються.

Коли досягнуто температури кристалізації $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ (точка E), молекули настільки сповільнюють свій рух, що вже не перестрибують з місця на місце. Вони поступово займають фіксовані положення (ділянка EF), і на момент завершення кристалізації вже всі молекули коливаються у вузлах кристалічної ґратки. Вода переходить у стан із меншою внутрішньою енергією — повністю перетворюється на лід (точка F).

Під час подальшої роботи холодильника замерзла вода (лід) холоне, а кінетична енергія коливального руху молекул зменшується (ділянка FK).

3. Переконаємося, що процеси плавлення та кристалізації неможливі без передачі енергії

Якщо помістити сніг у холодильну камеру, температура в якій є незмінною й дорівнює $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, з'ясується ось що. Як і в досліді з таненням снігу в теплій кімнаті (див. [рис. 11.1](#)), температура снігу буде спочатку збільшуватися: тепліше повітря в камері віддаватиме певну кількість теплоти холоднішому снігу. Збільшення температури снігу триватиме, доки його температура не стане $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. І отут починається найцікавіше. Температура снігу сягнула температури плавлення, а сніг не тане. Чому?

Згадайте: дослід, зображений на [рис. 11.1](#), проводився в теплій кімнаті (за температури вищої, ніж $0\text{ }^{\circ}\text{C}$). Отже, протягом усього часу спостереження відбувався

теплообмін між повітрям у кімнаті та снігом. Сніг увесь час *одержував* енергію, зокрема й тоді, коли його температура залишалася незмінною. І сніг при цьому танув.

А от у досліді з холодильною камерою температура плавлення снігу й температура повітря в холодильній камері є однаковими, тому теплообмін не відбувається. Сніг *не одержує енергію*, отже, й *не тане*.

Якщо в холодильну камеру, температура в якій $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, помістити теплу воду, то зрозуміло, що вода буде охолоджуватися (тепла вода віддаватиме енергію повітря в камері). Однак після досягнення температури $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ вода не кристалізуватиметься, оскільки тепер, щоб перейти в стан із меншою внутрішньою енергією, їй потрібно віддати докільку певну кількість теплоти, а у випадку теплової рівноваги теплообмін не відбувається.



Підбиваємо підсумки

Тепловий процес переходу речовини з твердого стану в рідкий називають плавленням. Під час плавлення температура кристалічної речовини не змінюється.

За однакової температури внутрішня енергія речовини в рідкому стані більша за внутрішню енергію речовини у твердому стані. Щоб речовину перевести з твердого стану в рідкий, необхідно виконання двох обов'язкових умов: 1) речовину потрібно нагріти до температури плавлення; 2) під час плавлення речовина має одержувати енергію.

Тепловий процес переходу речовини з рідкого стану у твердий кристалічний називають кристалізацією. Температура кристалізації речовини дорівнює температурі її плавлення. Щоб речовину перевести з рідкого стану

в кристалічний, необхідно виконання двох умов: 1) рідину слід охолодити до температури кристалізації; 2) під час кристалізації речовина має віддавати енергію.



Контрольні запитання

1. Який процес називають плавленням? кристалізацією? 2. Порівняйте температури плавлення (кристалізації) різних речовин. 3. Чи танутиме лід у холодильнику, температура в якому $0\text{ }^{\circ}\text{C}$? Чи кристалізуватиметься за такої температури вода? 4. Опишіть процеси, які відбуваються під час плавлення льоду та кристалізації води.



Вправа № 11

1. Чому нитку розжарення електричної лампи виготовляють із вольфраму?
2. На рис. 1 наведено графік плавлення та кристалізації деякої речовини. Якому стану речовини відповідають точки *A*, *B*, *C* і *D* графіка?
3. На рис. 2 подано графіки плавлення деяких речовин. Яка речовина має вищу температуру плавлення? Скориставшись табл. 2 Додатка, визначте, про які речовини йдеться.

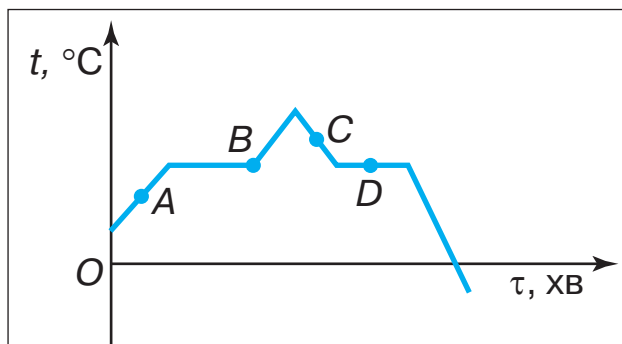


Рис. 1

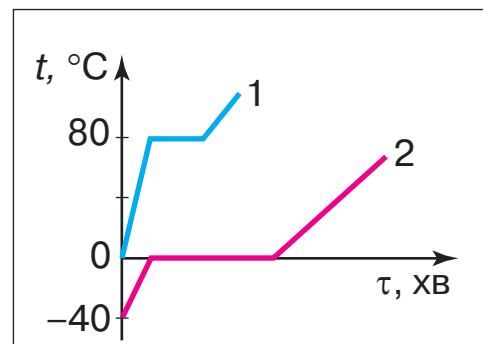


Рис. 2

- 4. У відрі з водою плавають шматки льоду. Чи танутиме лід, чи вода замерзатиме? Від чого це залежить?
- 5. Дізнайтеся, коли і чому утворюються бурульки.
- 6. Які з наведених фізичних величин є характеристикою тіла? а) маса; б) жорсткість; в) об'єм; г) густина; д) кінетична енергія; е) питома теплоємність.



Експериментальне завдання

«Морозна сіль». Змішайте 100 г снігу, взятого за температури 0 °С, і 30 г кухонної солі (1 столова ложка з гіркою). Сніг почне швидко танути й охолоджуватися. Опустіть у розчин шматочок картоплини — картоплина замерзне. Поясніть чому.

§ 12. ПИТОМА ТЕПЛОТА ПЛАВЛЕННЯ

На фото зображено кристалічні речовини (сталь і лід) однакової маси, які перебувають за температури, близької до температури плавлення. Щоб розплавити ці речовини, їм слід передати певну кількість теплоти. Чи однакову кількість теплоти необхідно передати льоду і сталі, щоб перевести їх у рідкий стан? З'ясуємо.



1. Дізнаємося про питому теплоту плавлення

Ви знаєте: під час переходу з твердого стану в рідкий речовина поглинає певну кількість теплоти і внутрішня

енергія речовини збільшується; перехід речовини з рідкого стану у твердий супроводжується виділенням теплоти та зменшенням внутрішньої енергії речовини.

Вивчення процесів плавлення та кристалізації показало, що *кількість теплоти, яку необхідно витратити на плавлення певної маси речовини, дорівнює кількості теплоти, яка виділяється під час кристалізації цієї речовини.*

А чи однакову кількість теплоти необхідно витратити на плавлення різних речовин однакової маси? Логічно припустити, що різну: сили взаємодії між частинками різних речовин є різними, а отже, на руйнування різних кристалічних ґраток напевне потрібна різна енергія. І це справді так. Наприклад, щоб розплавити 1 кг льоду, йому потрібно передати в 13 разів більше теплоти, ніж необхідно для плавлення 1 кг свинцю.

Питома теплота плавлення — фізична величина, що характеризує певну речовину й дорівнює кількості теплоти, яку необхідно передати твердій кристалічній речовині масою 1 кг, щоб за температури плавлення повністю перетворити її на рідину.

Питому теплоту плавлення речовини позначають символом λ («лямбда») і обчислюють за формулою:

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


де Q — кількість теплоти, необхідна для плавлення певної речовини масою m .

Із формули для визначення питомої теплоти плавлення дістанемо її *одиницю в СІ* — **джоуль на кілограм**:

$$[\lambda] = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$

Питома теплота плавлення показує, на скільки за температури плавлення внутрішня енергія 1 кг речовини в рідкому стані більша, ніж внутрішня енергія 1 кг цієї речовини у твердому стані. У цьому полягає фізичний зміст питомої теплоти плавлення.

Так, питома теплота плавлення льоду дорівнює 332 кілоджоулям на кілограм ($\lambda = 332$ кДж / кг). Це означає: щоб розплавити 1 кг льоду, що перебуває за температури плавлення (0 °С), слід передати йому 332 кілоджоулі теплоти. Та сама кількість теплоти (332 кДж) виділиться й під час кристалізації 1 кг води. Тобто за температури 0 °С внутрішня енергія 1 кг води більша за внутрішню енергію 1 кг льоду на 332 кДж.

 Що означає твердження: «Питома теплота плавлення сталі становить 84 кДж/кг»?

Питому теплоту плавлення речовин визначають дослідним шляхом і фіксують у таблицях (див. [табл. 3 Додатка](#)). Визначити питому теплоту плавлення тугоплавких речовин досить складно. А от питому теплоту плавлення легкоплавких речовин, наприклад льоду, ви можете визначити навіть самостійно ([рис. 12.1](#)).

Під час досліду в калориметр, який містить відому масу води $m_{\text{води}}$ за температури t_1 , занурюють лід за температури плавлення ($t_{\text{пл}} = 0$ °С).

Вода буде віддавати тепло й охолоджуватися:

$$Q_{\text{води}} = c_{\text{води}} m_{\text{води}} (t_1 - t_2).$$

Лід, отримуючи тепло, буде плавитися, а одержана внаслідок плавлення вода — нагріватися:

$$Q_{\text{льоду}} = \lambda_{\text{льоду}} m_{\text{льоду}} + c_{\text{води}} m_{\text{льоду}} (t_2 - t_{\text{пл}}).$$

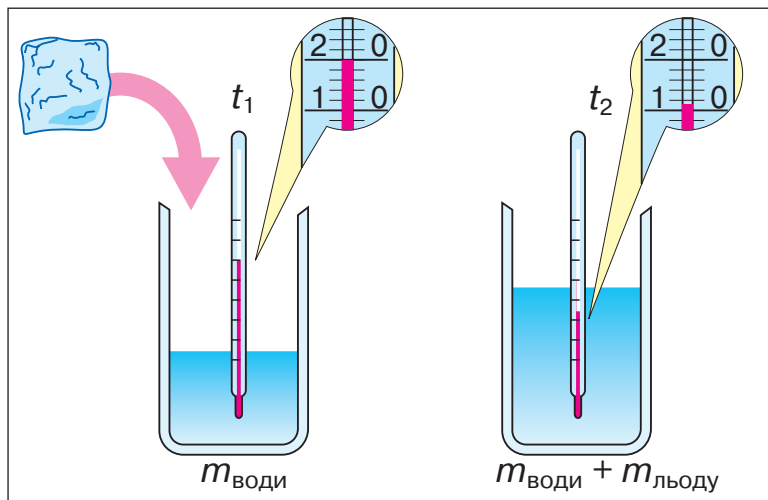


Рис. 12.1. Дослід щодо визначення питомої теплоти плавлення льоду

Вимірявши після плавлення льоду температуру t_2 води і масу m води ($m = m_{\text{води}} + m_{\text{льоду}}$) й обчисливши масу льоду ($m_{\text{льоду}} = m - m_{\text{води}}$), визначають питому теплоту плавлення льоду:

$$\lambda_{\text{льоду}} = \frac{c_{\text{води}} m_{\text{води}} (t_1 - t_2) - c_{\text{води}} m_{\text{льоду}} (t_2 - t_{\text{пл}})}{m_{\text{льоду}}}$$

? Ураховавши, що $Q_{\text{води}} = Q_{\text{льоду}}$, отримайте останню формулу самостійно.

Щоб обчислити кількість теплоти, необхідну для плавлення кристалічної речовини, узятій за температури плавлення, потрібно питому теплоту плавлення цієї речовини помножити на її масу:

$$Q = \lambda m,$$

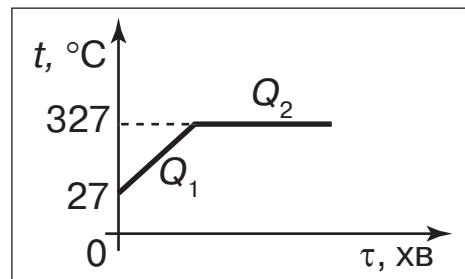
де Q — кількість теплоти, яку поглинає тверда кристалічна речовина; λ — питома теплота плавлення речовини; m — маса речовини.

Зрозуміло, що кількість теплоти, яка виділяється під час кристалізації, розраховують за тією самою формулою.

2. Учимося розв'язувати задачі

Задача. Яку кількість теплоти потрібно передати свинцю масою 5 кг, взятому за температури 27 °С, щоб його розплавити?

Аналіз фізичної проблеми. Щоб розплавити свинець, його спочатку слід нагріти до температури плавлення. Знайдемо в табл. 2 Додатка температуру t_2 плавлення свинцю та побудуємо схематичний графік процесу. Загальна кількість теплоти Q дорівнюватиме сумі кількості теплоти Q_1 , необхідної для нагрівання свинцю до температури плавлення, та кількості теплоти Q_2 , необхідної для плавлення. Питому теплоємність c і питому теплоту плавлення λ свинцю знайдемо відповідно в табл. 1 і 3 Додатка.



$m = 5 \text{ кг}$	
$t_1 = 27 \text{ °C}$	
$t_2 = 327 \text{ °C}$	
$c = 140 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°C}}$	
$\lambda = 25 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} =$	
$= 25\,000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	
$Q = ?$	

Розв'язання

$$Q = Q_1 + Q_2; \quad (1)$$

$$Q_1 = cm(t_2 - t_1) \text{ — нагрівання}; \quad (2)$$

$$Q_2 = \lambda m \text{ — плавлення}. \quad (3)$$

Підставивши формули (2) і (3) у формулу (1), остаточно отримуємо:

$$Q = cm(t_2 - t_1) + \lambda m.$$

Визначимо значення шуканої величини:

$$[Q] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°C}} \cdot \text{кг} \cdot \text{°C} + \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot \text{кг} = \text{Дж} + \text{Дж} = \text{Дж};$$

$$Q = 140 \cdot 5 \cdot (327 - 27) + 25\,000 \cdot 5 = 335\,000 \text{ (Дж)}.$$

Відповідь: $Q = 335 \text{ кДж}$.

**Підбиваємо підсумки**

Фізичну величину, що характеризує певну речовину й дорівнює кількості теплоти, яку необхідно передати 1 кг цієї речовини, взятої у твердому стані, щоб за температури плавлення повністю перетворити її на рідину, називають питомою теплотою плавлення λ .

Питома теплота плавлення показує, на скільки за температури плавлення внутрішня енергія 1 кг речовини в рідкому стані більша за внутрішню енергію 1 кг цієї речовини у твердому стані.

Питому теплоту плавлення обчислюють за формулою $\lambda = \frac{Q}{m}$ і в СІ вимірюють у джоулях на кілограм $\left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}\right)$.

Кількість теплоти, яку необхідно витратити на плавлення певної речовини, узятій за температури плавлення, дорівнює кількості теплоти, яка виділяється під час кристалізації цієї речовини. Цю кількість теплоти обчислюють за формулою $Q = \lambda m$.

**Контрольні запитання**

1. Від чого залежить кількість теплоти, яка виділяється під час кристалізації речовини?
2. Що називають питомою теплотою плавлення речовини?
3. Яким є фізичний зміст питомої теплоти плавлення?
4. Як обчислити кількість теплоти, яка необхідна для плавлення речовини або виділяється під час її кристалізації?

**Вправа № 12**

1. Яка кількість теплоти необхідна, щоб розплавити 500 г міді, узятій за температури плавлення?

2. Яке тіло має більшу внутрішню енергію: алюмінієвий брусок масою 1 кг, узятий за температури плавлення, чи 1 кг розплавленого алюмінію за тієї самої температури? На скільки більшу?
3. Яка кількість теплоти виділиться під час кристалізації 100 кг сталі та подальшого її охолодження до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$? Початкова температура сталі дорівнює $1400\text{ }^{\circ}\text{C}$.
4. Яка кількість теплоти потрібна для перетворення 25 г льоду, узятото за температури $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$, на воду за температури $10\text{ }^{\circ}\text{C}$?
5. У гарячу воду поклали лід, маса якого дорівнює масі води. Після того як весь лід розтанув, температура води зменшилася до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Якою була початкова температура води, якщо початкова температура льоду дорівнювала $0\text{ }^{\circ}\text{C}$?
6. Свинцева куля, яка рухалася зі швидкістю 300 м/с, ударила об металеву пластину і зупинилася. Яка частина свинцю розплавилася, якщо вважати, що свинець повністю поглинув енергію, яка виділилася під час удару? Початкова температура кулі $27\text{ }^{\circ}\text{C}$.
7. На дні посудини намерз лід. У посудину налили води. Чи зміниться рівень води в посудині після того, як увесь лід розтане? Якщо зміниться, то як?



Експериментальне завдання

Скориставшись [рис. 12.1](#), запишіть план проведення експерименту з визначення питомої теплоти плавлення льоду. За можливості проведіть експеримент. *Підказка:* якщо лід, який уже почав танути, ретельно промокнути серветкою, він майже не міститиме води, а його температура становитиме $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.



§ 13. ВИПАРОВУВАННЯ ТА КОНДЕНСАЦІЯ

Чому, влітку виходячи з річки, ми відчуваємо прохолоду? Куди зникають калюжі? Для чого в спеку собака висуває язика? Чому, якщо хочемо остудити руки, ми на них дмемо, а якщо хочемо зігріти, то дихаємо? Можна поставити собі безліч таких запитань, і незабаром ви зможете на них відповісти.

1. Ознайомлюємося з процесом випаровування

Будь-яка речовина може переходити з одного агрегатного стану в інший. За певних умов тверде тіло може перетворитися на рідину, рідина може затверднути чи перетворитися на газ.

Процес переходу речовини з рідкого стану в газоподібний називають **пароутворенням**.

Рідина може перетворитися на газ двома способами: *випаровуванням* і *кипінням*. Знайомство з пароутворенням почнемо з процесу випаровування.

Якщо розлити воду, то через якийсь час калюжа зникне; речі, що промокли під дощем, із часом стануть сухими; навіть масний слід, який залишився на асфальті від несправної машини, згодом стає майже непомітним. Усі ці явища можна пояснити випаровуванням рідини.

Випаровування — це процес пароутворення з вільної поверхні рідини.

Зверніть увагу! Пароутворення здійснюється й з поверхні твердих тіл (ви, напевно, помічали, що під час морозів зникають замерзлі калюжі). Цей процес називають *сублімацією*. Протилежний процес — перехід речовини з газоподібного стану в кристалічний — називають *кристалізацією*.

2. Пояснюємо процес випаровування

Розглянемо процес випаровування з точки зору молекулярно-кінетичної теорії. Молекули рідини безперервно рухаються, постійно змінюючи як значення, так і напрямки швидкості свого руху. Серед молекул поверхневого шару рідини завжди є такі, що «намагаються» вилетіти з рідини. Ті молекули, що в певну мить рухаються повільно, не зможуть подолати притягання сусідніх молекул і залишаться в рідині. Якщо ж поблизу поверхні опиниться «швидка» молекула, то вона вилетить за межі рідини (рис. 13.1).

Після ознайомлення з механізмом випаровування можна зробити кілька висновків.

По-перше, той факт, що в рідині завжди наявні молекули, які рухаються швидко, дозволяє зробити висновок, що *випаровування рідин відбувається за будь-якої температури*.

По-друге, оскільки під час випаровування рідину залишають найшвидші молекули, то середня кінетична енергія решти молекул зменшується. Тому, *якщо рідина не отримує енергії ззовні, вона охолоджується*.

Крім того, під час випаровування виконується робота проти сил міжмолекулярного притягання та проти сил зовнішнього тиску, тому *процес випаровування супроводжується поглинанням енергії* (рис. 13.2).

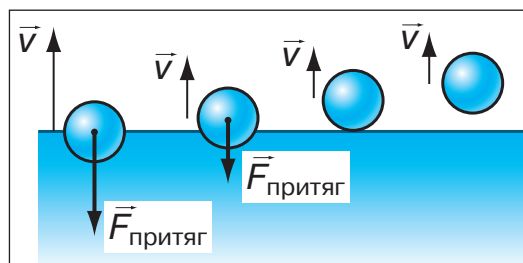


Рис. 13.1. Молекула, яка вилітає з рідини, має подолати сили міжмолекулярного притягання, що тягнуть її назад у рідину

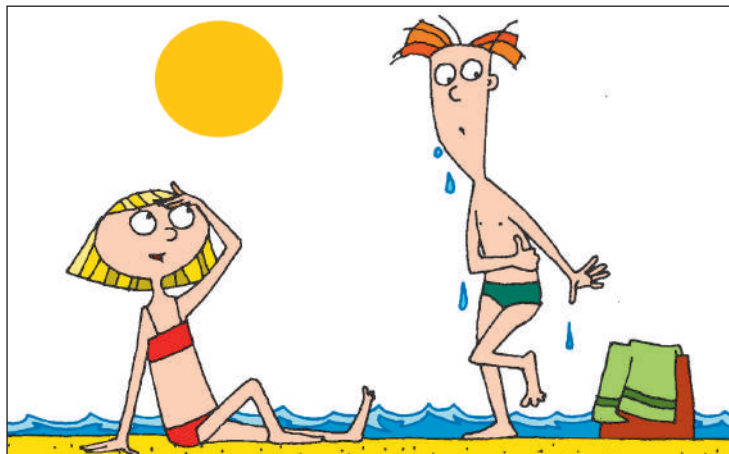


Рис. 13.2. Після купання на тілі людини є крапельки рідини. Випаровуючись, рідина поглинає енергію, і людина відчуває прохолоду навіть спекотного дня

3. Від чого залежить швидкість випаровування

Чим вища температура рідини, тим швидше рідина випаровується. Адже зі збільшенням температури рідини збільшується кількість «швидких» молекул, тому дедалі більша їх кількість має змогу подолати сили міжмолекулярного притягання й вилетіти за межі рідини.

? Щоб висушити речі, ми інколи кладемо їх на гарячу батарею або прасуємо. Чому в таких випадках речі висихають порівняно швидко?

Швидкість випаровування залежить від площі вільної поверхні рідини: чим площа більша, тим вища ймовірність, що «швидка» молекула опиниться на поверхні, і тим



Рис. 13.3. Зі збільшенням площі вільної поверхні рідини (чай перелито із чашки в блюдце) швидкість випаровування збільшується. А оскільки під час випаровування чай утрачає енергію, він швидше холоне (Б. М. Кустодієв «Купчиха за чаєм»)



Рис. 13.4. Швидкість випаровування залежить від роду рідини. Через хвилину фігурка, яку намальовано спиртом, повністю зникне; фігурка, намальована водою, залишиться частково; випаровування олії зовсім не буде помітним

швидше рідина випаровується (рис. 13.3). Дійсно, ми не покладемо мокрий одяг на батарею жмутом, а розправимо, бо зім'ятий одяг висихає набагато повільніше.

Швидкість випаровування залежить від роду рідини (рис. 13.4), адже сили притягання між молекулами різних рідин є різними. Повільніше випаровуються ті рідини, молекули яких сильніше взаємодіють одна з одною.

Швидкість випаровування залежить від руху повітря. Щоб швидко висушити волосся, ми вмикаємо фен (рис. 13.5); щоб остудити обпечену руку, дмемо на неї. Білизна, вивішена на вітрі, сохне швидше, ніж у затишку. А чому так? Річ у тім, що біля поверхні рідини завжди існує «хмара» молекул, які вилетіли з неї (рис. 13.6).



Рис. 13.5. Швидкість випаровування залежить від руху повітря

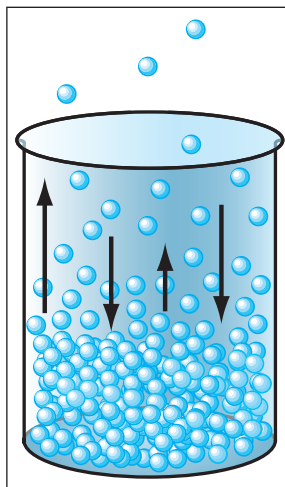


Рис. 13.6. Багато молекул, які залишили рідину, повертаються в неї внаслідок теплового руху

Ці молекули хаотично рухаються, зіштовхуються одна з одною та з молекулами інших газів, які складають повітря. У результаті такого руху молекула рідини може так близько підлетіти до її поверхні, що молекулу «захоплять» сили міжмолекулярної взаємодії та знову повернуть у рідину. А якщо є вітер, то він відносить молекули, що вилетіли з рідини, і не дає їм змоги повернутися.

Якби молекули, залишаючи рідину, зовсім не поверталися до неї, то швидкість випаровування була б величезною. Наприклад, за кімнатної температури повна склянка води випарувалася б за 4 хвилини, адже за цих умов із 1 см^2 води щосекунди вилітає 10^{21} молекул.

4. Знайомимося з процесом конденсації

Ви вже знаєте, що молекули весь час вилітають із рідини і що певна їх кількість повертається в цю рідину. Таким чином, поряд із процесом випаровування, в ході якого рідина перетворюється на пару, існує зворотний процес, коли речовина з газоподібного стану переходить у рідкий.

Процес переходу речовини з газоподібного стану в рідкий називають **конденсацією**.

Процеси конденсації (від латин. *condensatio* — згущення, ущільнення) води в природі ми спостерігаємо щодня. Так, літнього ранку на листі рослин ми бачимо прозорі краплинки *роси* (рис. 13.7, а). Це водяна пара, яка вдень накопичується в повітрі внаслідок випаровування, а вночі, охолоджуючись, конденсується.

Якщо вологе повітря піднімається у вищі шари атмосфери, то після його охолодження утворюються *хмари*

(рис. 13.7, б). Якщо вологе повітря охолоджується поблизу поверхні Землі, то утворюється туман (рис. 13.7, в). І хмари, і туман складаються з дрібних краплинок води, що утворюються внаслідок конденсації водяної пари*. Оскільки процес конденсації супроводжується виділенням енергії, утворення туману затримує зниження температури повітря.



Підбиваємо підсумки

Тепловий процес переходу речовини з рідкого стану в газоподібний називають пароутворенням. Процес пароутворення з вільної поверхні рідини називають випаровуванням.

Випаровування відбувається за будь-якої температури, і воно є тим інтенсивнішим, чим вища температура рідини. Швидкість випаровування залежить також від роду рідини; вона збільшується зі збільшенням площі вільної поверхні рідини та внаслідок руху повітря поблизу цієї поверхні.

* Хмари також можуть складатися (частково чи повністю) з кристаликів льоду.

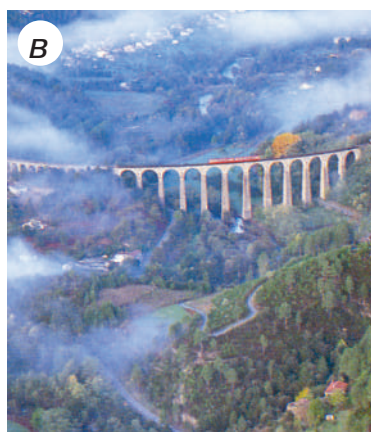
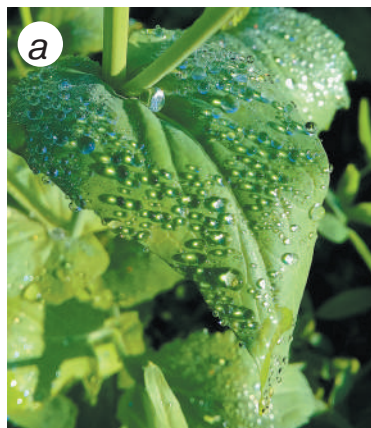


Рис. 13.7. Прояви конденсації в природі:

а — випадання роси;
б — утворення хмар;
в — поява туману

Тепловий процес переходу речовини з газоподібного стану в рідкий називають конденсацією. Конденсація супроводжується виділенням енергії. Випаровування, навпаки, відбувається з поглинанням енергії.



Контрольні запитання

1. Що таке пароутворення? випаровування? **2.** Від яких чинників залежить швидкість випаровування? Чому? Наведіть приклади. **3.** Що таке конденсація? Наведіть приклади конденсації в природі.



Вправа № 13

- 1.** Коли калюжі після дощу висихають швидше — в теплу чи прохолодну погоду? Чому?
- 2.** Чому після змочування руки спиртом відчуття холоду є сильнішим, ніж після змочування водою?
- 3.** Залишаючись тривалий час у мокрому одязі чи взутті, можна застудитися. Чому?
- 4.** Для чого собака висуває язика в спеку?
- 5.** На вулиці в морозяний день ми можемо спостерігати «пару», яка йде з рота. Що ми бачимо насправді?
- 6.** Навесні, коли інтенсивно тоне сніг, над полями іноді утворюється туман. У міру його розсіювання стає помітним, що кількість снігу значно зменшилася. У народі кажуть: «Весняний туман сніг з'їдає». Поясніть це твердження з точки зору фізики.
- 7.** Понад 4500 років тому єгиптяни використовували глечики, у яких вода залишалася прохолодною навіть спекотного дня. У Середньовіччі охолоджувальні глечики (алькараца) були поширені в народів Півдня.

Наприкінці ХХ ст. схожий винахід наново зробив мешканець Нігерії Мохаммед Бах Абба. Його «холодильник» сьогодні називають «pot in pot» («гличик у гличу»), він працює без електрики і дозволяє тривалий час зберігати продукти (див. [рисунок](#)). Дізнайтеся про охолоджувальні посудини більше. Підготуйте повідомлення.



Експериментальне завдання

Візьміть добре зволожену та віджату бавовняну серветку, покладіть її на блюдце, поставте в холодильну камеру. Переконайтеся, що через деякий час серветка затвердне, а через кілька днів висохне. Підготуйте звіт про випаровування твердих тіл.



ФІЗИКА І ТЕХНІКА В УКРАЇНІ

Михайло Петрович Авенаріус (1835–1895) працював у Київському університеті. Учений був організатором і керівником київської школи фізиків-експериментаторів — першої фізичної школи в Україні.

Основні наукові праці М. П. Авенаріуса стосуються термоелектрики та молекулярної фізики. Учений запропонував і обґрунтував одну з основних формул, яка описує явище термоелектрики (*закон Авенаріуса*).



§ 14. КИПІННЯ. ПИТОМА ТЕПЛОТА ПАРООУТВОРЕННЯ

До якої температури можна нагріти воду? Чи є сенс збільшувати потужність пальника, щоб прискорити готування їжі? Як закип'ятити воду за допомогою снігу? На ці та інші запитання ви тепер обов'язково зможете відповісти.

1. Ознайомлюємося з процесом кипіння

Проведемо експеримент. Закриємо колбу корком із двома отворами. В один отвір вставимо трубку для виходу пари, у другий — термометр. Закріпимо колбу в лапці штатива й почнемо нагрівати (рис. 14.1).

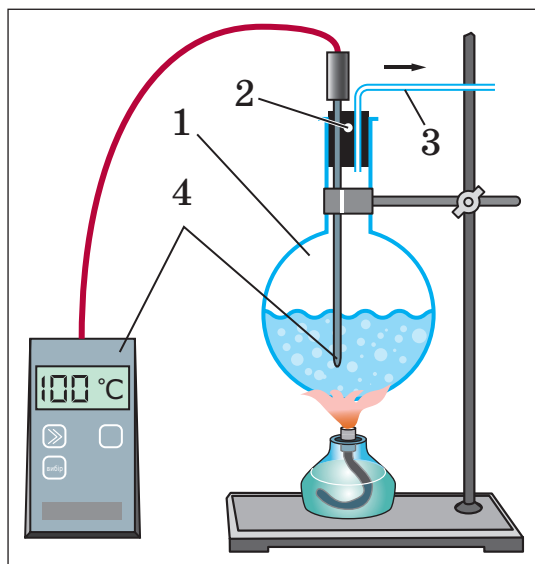


Рис. 14.1. Пристрій для спостереження та вивчення процесу кипіння рідини:

- 1 — скляна колба з водою;
- 2 — гумовий корок з отворами;
- 3 — трубка для відведення водяної пари;
- 4 — термометр

Через якийсь час дно та стінки колби вкриються *бульбашками* (рис. 14.2, а), які утворені розчиненими у воді газами та водяною парою*. Річ у тім, що зі збільшенням температури розчинність газів зменшується і «зайвий» газ виділяється всередину бульбашок, також

* Насправді мікробульбашки газу в рідині є завжди, проте помітними вони стають тільки за досить високої температури.

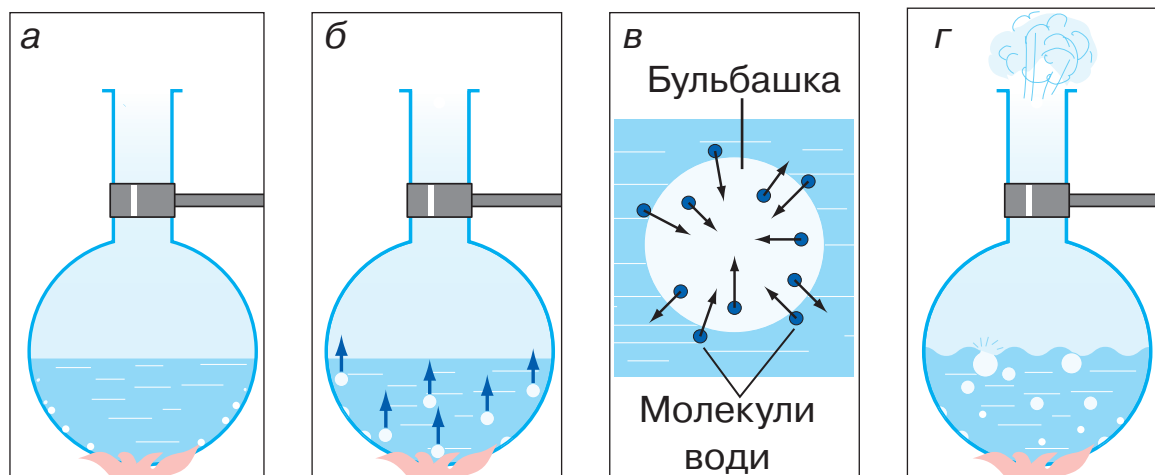


Рис. 14.2. Спостереження процесу закипання води

усередину бульбашок випаровується вода. Зі зростанням температури тиск газу всередині бульбашок теж зростає, і щойно він перевищить зовнішній тиск, бульбашки почнуть збільшуватися.

Після досягнення бульбашкою певного об'єму *архімедова сила* відриває її від дна посудини й бульбашка піднімається (рис. 14.2, б). На місцях бульбашок, що відірвалися, залишається невелика кількість газу — *зародки нових бульбашок*.

Верхні шари рідини певний час холодніші за нижні, тому у верхніх шарах водяна пара в бульбашках конденсується і бульбашки різко зменшуються в об'ємі — схлопуються. Цей процес супроводжується шумом і утворенням численних дрібних бульбашок. Вода стає каламутною — говорять, що вона «кипить білим ключем».

Коли рідина прогріється (температури верхніх і нижніх шарів зрівняються), бульбашки, піднімаючись, уже не зменшуватимуться в об'ємі, а навпаки, збільшуватимуться, *адже весь час усередину бульбашок активно*

випаровується вода (рис. 14.2, в). Досягнувши поверхні рідини, бульбашки лопаються і викидають назовні значну кількість водяної пари (рис. 14.2, г). Вода при цьому вирує і клекоче — ми кажемо, що вона закипіла. Термометр у цей момент показує температуру 100°C .

Кипіння — це процес пароутворення, який відбувається в усьому об'ємі рідини та супроводжується утворенням і зростанням бульбашок пари.

2. Від чого залежить температура кипіння

Продовжимо експеримент (див. рис. 14.1). Будемо нагрівати далі воду, що вже кипить, і спостерігати за показами термометра. Побачимо, що стовпчик термометра застиг на позначці 100°C . Отже, *під час кипіння температура рідини не змінюється*.

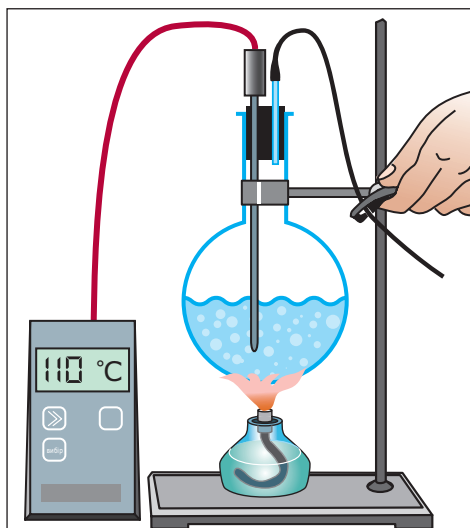


Рис. 14.3. У разі збільшення тиску всередині колби температура кипіння зростає

Температуру, за якої рідина кипить, називають **температурою кипіння**.

? Під час готування їжі, після того як рідина закипить, доцільно зменшити потужність нагрівника. Чому?

З'ясуємо, від чого залежить температура кипіння рідини. Спочатку припинимо вихід пари з колби, міцно затиснувши трубку, яка відводить пару (рис. 14.3). Пара збирається над поверхнею води,

тиск над рідиною збільшиться, кипіння на якийсь час припиниться, а температура рідини почне підвищуватися. Отже, температура кипіння залежить від зовнішнього тиску. Зі збільшенням зовнішнього тиску температура кипіння рідини зростає.

Якщо в колбу налити теплу воду й за допомогою помпи почати відкачувати з колби повітря, через деякий час на внутрішній поверхні колби з'являться бульбашки газу. Якщо відкачувати повітря й далі, вода закипить (рис. 14.4), але вже за температури, нижчої від 100°C . Зі зменшенням зовнішнього тиску температура кипіння рідини знижується.

Спостерігаючи кипіння інших рідин, наприклад спирту, олії, ефіру, можна помітити, що за однакового тиску вони киплять за різних температур. Тобто температура кипіння залежить від роду рідини. Про температуру кипіння деяких рідин за нормального атмосферного тиску ви можете дізнатися з табл. 4 Додатка.

Температура кипіння також залежить від наявності в рідині розчиненого газу. Якщо довго кип'ятити воду, в такий спосіб видаливши з неї розчинений газ, то

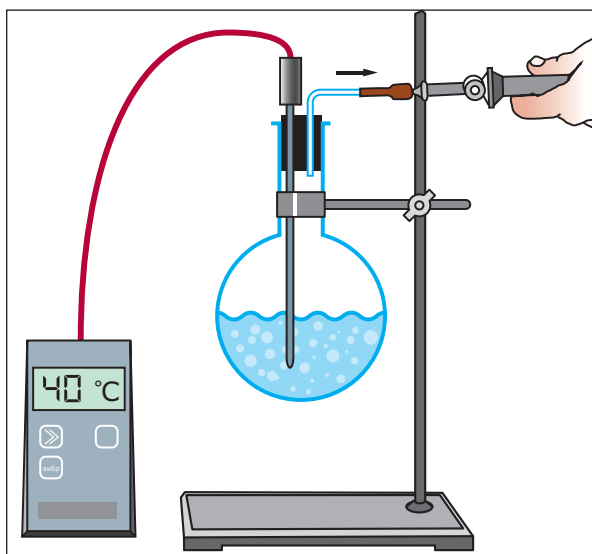


Рис. 14.4. Спостереження зниження температури кипіння води за умови зменшення зовнішнього тиску

повторно за нормального тиску цю воду можна буде нагріти до температури, яка перевищує 100 °С. Таку воду називають *перегрітою*. Аналогічно за відсутності центрів кристалізації можна отримати *переохолоджену воду*, температура якої менша 0 °С.

3. Питома теплота пароутворення

Процес кипіння — це процес переходу рідини в пару, і цей процес іде з поглинанням енергії. Тому *для підтримування кипіння до рідини потрібно підводити певну кількість теплоти*. Ця енергія йде на розривання міжмолекулярних зв'язків і утворення пари.

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

Питома теплота пароутворення — це фізична величина, що характеризує певну речовину й дорівнює кількості теплоти, яку необхідно передати рідині масою 1 кг, щоб за незмінної температури перетворити її на пару.

Питому теплоту пароутворення позначають символом r^* і обчислюють за формулою:

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

де Q — кількість теплоти, отримана рідиною; m — маса одержаної пари.

Одиниця питомої теплоти пароутворення в СІ — джоуль на кілограм: $[r] = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$.

* Іноді використовують також символ L .

Питому теплоту пароутворення визначають дослідним шляхом (див. задачу 2 у пункті 4 § 14) і заносять до таблиць (див. табл. 5 Додатка).

Щоб обчислити кількість теплоти, необхідну для перетворення рідини на пару за незмінної температури, слід питому теплоту пароутворення цієї рідини помножити на її масу:

$$Q = r m,$$

де Q — кількість теплоти, яку поглинає рідина; r — питома теплота пароутворення; m — маса рідини (маса утвореної пари). (Дійсно, за означенням питомої теплоти пароутворення: $r = \frac{Q}{m}$, звідки $Q = r m$.)

Якщо перед трубкою для відведення пари помістити якийсь холодний предмет, то пара конденсуватиметься на ньому (рис. 14.5). Ретельні вимірювання показують, що в ході конденсації пари виділяється та сама кількість теплоти, що йде на утворення цієї пари.

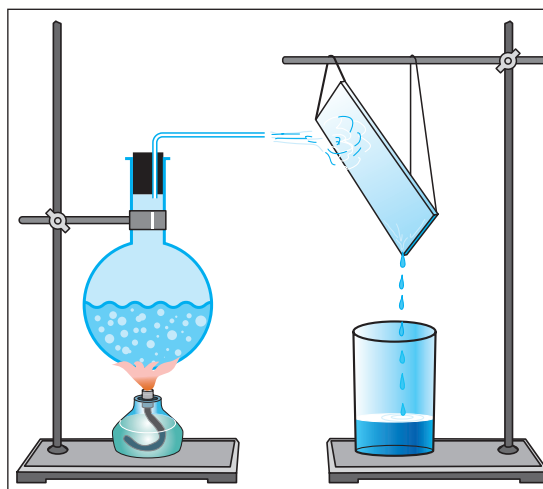
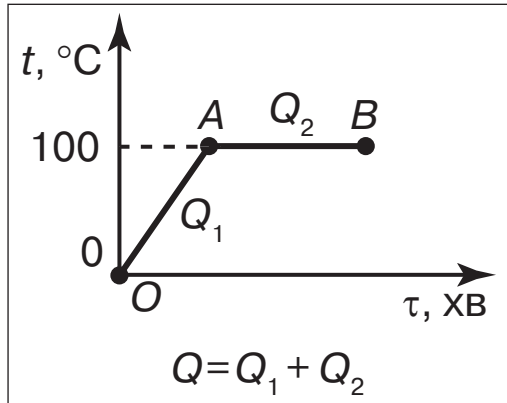


Рис. 14.5. Дослід, що демонструє конденсацію пари

4. Учимося розв'язувати задачі

Задача 1. Яка кількість теплоти необхідна, щоб довести до кипіння й повністю випарувати 3 кг води, взятої за температури $0\text{ }^{\circ}\text{C}$?

Аналіз фізичної проблеми. Побудуємо графік залежності температури води від часу нагрівання.



У перший момент температура води (t_0) була $0\text{ }^\circ\text{C}$ — точка O на графіку. У ході нагрівання температура води збільшуватиметься прямо пропорційно кількості отриманої теплоти Q_1 , а отже, і часу нагрівання (ділянка OA).

Нагрівшись до $100\text{ }^\circ\text{C}$ (температура кипіння води), вода починає кипіти, і її температура не буде змінюватися доти, доки вся вода не випарується (ділянка AB графіка). Вода при цьому одержує певну кількість теплоти Q_2 .

Питому теплоємність c води і питому теплоту пароутворення r знайдемо відповідно в [табл. 1, 5 Додатка](#).

Дано:

$$m = 3 \text{ кг}$$

$$t_0 = 0\text{ }^\circ\text{C}$$

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

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

$$r = 2,3 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}} = 2,3 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

Знайти:

$$Q - ?$$

$Q_1 = cm(t - t_0)$ — кількість теплоти, необхідна для нагрівання води; (1)

$Q_2 = rm$ — кількість теплоти, необхідна для перетворення води на пару; (2)

$Q = Q_1 + Q_2$ — загальна кількість теплоти. (3)

Підставивши формули (1) і (2) у формулу (3), отримаємо:

$$Q = cm(t - t_0) + rm.$$

Знайдемо значення шуканої величини:

$$[Q] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot \text{кг} \cdot ^\circ\text{C} + \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot \text{кг} = \text{Дж} + \text{Дж} = \text{Дж};$$

$$Q = 4200 \cdot 3 \cdot (100 - 0) + 2,3 \cdot 10^6 \cdot 3 = 8\,160\,000 \text{ (Дж)}.$$

Відповідь: $Q = 8,16 \text{ МДж}$.

Задача 2. Під час досліду з визначення питомої теплоти пароутворення води водяна пара, що має температуру 100°C , надходить до калориметра, в якому міститься 500 г води за температури 20°C (див. рисунок). Після закінчення досліду температура води в калориметрі становила 50°C , а її маса збільшилася на 25 г . Обчисліть питому теплоту пароутворення води. Вважайте, що теплообмін із довкіллям відсутній.

$$t_1 = 100^\circ\text{C}$$

$$m_{\text{води}} = 500 \text{ г} = 0,5 \text{ кг}$$

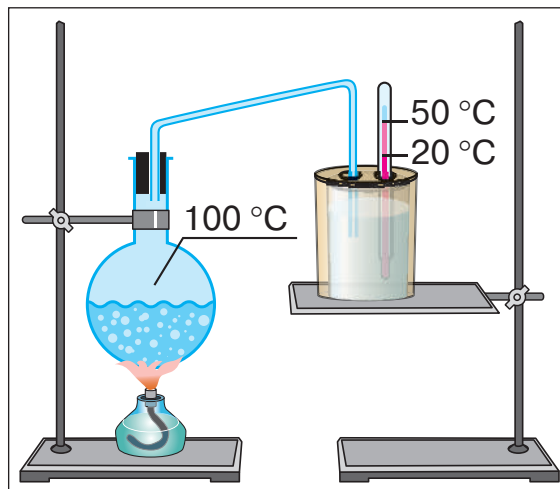
$$t_2 = 20^\circ\text{C}$$

$$t = 50^\circ\text{C}$$

$$m_{\text{пари}} = 25 \text{ г} = 0,025 \text{ кг}$$

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

$$r = ?$$



Аналіз фізичної проблеми, розв'язання. Під час досліду відбувається теплообмін між водою в калориметрі та паром.

Віддає енергію:

водяна пара

- спочатку конденсується:

$$Q_1 = r m_{\text{пари}};$$

- отримана вода охолоджується від 100 до 50°C :

$$Q_2 = c_{\text{води}} m_{\text{пари}} (t_1 - t).$$

Отримує енергію:

вода в калориметрі

- нагрівається від 20 до 50°C :

$$Q_3 = c_{\text{води}} m_{\text{води}} (t - t_2).$$

За умовою задачі теплообмін з довкіллям відсутній, тому:

$$Q_1 + Q_2 = Q_3,$$

$$\text{або } r m_{\text{пари}} + c_{\text{води}} m_{\text{пари}} (t_1 - t) = c_{\text{води}} m_{\text{води}} (t - t_2).$$

Звідси знайдемо питому теплоту пароутворення:

$$\begin{aligned} r m_{\text{пари}} &= c_{\text{води}} m_{\text{води}} (t - t_2) - c_{\text{води}} m_{\text{пари}} (t_1 - t) \Rightarrow \\ \Rightarrow r &= \frac{c_{\text{води}} m_{\text{води}} (t - t_2) - c_{\text{води}} m_{\text{пари}} (t_1 - t)}{m_{\text{пари}}}. \end{aligned}$$

Знайдемо значення шуканої величини:

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

$$r = \frac{4200 \cdot 0,5 \cdot 30 - 4200 \cdot 0,025 \cdot 50}{0,025} = 2\,310\,000 \left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \right).$$

Аналіз результату. Отриманий результат ($r = 2,31$ МДж/кг) майже збігається з табличним значенням, отже, задачу розв'язано правильно.

$$\text{Відповідь: } r = 2,31 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}.$$



Підбиваємо підсумки

Процес пароутворення, який відбувається в усьому об'ємі рідини та супроводжується утворенням і зростанням бульбашок пари, називають кипінням.

Температура кипіння залежить від зовнішнього тиску, роду рідини та наявності розчинених у рідині газів.

Питома теплота пароутворення — це фізична величина, що характеризує певну речовину й дорівнює

кількості теплоти, яку необхідно передати рідині масою 1 кг, щоб за незмінної температури перетворити її на пару.

Питому теплоту пароутворення обчислюють за формулою $r = \frac{Q}{m}$ і вимірюють у джоулях на кілограм:

$$[r] = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$

Кількість теплоти, яка необхідна для перетворення рідини на пару, дорівнює кількості теплоти, яку виділяє ця пара, конденсуючись. Цю кількість теплоти обчислюють за формулою $Q = r m$.









Контрольні запитання

1. Що таке кипіння?
2. Які явища спостерігаються в рідині перед тим, як вона починає кипіти?
3. Яка сила змушує бульбашку газу підніматися на поверхню рідини?
4. Від яких чинників залежить температура кипіння рідини?
5. На що витрачається енергія, яку одержує рідина під час кипіння?
6. Що називають питомою теплотою пароутворення?
7. За якою формулою можна обчислити кількість теплоти, яка поглинається під час пароутворення або виділяється під час конденсації?



Вправа № 14

1. Відомо, що температура кипіння води на вершині гори Еверест становить близько 70 °С. Як ви думаєте, чому?
2. Питома теплота пароутворення води становить 2,3 МДж/кг. Що це означає?

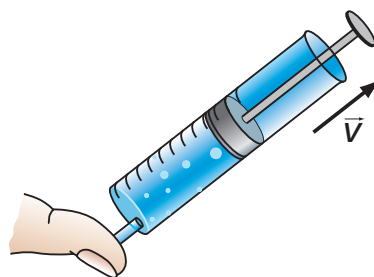
-  **3.** Яку кількість теплоти необхідно передати воді масою 10 кг, узятій за температури кипіння, щоб перетворити її на пару?
-  **4.** Чому опік паром є небезпечнішим, ніж опік окропом?
-  **5.** На скільки збільшиться внутрішня енергія 10 кг льоду, узятото за температури 0 °С, у результаті перетворення його на пару, що має температуру 100 °С?
-  **6.** У каструлі з водою, що кипить, розміщено відкриту колбу з водою. Чи кипить вода в колбі?
-  **7.** Якщо космонавт у відкритому космосі відкриє пляшку з водою, то вода буде одночасно кипіти й кристалізуватися. Поясніть це явище.
-  **8.** Скориставшись додатковими джерелами інформації, дізнайтеся про практичне застосування кипіння. Зокрема, з'ясуйте, як улаштована каструля-скороварка, чому температура кипіння води в ній сягає 130 °С. Де ще застосовують властивість рідини збільшувати (зменшувати) температуру кипіння зі збільшенням (зменшенням) зовнішнього тиску?



Експериментальні завдання

- 1.** У прозору скляну пляшку обережно налейте невелику кількість гарячої води. Погойдайте воду в пляшці, збільшуючи таким чином площу вільної поверхні води, а отже, швидкість випаровування. Новоутворена пара витисне з пляшки частину повітря. Щільно закоркуйте пляшку, переверніть і остудіть її дно за допомогою холодної води або снігу. Вода в пляшці закипить. Поясніть спостережуване явище.

2. Візьміть одноразовий шприц без голки, приблизно наполовину заповніть його теплою водою. Щільно затуліть отвір пальцем. Повільно витягайте поршень і спостерігайте за кипінням води (див. рисунок). Поясніть спостережуване явище.



Відеодослід. Перегляньте відеоролик і поясніть спостережуване явище.



ФІЗИКА І ТЕХНІКА В УКРАЇНІ

Чернівецький національний університет імені Юрія Федьковича був заснований у 1875 р.

Сьогодні серед основних напрямів досліджень, пов'язаних із фізикою, можна назвати теоретичні та прикладні дослідження напівпровідникового матеріалознавства; розроблення нових технологій, матеріалів, приладів для опто-, радіо- та мікроелектроніки, напівпровідникового приладобудування; кореляційну оптику та голографію; ІТ-технології, зокрема кібербезпеку.



§ 15. ТЕПЛОТА ЗГОРЯННЯ ПАЛИВА. ККД НАГРІВНИКА

Коробка із сірниками і сірник — два холодних твердих тіла. Але якщо потерти головку сірника об коробку, сірник спалахне. Звідки береться ця енергія? Завдяки виконаній роботі? Але ж якщо навіть довго і з зусиллями терти сірник другим кінцем, стільки тепла не виділиться. Відповіді ви знайдете в цьому параграфі.

1. Знайомимося з різними видами палива

Ми часто маємо потребу збільшити температуру якогось тіла. Так, щоб у кімнаті було тепліше, слід збільшити температуру води в батареях опалення, щоб приготувати їжу — температуру повітря в духовці. Для збільшення температури люди здавна використовували енергію, яка виділяється під час хімічної реакції *горіння палива* (див. наприклад, [рис. 15.1](#)).

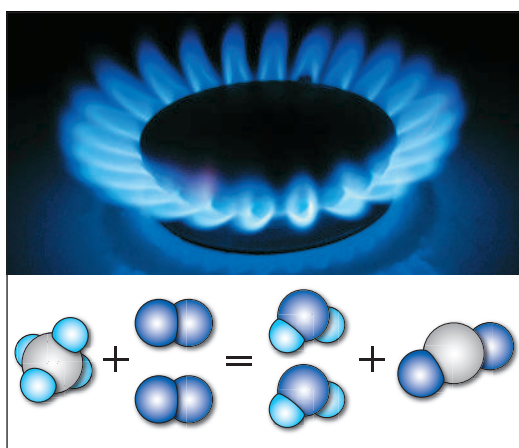


Рис. 15.1. Реакція взаємодії метану (основного складника природного газу) та кисню супроводжується виділенням теплоти:

$$\text{CH}_4 + 2\text{O}_2 \rightarrow 2\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 + Q$$

Паливом можуть бути як природні речовини (кам'яне вугілля, нафта, торф, дрова) ([рис. 15.2](#)), так і одержані людиною (гас, бензин, порох, етиловий спирт) ([рис. 15.3](#)). Паливо буває *твердим* (кам'яне вугілля, торф, дрова,



Рис. 15.2. Дрова — тверде природне паливо

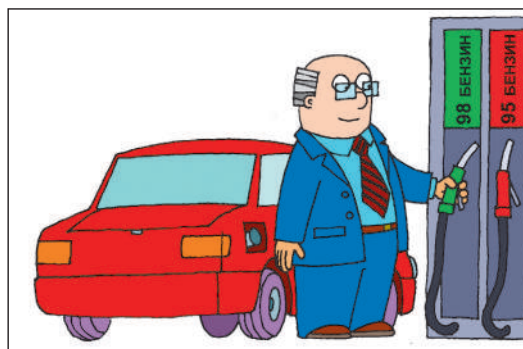


Рис. 15.3. Бензин — рідке паливо, одержане людиною



Рис. 15.4. Для сучасної цивілізації паливо — умова існування

сухе пальне), *рідким* (нафта, гас, бензин, дизельне паливо) і *газоподібним* (природний газ, пропан, бутан).

Для сучасної цивілізації паливо — необхідна умова існування (рис. 15.4). Хімічна енергія, «запасена» в паливі, перетворюється на інші види енергії.

2. Питома теплота згоряння палива

Види палива різняться теплотворною здатністю. Переконаємось у цьому за допомогою досліду.

Поставимо на ліву шальку терезів спиртівку, наповнену спиртом. Над спиртівкою підвісимо металеву банку з водою, перед тим вимірявши температуру води. Після того як зрівноважимо терези, покладемо на ліву шальку важок масою 1 г. Рівновага терезів порушиться (рис. 15.5, а). Запалимо спиртівку. У міру згоряння спирту маса спиртівки зі спиртом зменшуватиметься, і через

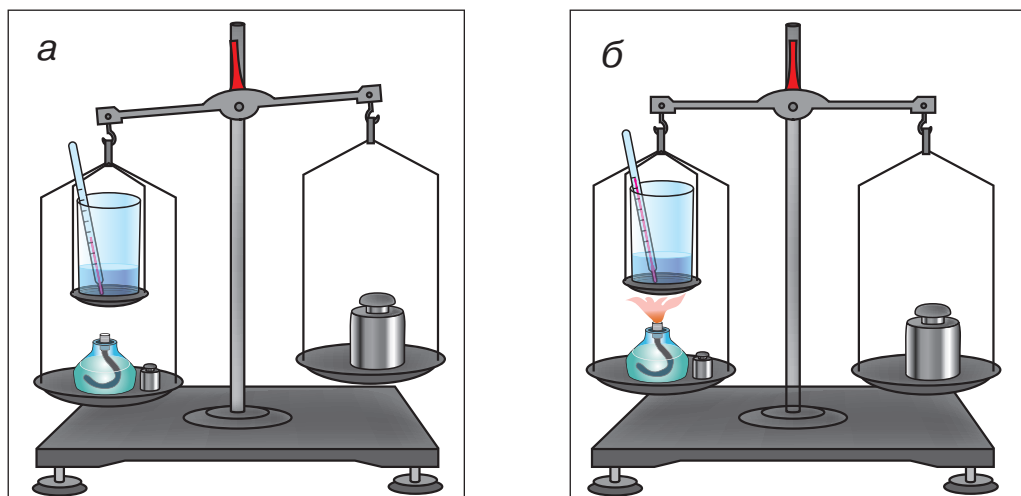


Рис. 15.5. Демонстрація відмінності різних видів палива

якийсь час рівновага терезів відновиться (це буде означати, що згорів 1 г спирту) (рис. 15.5, б). У цей момент погасимо спиртівку і знову виміряємо температуру води.

Повторимо дослід, узявши спиртівку, наповнену гасом. У цьому випадку вода нагріється більше. Це означає, що під час згорання 1 г гасу виділилося більше енергії, ніж під час згорання 1 г спирту.

Для кількісної характеристики теплотворної здатності палива застосовують фізичну величину, яку називають *питома теплота згорання палива*.

Питома теплота згорання палива — це фізична величина, яка характеризує певне паливо і чисельно дорівнює кількості теплоти, що виділяється під час повного згорання 1 кг цього палива.

Питому теплоту згорання палива позначають символом q та обчислюють за формулою:


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

де Q — кількість теплоти, що виділяється в ході повного згоряння палива масою m .

Із формули для означення питомої теплоти згоряння палива дістанемо *одиницю цієї величини в СІ* — **джоуль на кілограм**:

$$[q] = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$

Питому теплоту згоряння різних видів палива визначають у лабораторних умовах і заносять до таблиць (див. табл. 6 Додатка).

 У табл. 6 Додатка бачимо, що питома теплота згоряння торфу становить 15 МДж/кг. Що це означає? Скільки теплоти виділиться під час згоряння 2 кг торфу?

Знаючи питому теплоту згоряння q і масу m палива, обчислимо *кількість теплоти Q , яка виділиться в ході повного згоряння цього палива*: оскільки $q = \frac{Q}{m}$, то

$$Q = qm.$$

3. Коефіцієнт корисної дії (ККД) нагрівника

Для спалювання палива використовують різні нагрівники: печі та каміни, газові котли, пальники й спиртівки, примуси, паяльні лампи та інше (рис. 15.6).

Конструкція нагрівника залежить від виду палива, яке в ньому згоряє, і від того, для чого використовують теплоту. Наприклад, якщо потрібно опалювати помешкання, а паливом є газ, то доцільно придбати газовий котел; для фізичних дослідів, у яких паливом буде спирт, як нагрівник обирають спиртівку. Проте *неможливо*

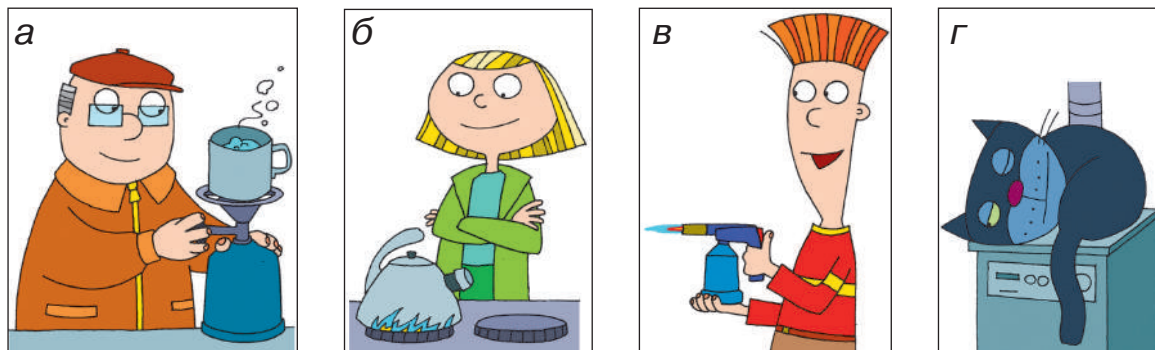


Рис. 15.6. Деякі нагрівальні пристрої: примус (а); газова плита (б); паяльна лампа (в); газовий котел (г)

повністю використати всю енергію, що «накопичена» в паливі. По-перше, жодне паливо не може в реальних умовах згоріти повністю. По-друге, якась частина енергії витрачається марно (наприклад, відлітає з продуктами згоряння, іде на нагрівання навколишнього середовища).

Коефіцієнт корисної дії нагрівника — це фізична величина, яка характеризує ефективність нагрівника й дорівнює відношенню корисно спожитої теплоти до всієї теплоти, яка може бути виділена під час повного згоряння палива:

$$\eta = \frac{Q_{\text{кор}}}{Q_{\text{повна}}}, \quad \text{або} \quad \eta = \frac{Q_{\text{кор}}}{Q_{\text{повна}}} \cdot 100 \%,$$

у відсотках:

де η — коефіцієнт корисної дії нагрівника; $Q_{\text{кор}}$ — корисно спожита теплота; $Q_{\text{повна}}$ — теплота, яка може бути виділена в процесі повного згоряння даного палива.

4. Учимося розв'язувати задачі

Задача. Туристи зупинилися біля струмка й вирішили приготувати чай. Яку мінімальну кількість сухих

дров слід заготовити туристам, щоб закип'ятити 10 кг води? Вода одержує 15 % енергії, що виділяється під час згоряння дров. Температура води в струмку 15 °С.

$$m_{\text{води}} = 10 \text{ кг}$$

$$\eta = 15 \% = 0,15$$

$$t_0 = 15 \text{ }^\circ\text{C}$$

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

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

$$q_{\text{дров}} = 1 \cdot 10^7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

$$m_{\text{дров}} \text{ — ?}$$

Розв'язання

Для розв'язання задачі скористаємося формулою для обчислення ККД нагрівника:

$$\eta = \frac{Q_{\text{кор}}}{Q_{\text{повна}}} \quad (1)$$

Кількість теплоти, яка необхідна для нагрівання води:

$$Q_{\text{кор}} = c_{\text{води}} m_{\text{води}} (t - t_0) \quad (2)$$

Кількість теплоти, яка виділяється під час повного згоряння дров:

$$Q_{\text{повна}} = q_{\text{дров}} m_{\text{дров}} \quad (3)$$

Підставивши формули (2) і (3) у формулу (1), дістанемо:

$$\eta = \frac{c_{\text{води}} m_{\text{води}} (t - t_0)}{q_{\text{дров}} m_{\text{дров}}} \Rightarrow m_{\text{дров}} = \frac{c_{\text{води}} m_{\text{води}} (t - t_0)}{\eta q_{\text{дров}}}$$

Температура кипіння води 100 °С. Питому теплоємність води й питому теплоту згоряння дров знайдемо відповідно в табл. 1 і 6 Додатка.

Визначимо значення шуканої величини:

$$\left[m_{\text{дров}} \right] = \left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot \text{кг} \cdot ^\circ\text{C} \right) : \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} = \frac{\text{Дж} \cdot \text{кг}}{\text{Дж}} = \text{кг};$$

$$m_{\text{дров}} = \frac{4200 \cdot 10 \cdot (100 - 15)}{0,15 \cdot 1 \cdot 10^7} = \frac{4200 \cdot 10 \cdot 85}{15 \cdot 10^5} = 2,38 \text{ (кг)}.$$

Аналіз результату. Щоб нагріти воду, туристам потрібно 2,38 кг дров. Результат є цілком реальним.

Відповідь: $m_{\text{дров}} = 2,38$ кг.



Підбиваємо підсумки

Хімічна реакція горіння палива відбувається з виділенням теплоти. Кількість виділеної теплоти обчислюють за формулою $Q = qm$, де q — питома теплота згоряння палива; m — маса палива.

Питома теплота згоряння палива дорівнює кількості теплоти, яка виділяється в процесі повного згоряння 1 кг цього палива. Ця фізична величина є характеристикою теплотворної здатності палива й вимірюється в джоулях на кілограм (Дж/кг).

Згоряння палива відбувається в нагрівниках.

ККД нагрівника обчислюють за формулою $\eta = \frac{Q_{\text{кор}}}{Q_{\text{повна}}}$.

Зазвичай ККД подають у відсотках: $\eta = \frac{Q_{\text{кор}}}{Q_{\text{повна}}} \cdot 100 \%$.



Контрольні запитання

1. Які види палива ви знаєте? **2.** Опишіть дослід на підтвердження того, що під час горіння різних видів палива виділяється різна кількість теплоти. **3.** Яким є фізичний зміст питомої теплоти згоряння палива? Яка її одиниця в СІ? **4.** Як обчислити кількість теплоти, що виділяється в процесі повного згоряння палива? **5.** Дайте означення ККД нагрівника.



Вправа № 15

1. Питома теплота згоряння порошу набагато менша від питомої теплоти згоряння дров. Чому ж тоді

сірник, який горить у руці людини, є досить безпечним, а коли спалахує та сама маса пороху, то можна серйозно постраждати?

2. Яка кількість теплоти виділиться під час повного згоряння кам'яного вугілля масою 10 кг?

3. У процесі повного згоряння гасу виділилося 92 кДж теплоти. Якою була маса гасу?

4. На спиртівці нагріли 300 г води від 15 до 75 °С. Визначте ККД нагрівника, якщо на нагрівання витрачено 8 г спирту.

5. Чайник, що стоїть на газовому пальнику, містить 2 л води за температури 20 °С. Для нагрівання води витратили 42 г природного газу. До якої температури нагрілася вода, якщо вона одержала 40 % тепла, яке може виділитися під час повного згоряння газу.

6. Спробуйте пояснити, чому під час спалювання сирих дров виділяється менша кількість теплоти, ніж під час спалювання тієї самої маси сухих дров.

7. Установіть відповідність між фізичною величиною та виразом для її визначення.

1 Механічна робота

А ρV

2 Шлях

Б Fl

3 Потужність

В vt

4 Потенціальна енергія
піднятого тіла

Г A/t

Д mgh

Експериментальне завдання

Запишіть план проведення експерименту з визначення ККД нагрівника із сухим паливом. Які прилади та матеріали для цього потрібні? Якщо є можливість, проведіть експеримент.



§ 16. ПРИНЦИП ДІЇ ТЕПЛОВИХ ДВИГУНІВ. ККД ТЕПЛОВОГО ДВИГУНА

Людина може за добу виконати роботу, що дорівнює близько 1 млн джоулів. А середньодобове споживання енергії одним жителем Землі є більшим у сотні разів. Як людина отримує та використовує енергію?

1. Принцип дії теплових двигунів

З усієї енергії, яку споживає людина, близько 90 % становить енергія палива. На обігрівання приміщень і готування їжі йде тільки незначна частина цієї енергії — переважно людина використовує енергію палива, перетворюючи її на механічну. Як це відбувається?

Проведемо дослід. Щільно закоркуємо носик чайника і поставимо чайник із водою на пальник газової плити. Через деякий час помітимо, що кришка чайника почне підстрибувати. З'ясуємо, чому так відбувається.

Вода в чайнику починає закипати, тиск пари під кришкою збільшується. Настає момент, коли сила тиску пари стає більшою за силу тяжіння, що діє на кришку, і кришка підстрибує. У цей момент частина пари виходить назовні, сила тиску пари на кришку зменшується і сила тяжіння повертає кришку на місце (рис. 16.1). Якщо нагрівання продовжувати, процес повторюватиметься.

Отже, в описаній системі, яка складається з газового пальника й чайника з кришкою та киплячою водою, *за рахунок енергії, що виділяється внаслідок згоряння палива, виконується механічна робота, при цьому частина енергії віддається довкіллю.*

Якщо з кришкою чайника з'єднати якийсь механізм, дістанемо найпростішу модель *теплого двигуна.*

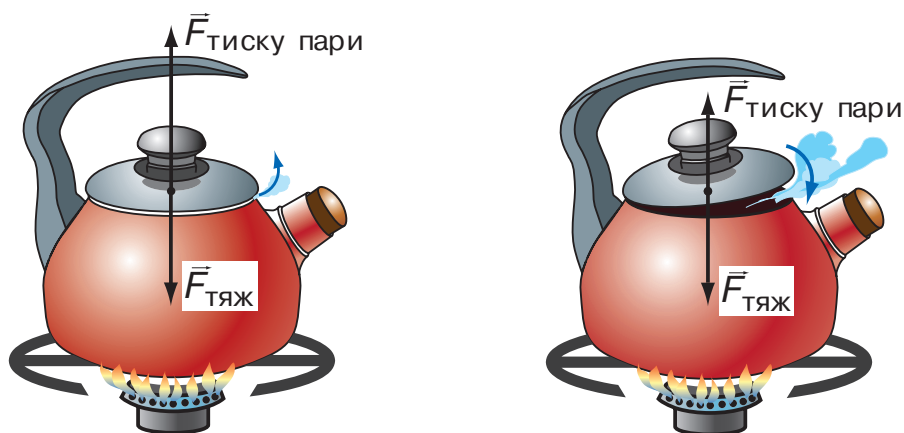


Рис. 16.1. На кришку чайника діють сила тяжіння ($F_{\text{тяж}} = mg$) і сила тиску пари. Якщо $F_{\text{тиску пари}} > F_{\text{тяж}}$, кришка підстрибує; якщо $F_{\text{тиску пари}} < F_{\text{тяж}}$, кришка повертається назад

Тепловий двигун — це теплова машина, яка перетворює енергію палива на механічну роботу.

Крім теплових двигунів існують інші види теплових машин. З'ясуємо на прикладі з чайником, із яких основних частин має складатися теплова машина.

По-перше, в зазначеній системі механічну роботу виконує пара, яка, розширюючись, піднімає кришку. *Газ, який виконує роботу в процесі свого розширення, називають **робочим тілом**.*

По-друге, пара під кришкою чайника утворюється і розширюється внаслідок нагрівання чайника на газовому пальнику. *Пристрій, від якого робоче тіло одержує певну кількість теплоти, називають **нагрівником**.*

По-третє, виходячи із чайника, водяна пара періодично віддає енергію довкіллю (якби цього не відбувалося, «двигун» не зміг би працювати циклічно — кришка не поверталася б у початкове положення і процес не повторювався б). *Об'єкт, якому робоче тіло віддає певну кількість теплоти, називають **холодильником**.*

Будь-яка теплова машина складається з трьох основних частин: *нагрівника, робочого тіла, холодильника* (рис. 16.2).

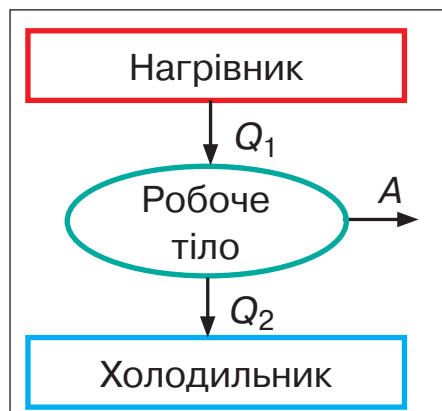


Рис. 16.2. Принцип дії теплових машин: робоче тіло одержує певну кількість теплоти (Q_1) від нагрівника, ця теплота частково витрачається на виконання роботи A , а частково (Q_2) передається холодильнику

2. Визначаємо ККД теплового двигуна

У будь-якому тепловому двигуні лише частина енергії, що «прихована» в паливі, витрачається на виконання роботи, адже паливо згоряє не повністю. До того ж частина виділеної енергії передається докільцю (втрачається). При цьому втрати енергії в теплових двигунах не обмежуються *тепловими втратами*. Частина енергії також витрачається на виконання роботи проти сил тертя частин і механізмів двигуна. Такі втрати енергії називають *механічними*. Очевидно: чим меншими є теплові й механічні втрати у двигуні, тим менше палива потрібно спалити, щоб отримати ту саму корисну роботу, і тим економічнішим є двигун.

Коефіцієнт корисної дії (ККД) теплового двигуна — це фізична величина, що характеризує економічність теплового двигуна й показує, яка частина всієї енергії, що «запасена» в паливі, перетворюється на корисну роботу.

ККД двигуна (η) обчислюють за формулою:

$$\eta = \frac{A_{\text{кор}}}{Q_{\text{повна}}},$$

або у відсотках:

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

де $A_{\text{кор}}$ — корисна робота; $Q_{\text{повна}}$ — кількість теплоти, що може виділитися в процесі повного згоряння палива.

Корисна робота завжди менша від кількості теплоти, що виділяється в процесі повного згоряння палива, тому ККД теплового двигуна завжди є меншим від 100 %. Зазвичай ККД теплових двигунів — 20–40 % (рис. 16.3).

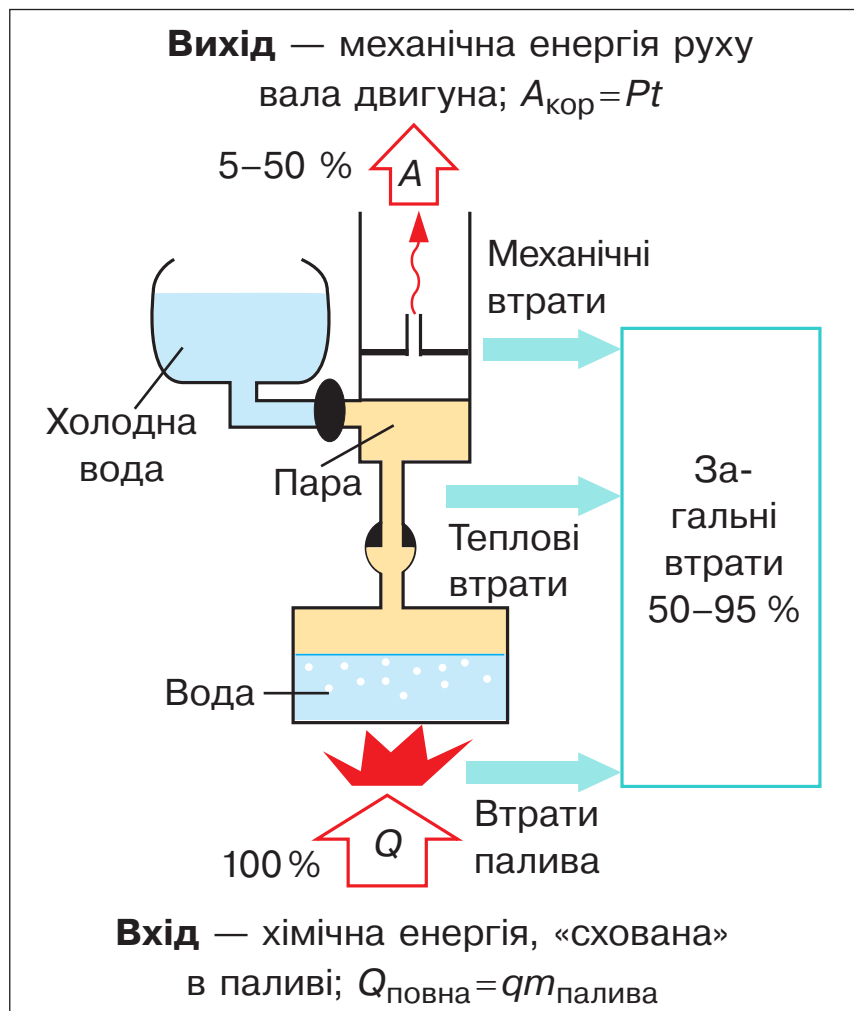


Рис. 16.3. ККД парових теплових двигунів і схема втрат енергії

**Підбиваємо підсумки**

Тепловий двигун — це машина, яка працює циклічно й перетворює енергію палива на механічну роботу.

Будь-яка теплова машина складається з трьох основних частин: нагрівника, робочого тіла, холодильника.

Принцип дії теплових машин: робоче тіло одержує певну кількість теплоти від нагрівника; частина цієї теплоти йде на виконання механічної роботи, а частина — віддається холодильнику.

Коефіцієнт корисної дії η двигуна — це фізична величина, що характеризує економічність теплового двигуна й показує, яка частина всієї енергії $Q_{\text{повна}}$, що «запасена» в паливі, перетворюється на корисну роботу $A_{\text{кор}}$. ККД

теплового двигуна обчислюють за формулою $\eta = \frac{A_{\text{кор}}}{Q_{\text{повна}}}$.

**Контрольні запитання**

1. Що таке тепловий двигун?
2. Назвіть основні частини теплового двигуна.
3. У чому полягає принцип дії теплового двигуна?
4. Назвіть основні види втрат енергії в теплових двигунах.
5. Дайте означення ККД теплового двигуна.
6. Чому ККД теплового двигуна завжди менший від 100 %?

**Вправа № 16**

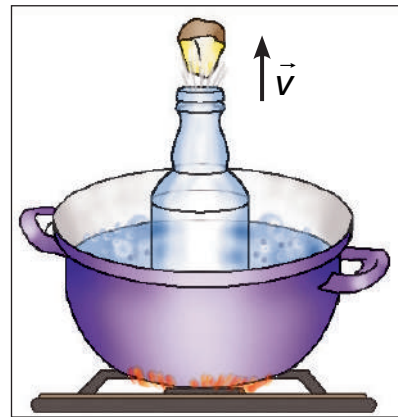
1. Під час повного згоряння палива в тепловому двигуні виділилося 500 кДж теплоти. Двигун виконав корисну роботу 125 кДж. Визначте ККД двигуна.
2. Під час роботи теплового двигуна використано 0,5 кг дизельного палива. При цьому двигун виконав корисну роботу 7 МДж. Обчисліть ККД двигуна.

3. Яку корисну роботу виконає тепловий двигун, ККД якого 20 %, якщо в ньому згорить 10 л бензину?
4. Яку середню потужність розвиває двигун мотоцикла, якщо за швидкості руху 90 км/год витрата бензину становить 4 кг на 100 км шляху? ККД двигуна 25 %. Густина бензину — 710 кг/м^3 .
5. Дізнайтеся про перші теплові машини.



Експериментальне завдання

«Картопляний постріл». Візьміть скляну пляшку, ополосніть її водою та закоркуйте картоплиною (обережно втисніть шийку пляшки в картоплину та приберіть залишки картоплини). Поставте пляшку в каструлю з водою й нагрівайте воду. Через деякий час «корок» вилетить (див. рисунок). Поясніть явище. Під час досліду не можна нахилитися над каструлею!



ФІЗИКА І ТЕХНІКА В УКРАЇНІ

Виробниче об'єднання «Південмаш» і конструкторське бюро «Південне» (Дніпро)

На початку 50-х рр. минулого століття великий автомобільний завод у Дніпропетровську було переобладнано на завод «Південмаш» із виробництва космічних ракет і створено конструкторське бюро (КБ) «Південне» для їх розробки.

У КБ було розроблено 67 типів космічних апаратів і 12 космічних комплексів, у тому числі комплекс «Зеніт» — один із найдосконаліших у світовій ракетно-космічній техніці.



§ 17. ДЕЯКІ ВИДИ ТЕПЛОВИХ ДВИГУНІВ

Історія промислового застосування теплових двигунів починається з парової машини, яку створив англійський учений *Джеймс Ватт* у 1768 р. У ХХ ст. на зміну першим паровим машинам прийшли сучасні двигуни внутрішнього згорання, парові й газові турбіни, реактивні двигуни. Із цього параграфа ви дізнаєтесь, як працюють деякі з них.

1. Вивчаємо будову та принцип дії парової турбіни

Парова турбіна (від латин. turbo — вихор, швидке обертання) — один із прикладів парових теплових двигунів. У парових двигунах енергія, яка виділяється під час згорання палива, йде на утворення водяної пари та її нагрівання, а вже потім нагріта пара, розширюючись, виконує механічну роботу.

Отже, робочим тілом парової турбіни є пара, яка утворюється з води й нагрівається до температури близько 600 °С у спеціальних парових котлах. Із котла пара під високим тиском надходить до турбіни.



А що під час роботи турбіни слугує холодильником? Розглянемо принцип дії найпростішої парової турбіни (рис. 17.1).

Струмені пари, вихоплюючись через сопла (1), спрямовуються на лопаті (2), закріплені на диску (3). Диск, у свою чергу, нерухомо закріплений на валу (4) турбіни. Під дією пари диск турбіни, а отже, і вал обертаються, тобто пара виконує роботу (рис. 17.2).

Парові турбіни широко використовують на електростанціях, де механічна енергія обертання турбіни перетворюється на електричну.

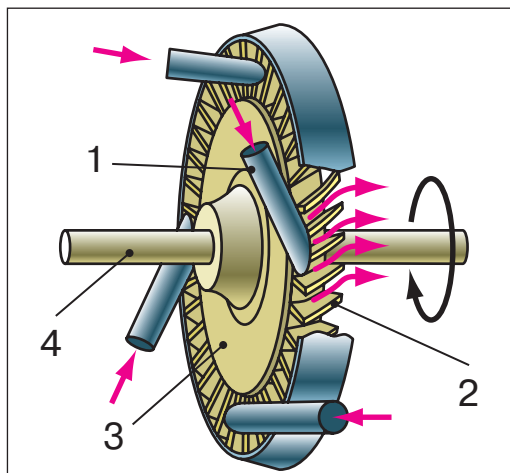


Рис. 17.1. Схема будови найпростішої парової турбіни: 1 — сопла; 2 — лопаті; 3 — диск; 4 — вал. Червоними стрілками позначено напрямки руху пари



Рис. 17.2. У сучасних турбінах для максимального використання енергії пари застосовують кілька дисків з лопатями, які насажено на один спільний вал

2. Ознайомлюємося з будовою двигуна внутрішнього згоряння

Одним із найпоширеніших видів теплових двигунів, що використовують у транспортних засобах, є *двигун внутрішнього згоряння*, який сконструював німецький винахідник *Ніколаус Отто* (1832–1891).

У процесі роботи двигуна внутрішнього згоряння *паливо згоряє безпосередньо всередині його циліндрів*, звідси й походження назви двигуна. Двигуни внутрішнього згоряння працюють на рідкому паливі або газі.

Двигун внутрішнього згоряння (рис. 17.3) складається із *циліндра* (1), в якому пересувається *поршень* (2). Усередині поршня шарнірно закріплений *шатун* (3). Шатун, у свою чергу, з'єднаний із *колінчастим валом* (4), обертання якого забезпечує обертання тягових коліс

транспортного засобу. У верхній частині циліндра є два канали, закриті *клапанами* (5). Через *впускний клапан пальної суміші* (суміш повітря з бензином або газом) надходить до циліндра; через *випускний клапан* викидаються відпрацьовані гази.

У деяких двигунів внутрішнього згоряння у верхній частині циліндра розміщено *запальну свічку* (6) — пристрій для запалювання пальної суміші за допомогою електричної іскри.

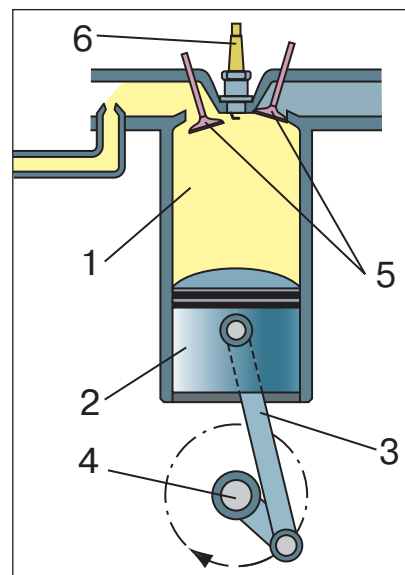


Рис. 17.3. Схема будови найпростішого двигуна внутрішнього згоряння

3. Розглядаємо роботу чотиритактного двигуна внутрішнього згоряння

Робочий цикл чотиритактного двигуна внутрішнього згоряння з електричним запалюванням складається відповідно із чотирьох тактів (рис. 17.4).

I такт — усмоктування (рис. 17.4, а). Поршень рухається вниз, у циліндрі падає тиск. У цей час відкривається впускний клапан і пальна суміш усмоктується в циліндр. Наприкінці I такту впускний клапан закривається.

II такт — стиснення (рис. 17.4, б). Поршень рухається вгору і стискає пальну суміш. Коли поршень доходить до крайнього верхнього положення, проскакує іскра і пальна суміш займається. Обидва клапани закриті.

III такт — робочий хід (рис. 17.4, в). Паливо горить, і розжарені гази штовхають поршень униз. Рух поршня передається шатуну, який примушує обертатися

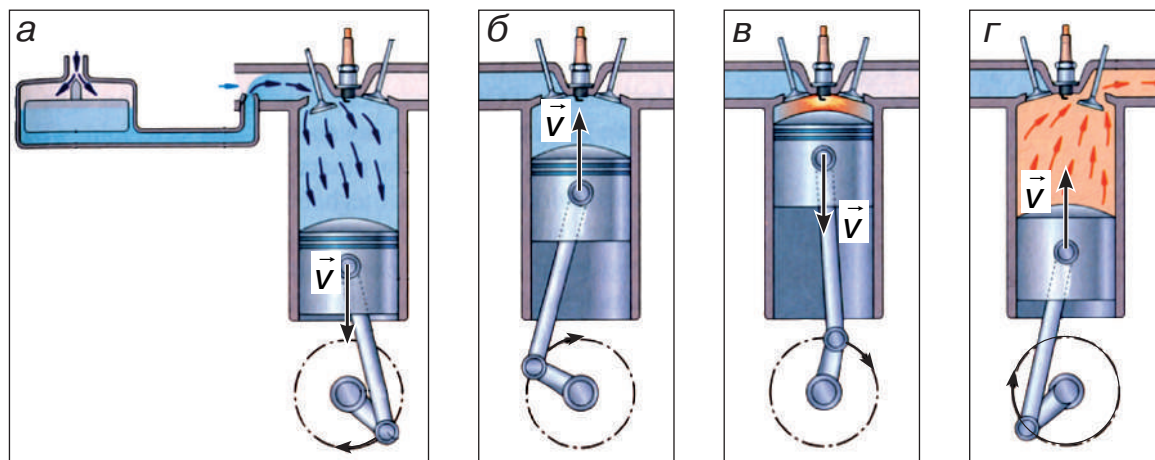


Рис. 17.4. Робота чотиритактного двигуна внутрішнього згоряння: *а* — усмоктування; *б* — стиснення; *в* — робочий хід; *г* — випускання

колінчастий вал, — двигун виконує *корисну роботу*. Наприкінці III такту відкривається випускний клапан.

IV такт — випускання (рис. 17.4, *г*). Поршень рухається вгору і через випускную трубу виштовхує продукти згоряння в атмосферу. Наприкінці IV такту випускний клапан закривається. Випускання відпрацьованих газів супроводжується *передачею деякої кількості теплоти доквіллю*.

Як і в будь-якому тепловому двигуні, у двигуні внутрішнього згоряння є *нагрівник* (повітряна суміш, що горить), *робоче тіло* (розжарені гази), *холодильник* (довквілля).

За цикл гази штовхають поршень тільки один раз, тому для рівномірної роботи двигунів ставлять чотири, шість і більше циліндрів.

Останнім часом дедалі ширше застосовують *дизельні двигуни*, названі так на честь німецького інженера *Рудольфа Дізеля* (1858–1913).

Дизельні двигуни, зокрема, не мають запальних свічок (запалювання відбувається внаслідок нагрівання суміші під час стиснення); вони можуть бути й двотактними, їхній ККД більш високий. У двигунів, описаних вище, ККД становить 20–25 %, у дизельних — 40 %.

4. Розмірковуємо про плюси та мінуси використання теплових двигунів

З огляду на сполуки, які утворюються в результаті хімічних реакцій горіння палива (див., наприклад, [рис. 15.1](#)), складається враження, що теплові машини близькі до досконалості, адже продукти реакції є екологічно чистими, тобто не забруднюють природу. Дійсно, вуглекислий газ (CO_2) входить до складу повітря, а вода (H_2O) наявна всюди навколо нас. Проте не слід робити квапливих висновків.

По-перше, практично всі види палива містять невелику кількість сірки, яка із часом перетворюється на шкідливу сульфатну кислоту.

По-друге, на більшості теплових станцій вугілля подається в топки в подрібненому вигляді. Ці частинки, згоряючи, утворюють попел, і певна його кількість розлітається на місцевості, забруднюючи її.

По-третє, в автомобільному двигуні паливо не завжди згоряє повністю, тому у вихлопних газах міститься значна частка отруйного чадного газу (CO).

І це далеко не вичерпний перелік шкідливих чинників!

Сьогодні забруднення атмосфери — проблема для всього людства. Тож як боротися з негативними наслідками використання теплових двигунів?

Існує кілька основних напрямів:

1) зменшення (або принаймні збереження на стабільному рівні) сумарної потужності теплових машин. Іншими словами, споживачі енергії (телевізори, двигуни, лампи тощо) мають *використовувати менше енергії*;

2) зменшення шкідливих викидів теплових електростанцій. Для цього застосовують, зокрема, спеціальні фільтри;

3) використання альтернативних джерел енергії.



Підбиваємо підсумки

Найдавнішим із теплових двигунів є парова турбіна. Роботу в ній виконує нагріта пара, яка за допомогою сопел спрямовується на лопаті турбіни й обертає її.

Ще одним прикладом теплового двигуна є двигун внутрішнього згоряння. У ньому паливо згоряє всередині циліндрів, а нагріте повітря, розширюючись, виконує роботу. Робочий цикл чотиритактного двигуна внутрішнього згоряння має відповідно чотири такти: усмоктування, стиснення, робочий хід, випускання.



Контрольні запитання

1. Які двигуни називають паровими? **2.** Назвіть основні частини парової турбіни. Опишіть, як вона працює. **3.** Що в паровій турбіні слугує нагрівником? холодильником? робочим тілом? **4.** Звідки походить назва двигуна внутрішнього згоряння? **5.** Назвіть основні частини двигуна внутрішнього згоряння та їхнє призначення. **6.** Які процеси відбуваються в чотиритактному двигуні внутрішнього згоряння під час кожного з чотирьох тактів? **7.** Доведіть, що теплові двигуни завдають шкідливого впливу на довкілля, і запропонуйте способи розв'язання цієї проблеми.



Вправа № 17

1. Які перетворення енергії відбуваються під час роботи парової турбіни?
2. ККД дизельних двигунів із системою турбонадуву з проміжним охолодженням сягає 54,5 %. Яка частина енергії, «запасеної» в паливі, що споживають ці двигуни, витрачається марно?
3. Чому температура пальної суміші в циліндрі дизельного двигуна під час стискання збільшується?
4. Чому в паровій турбіні температура відпрацьованої пари нижча від температури пари, яка надходить на лопаті турбіни?
5. Чому, на вашу думку, люди надають перевагу саме тепловим двигунам, незважаючи на їх недоліки?



§ 18. ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКА. ЗБЕРЕЖЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ

Життєдіяльність сучасної людини на кожному кроці потребує споживання енергії. Енергії зазвичай не вистачає, тому протягом свого існування людство накопичує знання щодо її економії. Особливо це є актуальним останнім часом, коли стало помітним «дно» світових запасів викопних ресурсів.

1. Теплоенергетика в житті людини

Протягом багатьох століть паливо було практично єдиним джерелом енергії для людства, інші джерела (вітер і вода) посідали незначне місце.

У ХХ ст. *альтернативні* джерела енергії стали відігравати помітну роль в енергетиці. Прикладами таких



Рис. 18.1. Гідроелектростанція (ДніпроГЕС)

джерел є гідроелектростанції, атомні електростанції, вітрогенератори, сонячні батареї (рис. 18.1–18.4).

Альтернативні джерела енергії, розроблення й створення яких потребує значних витрат, виникли «не від доброго життя». Адже саме у ХХ ст. різко зросло використання теплових машин — пристроїв, що перетворюють енергію палива на інші види енергії (електричну,



Рис. 18.2. Атомна електростанція (Запорізька АЕС)



Рис. 18.3. Вітрогенератор

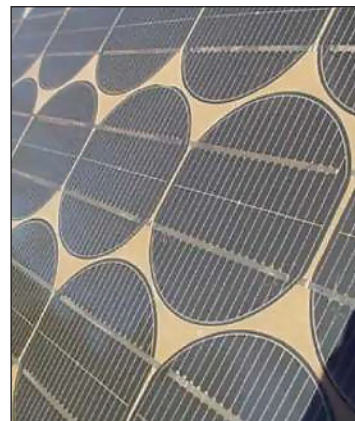


Рис. 18.4. Панель сонячних батарей

механічну). Ідеться насамперед про автомобілі та решту транспортних засобів, які використовують як джерело енергії продукти переробки *нафти* (бензин і дизельне паливо). Крім того, практично всюди для обігрівання житла та приготування їжі застосовують *природний газ*. Газ, нафту, *вугілля* використовують на теплових електростанціях, а також у виробничих процесах (металургія, хімічний синтез).

Зазначені види палива є *викопними ресурсами* і їх *запаси обмежені*. Приблизно за 100 років мільйони автомобілів «з'їли» значну кількість світових запасів нафти. Існує думка, що запаси природного газу вичерпаються протягом десь 40 років; розвіданих запасів вугілля вистачить на кількасот років. До того ж для спалювання вугілля, нафти та газу потрібна велика кількість кисню. Так, щоб спалити 1 кг вугілля, необхідно 2,7 кг кисню, 1 кг нафти — 3,4 кг, 1 кг природного газу (метану) — 4 кг.

2. Розмірковуємо про збереження енергетичних ресурсів

Наведені дані свідчать про те, що через декілька десятків років звичні зараз види палива опиняться на межі зникнення. Що ж робити?

На сьогодні пропонують *три основні напрями розв'язання проблеми «енергетичного голоду»*.

1. *Економія наявних викопних ресурсів*. Ідеться про використання нових технічних рішень — *енергозберезувальних технологій*.

2. *Поступова заміна палива з викопних ресурсів на паливо, одержуване з рослин*. Зараз уже використовують два типи технологій виробництва рослинного

палива: видобування заміників бензину з рослин, що містять цукор, та перероблення на дизельне паливо олії, одержуваної з деяких рослин (наприклад, ріпаку).

3. *Використання альтернативних джерел енергії.* На-самперед ідеться про ядерну енергію. Викопних запасів урану — палива для атомних станцій — вистачить на кілька сотень років. У багатьох країнах (Франція, Україна, США) цей вид виробництва електричної енергії є одним із провідних. Так, в Україні на атомних станціях виробляють близько половини всієї електроенергії.


3. Енергозберезувальні технології

Сучасні принципи енергозбереження полягають не лише в застосуванні певних новинок, нехай і унікальних. Принциповим є завдання *комплексного використання кількох технологій.*

Розглянемо звичайну квартиру. Найбільша кількість енергії, що надходить до неї, — це енергія, необхідна для обігрівання. Заміна традиційних вікон на склопакети, утеплення дверей, нанесення спеціального теплозахисного покриття на зовнішні стіни будинку дозволяють зекономити значну кількість тепла, яке зазвичай втрачається на «обігрів довкілля».

Часто гаряча вода надходить до будинків від котельень, які розташовані на відстані в декілька кілометрів. Усю цю відстань гаряча вода проходить по трубах. Такий довгий шлях постачання пов'язаний із великими втратами тепла. Якщо ж обігрівач (електричний або газовий котел) установити в квартирі, то цей шлях складатиме лише кілька метрів. Більш того, котел не тільки нагріває батареї, але й забезпечує гарячу воду для кухні та ванної.

Для економії електричної енергії слід застосовувати економічні лампи та електричні прилади з високим ККД.

 Поміркуйте, за рахунок чого ще можлива економія в домівках.

Ми навели простий приклад комплексного підходу до енергозберігання в помешканнях. Аналогічні принципи, тільки зі значно більшим кількісним ефектом, успішно застосовують для виробничих процесів.

4. Впливає теплоенергетики на природу

Доки теплові станції не мали великої потужності, а автомобілів було небагато, шкідливість теплових машин не дуже турбувала людство. Проблема стала актуальною в другій половині ХХ ст., коли з'явилися кислотні дощі, спричинені викидами електростанцій, люди почали задихатися в автомобільних заторах тощо.

Учені пропонують різні технічні вирішення цих проблем. Як приклад наведемо кілька рішень щодо *зменшення викидів бензинових двигунів*:

- видалення зі складу бензину отруйних сполук;
- «доспалювання» за допомогою спеціальних пристроїв чадного газу до менш шкідливого вуглекислого газу;
- створення екологічно чистих електромобілів (рис. 18.5). Електромобілі практично не забруднюють довкілля: в них використовують електричний двигун, що живиться від акумуляторів;
- використання автомобілів, оснащених двома двигунами — електричним і бензиновим: електричний двигун доцільно використовувати в місті (де багато автомобілів), а бензиновий — за містом (де забруднення повітря не є таким небезпечним).



Рис. 18.5. Зовні електричні автомобілі зовсім не відрізняються від своїх «бензинових братів»

Для людства існує ще одна велика проблема. Річ у тім, що під час роботи теплових машин виділяється вуглекислий газ (CO_2), який у великій кількості стає дуже небезпечним. За оцінками фахівців, за 200 років інтенсивної роботи теплових машин в атмосферу було викинуто близько одного трильйона (10^{12}) тонн CO_2 . На думку багатьох учених, саме ця величезна кількість вуглекислого газу спричинила так званий *парниковий ефект* — підвищення температури поверхні Землі. Чому так сталося?

Сонце, як ви знаєте, не тільки освітлює, але й обігріває Землю. Ще сто років тому одержуване Землею тепло практично повністю випромінювалося (поверталосся) у космос. Після того як у верхніх шарах атмосфери накопичилася значна кількість вуглекислого газу, цей газ став своєрідним «дзеркалом» для випромінювання з поверхні Землі. У результаті частина енергії затримується в атмосфері й нагріває її.

Через парниковий ефект середня температура поверхні Землі підвищилася на 0,6 °С. Але навіть це невелике нагрівання вже призвело, на думку вчених, до глобальних змін клімату. Якщо ж середня температура поверхні Землі підвищиться на 2 °С, то неминучими стануть глобальні катаклізми: танення льодовиків, піднімання рівня Світового океану, затоплення портових міст та ін.

Щоб уникнути таких катастрофічних наслідків, у 1997 р. в м. Кіото (Японія) уряди багатьох країн підписали так званий Кіотський протокол.

Згідно із цим документом для кожної країни світу визначено максимальний об'єм викидів CO₂ (від промислових і побутових джерел разом). Якщо цей об'єм перевищено, то країна-порушник сплачує певну суму штрафу, яку потім використовують для зниження рівня викидів. У 2015 р. Кіотський протокол був доповнений Паризькою угодою, в якій окреслено подальші перспективи обмеження викидів.



Підбиваємо підсумки

Нафта, природний газ і вугілля — це викопні ресурси, запаси яких є вичерпними, обмеженими.

Основні напрями подолання енергетичної кризи:

- економія наявних викопних ресурсів;
- впровадження новітніх технологій з метою зменшення використання палива з вичерпних ресурсів;
- використання альтернативних джерел енергії, насамперед ядерної енергії.

Використання новітніх технологій дозволяє зменшити споживання теплової енергії в кілька разів.



Контрольні запитання

1. Які джерела енергії здавна використовує людство? **2.** Які існують типи альтернативних джерел енергії? **3.** Яка причина безповоротного зменшення викопних ресурсів? **4.** Перелічіть основні напрями подолання енергетичної кризи. **5.** Наведіть приклади енергозберезувальних технологій. **6.** Як впливають теплові джерела енергії на навколишнє середовище? **7.** Що таке Кіотський протокол?



Вправа № 18

1. Основним джерелом енергії на Землі є Сонце. Скористайтеся додатковими джерелами інформації та дізнайтеся, де зараз використовується сонячна енергія і де вона може бути використана із часом.
2. Скористайтеся додатковими джерелами інформації та дізнайтеся про перспективи розвитку альтернативної енергетики України.



ФІЗИКА І ТЕХНІКА В УКРАЇНІ

Інститут технічної теплофізики НАН України (ІТТФ) (Київ) створений у 1947 р. на базі *Інституту енергетики АН УРСР*. На сьогодні ІТТФ — провідний в Україні центр у галузі теплоенергетики та енергозберезувальних теплотехнологій. Учені інституту працюють над вирішенням актуальних проблем: підвищення енергоефективності в ході вироблення, транспортування та споживання теплової енергії; комплексна модернізація об'єктів комунальної теплоенергетики шляхом розробки і реалізації регіональних програм, залучення до паливно-енергетичного потенціалу відновлювальних джерел енергії та місцевих видів палива.

Підбиваємо підсумки розділу І «Теплові явища»

У розділі І ви ознайомилися з деякими тепловими процесами, фізичними величинами, що характеризують ці процеси, а також із такими фундаментальними поняттями фізики, як температура і внутрішня енергія.

1. Ви довідалися, що внутрішню енергію можна змінити двома способами.



2. Ви довідалися, що зміну внутрішньої енергії в процесі теплопередачі характеризує фізична величина **кількість теплоти** Q . Як і енергія, кількість теплоти в СІ вимірюється в джоулях.

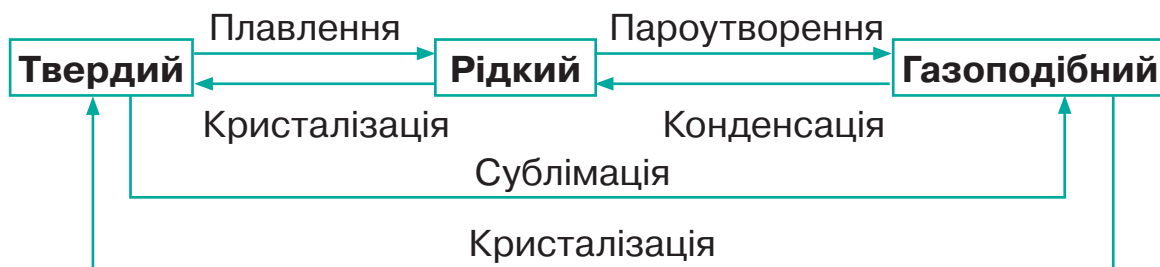
3. Ви дізналися про *рівняння теплового балансу*, яке відтворює *закон перетворення та збереження енергії* під час теплообміну.

РІВНЯННЯ ТЕПЛООВОГО БАЛАНСУ

В ізольованій системі тіл, у якій внутрішня енергія тіл змінюється тільки внаслідок теплопередачі, загальна кількість теплоти, відданої одними тілами системи, дорівнює загальній кількості теплоти, одержаної іншими тілами цієї системи:

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

4. Ви згадали, що існують *три стани речовини*.

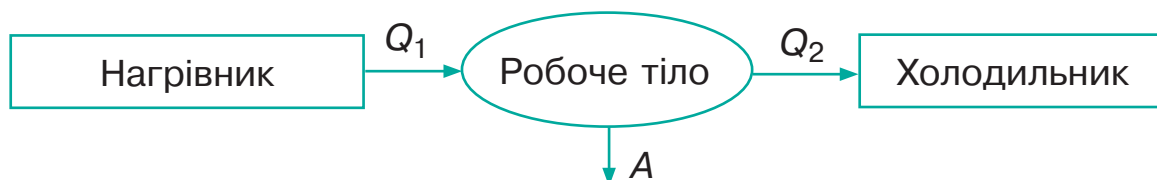


5. Ви дізналися про *фізичні величини*, які характеризують *теплові властивості речовин*.

Фізична величина	Символ для позначення	Одиниця	Формула для визначення
Питома теплоємність	c	$\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$	$c = \frac{Q}{m\Delta t}$
Питома теплота плавлення	λ	$\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	$\lambda = \frac{Q}{m}$
Питома теплота пароутворення	r	$\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	$r = \frac{Q}{m}$

6. Ви переконалися, що в процесі згоряння палива виділяється енергія, і довідалися, що ця енергія використовується в роботі як різних нагрівальних пристроїв, так і теплових двигунів.

ПРИНЦИП ДІЇ ТЕПЛОВИХ МАШИН



7. Ви довідалися про фізичні величини, які характеризують паливо, нагрівальні пристрої, теплові двигуни.

Фізична величина	Символ для позначення	Одиниця	Формула для визначення
Питома теплота згоряння палива	q	$\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	$q = \frac{Q}{m}$
ККД нагрівника	η	%	$\eta = \frac{Q_{\text{кор}}}{Q_{\text{повна}}} \cdot 100 \%$
ККД теплового двигуна	η	%	$\eta = \frac{A_{\text{кор}}}{Q_{\text{повна}}} \cdot 100 \%$

Завдання для самоперевірки до розділу I «Теплові явища»

Частина 1. Температура. Внутрішня енергія.
Теплопередача

У завданнях 1–5 виберіть одну правильну відповідь.

- 1.** (1 бал) Під час охолодження тіла зменшується:
а) кількість його молекул;
б) маса його молекул;
в) розмір його молекул;
г) швидкість руху його молекул;
- 2.** (1 бал) Унаслідок якого процесу внутрішня енергія повітря в повітряній кульці зменшується?
а) кульку надули;
б) кулька лопнула;
в) кульку занесли в тепле приміщення;
г) кулька повільно опустилася на підлогу.
- 3.** (2 бали) Мідна деталь під час нагрівання розширюється. При цьому збільшується:
а) відстань між атомами міді;
б) розмір атомів міді;
в) кількість атомів у деталі;
г) густина міді.
- 4.** (2 бали) Яка кількість теплоти виділиться під час охолодження 2 кг алюмінію на $50\text{ }^{\circ}\text{C}$?
а) 92 кДж; б) 100 кДж; в) 420 кДж; г) 920 кДж.
- 5.** (2 бали) Коли деякій речовині масою 100 г було передано 750 Дж теплоти, її температура збільшилася від 25 до $40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Яка це речовина?
а) алюміній; б) залізо; в) сталь; г) срібло.

- 6. (3 бали) Спекотного літнього дня хлопець і дівчинка одягнені в бавовняний одяг (рис. 1). Чому дівчинка почувається комфортніше?
- 7. (3 бали) Одна людина перебуває на Крайній Півночі, друга — в пустелі. Обидві одягнені «тепло» (рис. 2). Поясніть чому.

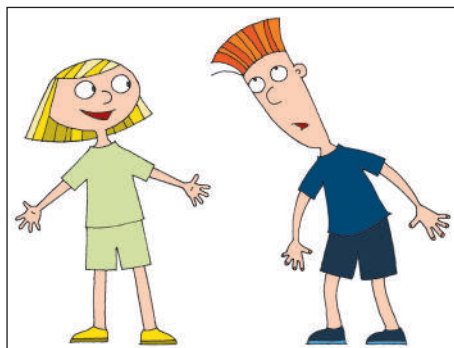


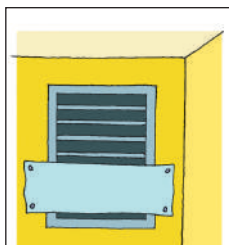
Рис. 1



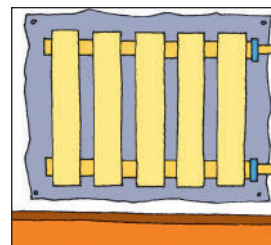
Рис. 2

- 8. (3 бали) Які з наведених дій приведуть до теплозбереження? Позначте всі правильні відповіді.

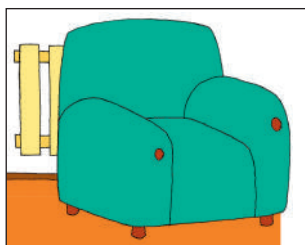
а) прикриття вентиляційної решітки



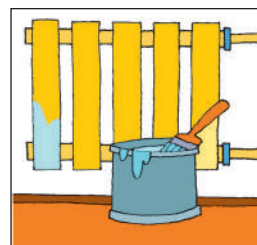
б) розміщення за радіатором відбивального екрана з алюмінію



в) закриття радіатора меблями або шторами



г) фарбування радіатора у світлий колір



- 9. (3 бали) У чавунному казані масою 2 кг міститься 1,5 л води. Яку кількість теплоти одержить казан з водою в ході нагрівання від 10 до 60 °С?

10. (3 бали) За даними рис. 3 обчисліть кількість теплоти, яка необхідна для нагрівання зображеного сталевого циліндра від 0 до 12 °С.
11. (3 бали) На скільки градусів можна нагріти 510 г міді, якщо використати ту саму кількість теплоти, яка виділяється під час охолодження 2 л олії від 60 до 20 °С?
12. (4 бали) Відомо, що за температури навколишнього середовища 20 °С кожен кілограм тіла людини за 1 с випромінює в середньому 1,6 Дж теплоти. На скільки градусів можна нагріти 1 л води, якщо передати воді теплоту, яку виділяє учень масою 49 кг за урок (45 хв)?
13. (5 балів) З якої висоти падала свинцева куля, якщо внаслідок удару об сталеву плиту вона нагрілася на 2,5 °С? Вважайте, що початкова швидкість руху кулі дорівнювала 0, а на нагрівання кулі було витрачено 80 % її початкової потенціальної енергії.
14. (5 балів) Визначте, якою була початкова температура латунного циліндра (рис. 4), якщо після його занурення вода в мензурці охолола від 37 до 20 °С. Втратами енергії знехтуйте.

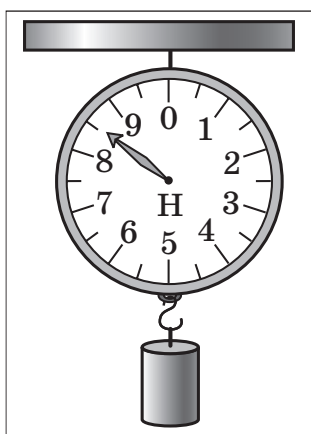


Рис. 3

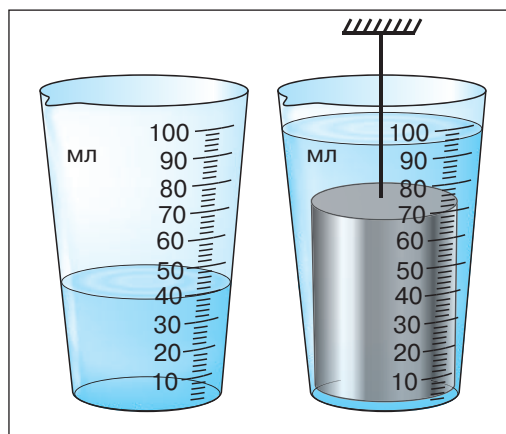


Рис. 4

Зверте ваші відповіді з наведеними в кінці підручника. Позначте завдання, які ви виконали правильно, полічіть суму балів і поділіть її на три. Одержаний результат відповідатиме рівню ваших навчальних досягнень.

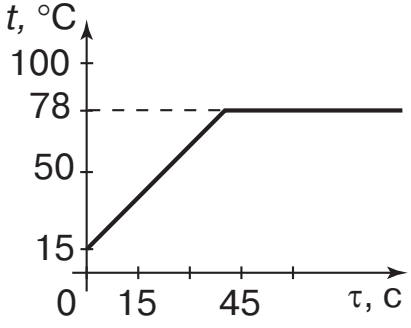


Тренувальні тестові завдання з комп'ютерною перевіркою.

Частина 2. Зміна агрегатного стану речовини. Теплові двигуни

У завданнях 1–8, 10 виберіть одну правильну відповідь.

- 1.** (1 бал) Яка з поданих речовин за кімнатної температури зберігає об'єм, але не зберігає форми?
а) сталь; б) кисень; в) гелій; г) ртуть.
- 2.** (1 бал) Газ легко стиснути, адже молекули газу:
а) зіштовхуються одна з одною; б) майже не взаємодіють одна з одною; в) перебувають у безперервному хаотичному русі; г) розташовані доволі далеко одна від одної.
- 3.** (1 бал) Коли речовина переходить з одного агрегатного стану в інший, змінюється:
а) маса молекул; б) розмір молекул; в) характер руху та взаємодії молекул; г) склад молекул.
- 4.** (1 бал) При кристалізації температура речовини:
а) залишається незмінною; б) зменшується; в) збільшується; г) для одних речовин збільшується, для інших — зменшується.
- 5.** (2 бали) Газ у закритій посудині стиснули, зменшивши його об'єм удвічі. У результаті цього:
а) кількість молекул газу зменшилася вдвічі;
б) густина газу збільшилася вдвічі;
в) маса газу зменшилася вдвічі.

6. (2 бали) Яку речовину можна розплавити в посудині зі свинцю?
а) залізо; б) мідь; в) олово; г) вольфрам.
7. (2 бали) За нормального атмосферного тиску проводили дослідження залежності температури деякої рідини від часу її нагрівання. Результати дослідження подали у вигляді графіка (див. рисунок). Визначте досліджувану рідину.
а) вода; б) ефір; в) олія; г) спирт.
- 
8. (2 бали) Яку кількість теплоти необхідно витратити для плавлення 5 кг алюмінію, взятого за температури плавлення?
а) 3 кДж; б) 607 кДж; в) 1965 кДж; г) 3036 кДж.
9. (3 бали) Установіть відповідність між тепловим процесом, який відбувається з певною речовиною, і формулою для визначення кількості теплоти, яку виділяє речовина в ході цього процесу.
- | | |
|---------------------------------------|---------------------------|
| 1 Вода в калюжі перетворилася на лід. | A $Q = qm$ |
| 2 Господар запалив дрова в каміні. | B $Q = rm$ |
| 3 Над річкою утворився туман. | B $Q = \lambda m$ |
| | Г $Q = cm\Delta t$ |
10. (2 бали) Визначте, скільки гасу потрібно спалити, щоб отримати 92 МДж теплоти. Вважайте, що гас згоряє повністю.
а) 450 г; б) 500 г; в) 2 кг; г) 100 кг;
11. (2 бали) Нормальна температура в пахвах людини дорівнює 36,8 °С, а в легенях — 32 °С. Чим зумовлена нижча температура в легенях?

- 12. (2 бали) Чому температура пальної суміші в циліндрі двигуна під час стискання збільшується, а під час робочого ходу — зменшується?
- 13. (2 бали) У газовому нагрівнику під час згоряння 2,5 кг природного газу було отримано 82,5 МДж теплоти. Визначте ККД нагрівника.
- 14. (3 бали) Ефір масою 20 г за температури 15 °С повністю випарувався. Яку кількість теплоти поглинув ефір під час цього процесу?
- 15. (3 бали) На скільки градусів можна нагріти 10 кг міді, використавши кількість теплоти, яка може виділитися під час повного згоряння 100 г дров?
- 16. (4 бали) У залізній коробці масою 200 г міститься 100 г свинцю за температури 27 °С. Яку масу природного газу потрібно спалити, щоб розплавити свинець? Вважайте, що на нагрівання коробки зі свинцем витрачається 40 % енергії, яка може виділитися в ході повного згоряння газу.
- 17. (4 бали) Автомобіль, рухаючись із середньою швидкістю 144 км/год, витратив 8 кг дизельного палива на 100 км шляху. Визначте середню потужність і середню силу тяги двигуна автомобіля на всьому шляху, якщо його ККД 30 %.

Звірте ваші відповіді з наведеними в кінці підручника. Позначте завдання, які ви виконали правильно, полічіть суму балів і поділіть її на три. Одержаний результат відповідатиме рівню ваших навчальних досягнень.



Тренувальні тестові завдання з комп'ютерною перевіркою.

ЕНЦИКЛОПЕДИЧНА СТОРІНКА

Що таке теплові трубки

Ви вже знаєте, що метали є дуже гарними провідниками тепла, а серед металів «рекордсменами» є срібло, мідь, золото, алюміній. І коли у вас запитують: «Як найшвидше передати тепло з однієї ділянки до іншої?», — ви, безумовно, згадаєте: якщо один кінець металевого стрижня розташувати в гарячому місці, то другий його кінець швидко нагріється. А чи можна передати тепло швидше, ніж за допомогою цих металів? Нібито ні, адже ці метали недаремно називають рекордсменами. Проте інженери розв'язали й таке завдання, а винайдений пристрій назвали *тепловой трубкою*.

Пояснимо принцип дії теплової трубки (рис. 1). Візьмемо запаяну трубку з невеликою кількістю води всередині. Верхній кінець трубки помістимо в гаряче місце. Крапельки води, що залишилися на внутрішній поверхні цієї частини трубки, почнуть перетворюватися на пару. Молекули пари «полетять» у всі боки, у тому числі вниз, де і сконденсуються в ділянці холодного кінця трубки. Теплота, що поглинається під час випаровування води,

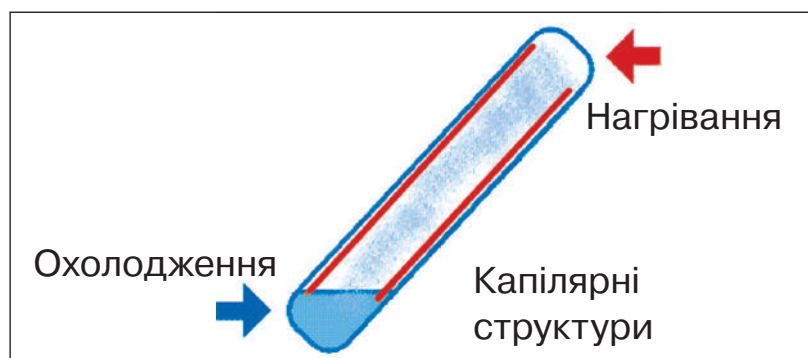


Рис. 1

є дуже великою, тому передача тепла в трубці відбувається надзвичайно ефективно.

На жаль, конструкція теплової трубки має суттєвий недолік — «одноразовість»: крапельки води випаровуються, і процес передачі тепла зупиняється. Для розв'язання цієї проблеми інженери скористалися так званим *капілярним ефектом*. (Згадайте: якщо край сорочки або сукні потрапить у воду, то мокрим стає не тільки він, але й тканина навколо.)

Капілярні структури розмістили вздовж внутрішніх стінок теплової трубки (червона смуга на [рис. 1](#)), і трубка стала «багаторазовою». У такому пристрої вода рухається «по колу»: на гарячому кінці трубки (угорі) вода випаровується, пара переноситься вниз і конденсується в холодній частині трубки; утворена вода капілярами надходить угору, знову випаровується і т. д.

Для розв'язання конкретних завдань трубки виготовляють із металу, а капіляри роблять у вигляді або дротяного джгута ([рис. 2](#)), або напилених мікрочастинок ([рис. 3](#)).

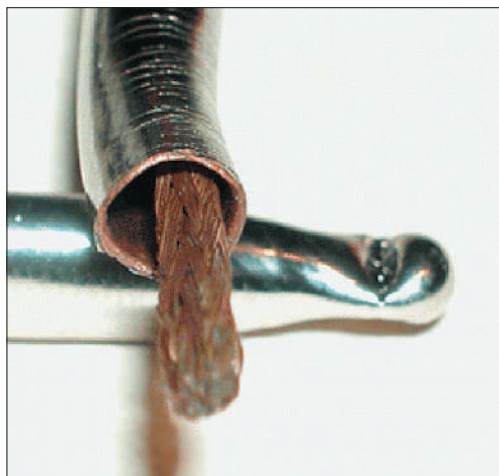


Рис. 2



Рис. 3

Теплові трубки є дуже поширеними. Так, теплову трубку, подібну до наведеної на [рис. 2](#), застосовують для охолодження персональних комп'ютерів.

Несподіване застосування теплові трубки мають на Алясці. На [рис. 4](#) показано ділянку газопроводу, побудованого на території вічної мерзлоти. Під час перекачування газу відбувається його певне розігрівання, тепло передається на трубу, а частина цього тепла нагріває опори і йде в землю. Якщо теплової енергії передавати багато, то ділянка вічної мерзлоти навколо опори розтане і виникне ризик аварії. Конструктори розв'язали проблему, обладнавши кожен опору тепловими трубками (білі стрижні на [рис. 4](#)), завдяки яким надлишкове тепло прямує вгору, в атмосферу.



Рис. 4

Ефект «пам'яті форми»

У ХХ ст. фізики виявили надзвичайно цікаве явище, що згодом набуло широкого застосування. Ідеться про так званій *ефект «пам'яті форми»*. У чому ж полягає його сутність?

Скористаємося простим прикладом. Ефект «пам'яті форми» властивий деяким сплавам, найвідомішим із яких є нітинол — сплав нікелю й титану. Візьмемо довгий стрижень, виготовлений з нітинолу, нагріємо і в гарячому стані надамо йому будь-якої форми, скажімо, згорнемо у вигляді кільця. Потім дамо стрижню охолонути до кімнатної температури й надамо йому іншої форми, тобто не кільця, — наприклад, розпрямимо його або згорнемо у вигляді будь-якої іншої фігури. Якщо ж тепер знову нагріти стрижень, то він, ніби жива істота, «згадає» свою історію і самостійно набуде початкової форми, тобто в цьому випадку зігнеться в кільце. Більш того, стрижень надовго «зберігає пам'ять» про свою початкову форму й може набувати її за певних умов багато разів. Саме це явище й називають ефектом «пам'яті форми».

Ефект «пам'яті форми» широко застосовують у техніці. Наприклад, на [рис. 5](#) показано кінцівку робота. «Пальці» робота, виготовлені зі сплаву, якому властивий ефект «пам'яті форми», були зігнуті в гарячому стані. «Суглоби пальців» являють собою електричні нагрівники, і якщо пропустити через них струм, то «суглоби» нагріються і «п'ясть» стиснеться в кулак.

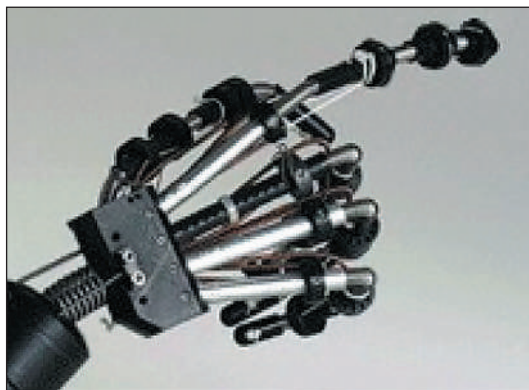


Рис. 5

Орієнтовні теми проєктів

1. Екологічні проблеми теплоенергетики та тепловикористання.
2. Енергозберезувальні технології.
3. Унікальні фізичні властивості води.
4. Рідкі кристали та їх використання.
5. Полімери.
6. Холодильні машини.
7. Кондиціонери, теплові насоси.

Теми рефератів і повідомлень

1. Адаптація рослин до високих температур.
2. Випаровування і конденсація в живій природі.
3. Застосування випаровування і конденсації в техніці.
4. Конвекція в природі.
5. Прислів'я та приказки про теплові явища. Їх фізичне пояснення.
6. Як, коли і чому відбуваються такі природні явища: дощ, туман, сніг, роса, град.
7. Чому «плачуть» вікна?
8. Способи зберігання тепла в приміщеннях.
9. «Дива кулінарії» та закони фізики.
10. Як живі істоти пристосовуються до різних кліматичних умов життя на нашій планеті.
11. Аморфні речовини.
12. Рідкі кристали, їх особливості та використання.
13. Історія створення наноматеріалів.
14. Нанотехнології в медицині та косметології: «за» і «проти».

15. Внесок українських учених у розвиток нанотехнологій.
16. Теплове випромінювання тіла людини.
17. Вплив теплових двигунів на навколишнє середовище.
18. Глобальне потепління — загроза людству?
19. Альтернативні джерела енергії.
20. Побутові пристрої, які працюють за рахунок енергії сонячного випромінювання.

Теми експериментальних досліджень

1. Вивчення теплопровідності різних матеріалів.
2. Виготовлення моделі печі та виявлення факторів, які впливають на тягу. *(Увага! Дослідження слід проводити разом із дорослими.)*
3. Вирощування кристалів із різних видів солей.
4. Дослідження властивостей аморфних речовин.
5. Дослідження кипіння води та залежності зміни температури кипіння води від зовнішнього тиску й наявності домішок.
6. Створення «холодильників», які не використовують електроенергію.
7. Створення двигуна, який використовує енергію свічки.

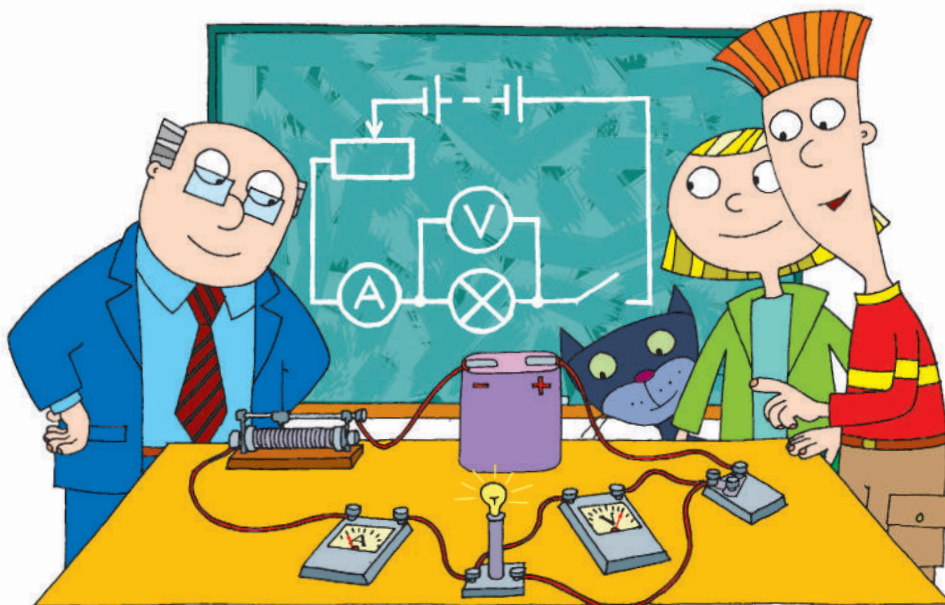


Перед початком роботи над проектом, рефератом, проведенням експериментального дослідження уважно ознайомтеся з порадами в інтернет-підтримці підручника.

РОЗДІЛ II

ЕЛЕКТРИЧНІ ЯВИЩА. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ

- Ви бачили, що наелектризоване волосся притягується до гребінця, а тепер з'ясуєте, чому та коли це відбувається
- Ви багато разів користувалися електричними пристроями, а тепер дізнаєтеся, що називають електричним колом, і зможете його скласти
- Ви знаєте про існування електричного струму, а тепер довідаєтеся, за яких умов він може існувати
- Ви щодня споживаєте електричну енергію, а тепер навчитеся розраховувати її кількість і вартість
- Ви неодноразово спостерігали блискавку, а тепер зможете пояснити, чому вона виникає і як від неї вберегтися



Частина 1. ЕЛЕКТРИЧНИЙ ЗАРЯД. ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ

§ 19. ЕЛЕКТРИЧНИЙ ЗАРЯД ТА ЕЛЕКТРОМАГНІТНА ВЗАЄМОДІЯ

Гірничі інженери та військові називають зарядом вибухівку; інколи слово «заряд» використовують для визначення «запасу почуттів» (заряд бадьорості). А що таке електричний заряд?

1. Знайомимося з електромагнітною взаємодією

Будову атома — елементарного складника будь-якої речовини — ви вже вивчали в курсах природознавства, фізики, хімії. Отже, згадаємо: атом будь-якої речовини складається з ядра, навколо якого розташовані електрони. Зрозуміло, що без взаємного притягання електронів і ядра атом розпався б. Можна було б припустити, що таке притягання зумовлене гравітаційною взаємодією. Але це не так: електрони та ядро занадто легкі, гравітаційна взаємодія між ними дуже слабка і є недостатньою для того, щоб утримати електрони біля ядра. Доведено, що атом не розпадається завдяки взаємодії іншого типу — її називають **електромагнітною взаємодією**.

Але ж ядро й електрони, з яких складається атом, відкриті порівняно недавно, близько 100 років тому. Невже науковці не знали про існування електромагнітної взаємодії раніше? Звичайно ж, знали.

Понад двадцять п'ять сторіч тому давньогрецький філософ, математик, дослідник природи *Фалес*

(бл. 625 — бл. 547 до н. е.) із міста Мілета натирав хутром шматок бурштину і спостерігав, як після цього бурштин починав притягувати до себе пір'я птахів, пух, соломинки, сухе листя. Саме від грецької назви бурштину — *електрон* — процес, у результаті якого тіла набувають властивості притягувати до себе інші тіла, назвали *електризацією* тіл, а тіла, що мають цю властивість, — *наелектризованими*.

З повсякденного життя ми добре знаємо, що після розчісування сухого волосся пластмасовий гребінець набуває властивості притягувати до себе волосся, ворсинки, клаптики паперу тощо. Аналогічної властивості набуває ебонітова паличка в результаті тертя об вовну або паличка з оргскла, якщо її потерти об шовк чи папір (рис. 19.1).

2. Дізнаємося про електричний заряд

Досліди показують, що наелектризовані тіла притягують не тільки легкі ворсинки, соломинки, клаптики паперу, але й металеві предмети, грудочки землі й навіть тоненькі струмені води або олії. Зверніть увагу, що інтенсивність електромагнітної взаємодії може бути

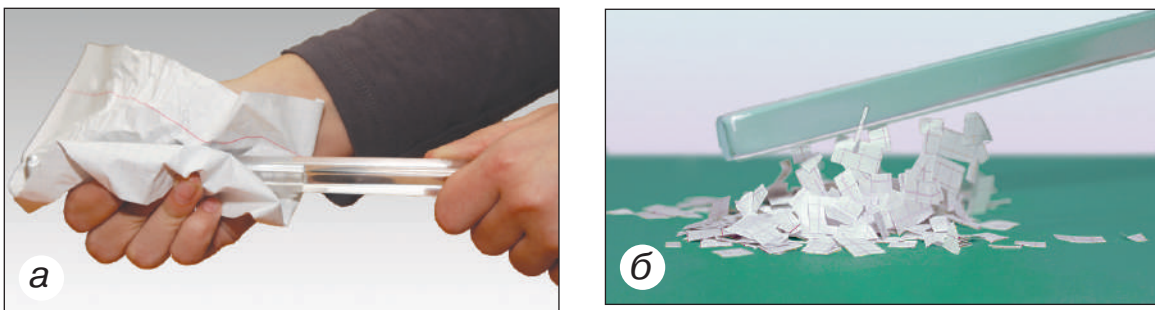


Рис. 19.1. Щоб наелектризувати паличку з оргскла, достатньо потерти її аркушем паперу (а). Після нетривалого тертя паличка починає притягувати до себе різні дрібні предмети (б)

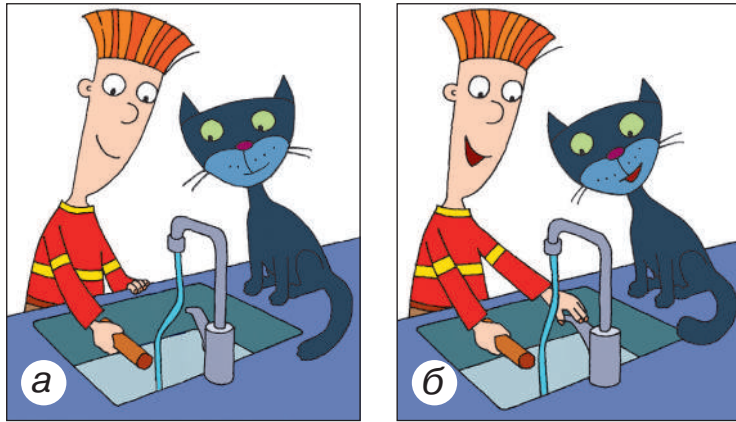


Рис. 19.2.

Інтенсивність електромагнітної взаємодії наелектризованої палички та струменя води може бути різною

різною. Так, у досліді, зображеному на рис. 19.2, а, струмінь води відхиляється більше, ніж у досліді на рис. 19.2, б.

? Проведіть подібні досліди. Замість палички зручно використати пластмасовий гребінець, наелектризавши його розчісуванням волосся.

Щоб мати можливість кількісно визначати інтенсивність електромагнітної взаємодії, було введено фізичну величину — *електричний заряд*.

Електричний заряд — це фізична величина, яка характеризує властивість частинок і тіл вступати в електромагнітну взаємодію.

Електричний заряд позначають символом q . *Одиниця електричного заряду в СІ — кулон* (названа на честь французького фізика *Шарля Кулона*): $[q] = 1$ Кл.

Ця одиниця — похідна від основних одиниць СІ (визначення кулона подано в § 27).

Про наелектризоване тіло говорять, що *тілу надано електричний заряд — тіло заряджене*.

Електризація — це процес набуття макроскопічними тілами електричного заряду.

3. Вивчаємо основні властивості електричного заряду

1. Існують *два роди електричних зарядів* — **позитивні** і **негативні**. Електричний заряд такого роду, як заряд, отриманий на бурштині або ебонітовій паличці, потертих об вовну, прийнято називати негативним, а такого роду, як заряд, отриманий на паличці зі скла, потертій об шовк або папір, — позитивним.

2. Тіла, що мають *заряди одного знака, відштовхуються*; тіла, що мають *заряди протилежних знаків, притягуються* (рис. 19.3).

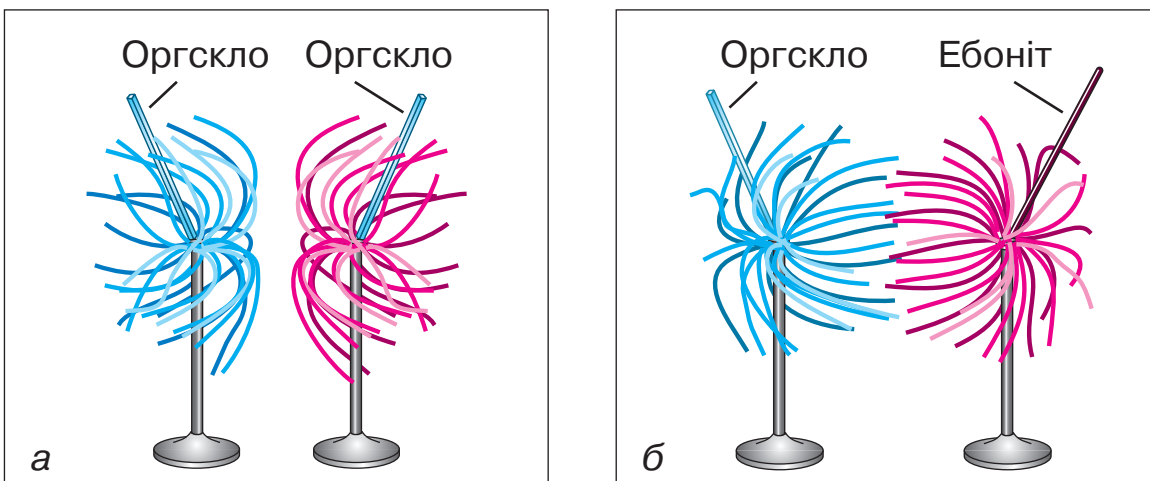


Рис. 19.3. Однойменно заряджені паперові смужки відштовхуються (а); різнойменно заряджені — притягуються (б)

3. Носієм електричного заряду є частинка — *електричний заряд не існує окремо від частинки*. Під час електризації тіло приймає або віддає деяку кількість частинок, що мають електричний заряд (далі називатимемо їх *зарядженими частинками*). Однією з негативно заряджених частинок є *електрон*, а однією з позитивно заряджених — *протон* (протони входять до складу

атомного ядра). Зазвичай під час електризації тіло приймає або віддає деяку кількість електронів.

4. Електричний заряд є дискретним, тобто електричні заряди фізичних тіл кратні певному найменшому (елементарному) заряду:

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

де q — заряд фізичного тіла; N — натуральне число; e — елементарний заряд.

Носієм елементарного негативного заряду є електрон. Цей заряд позначають символом e , а значення записують так: $e = -1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл (це приблизне значення елементарного заряду, округлене до десятих). Носієм елементарного позитивного заряду є протон. Заряд протона за модулем дорівнює заряду електрона: $q_p = +1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

 Як ви вважаєте, чи може фізичне тіло мати заряд $0,5e$? $-17,7e$? $198e$?

5. І мікрочастинки, і макроскопічні тіла можуть мати заряд (позитивний або негативний), або бути нейтральними. Нейтральними частинками (їх заряд дорівнює нулю) є нейтрони, вони разом із протонами складають ядро атома. До складу атомів входять протони й електрони, які мають заряд, проте самі атоми є нейтральними, бо в них кількість електронів збігається з кількістю протонів.



Підбиваємо підсумки

Електричний заряд — це фізична величина, яка характеризує властивість частинок і тіл вступати в електромагнітну взаємодію. Заряд позначають символом q і вимірюють у кулонах (Кл).

Процес набуття електричного заряду макроскопічними тілами називають електризацією. Під час електризації тіло зазвичай приймає або віддає деяку кількість електронів.

Розрізняють два роди електричних зарядів: позитивні і негативні. Однойменно заряджені тіла відштовхуються, а різнойменно заряджені — притягуються.

Електричний заряд є дискретним: існує мінімальний (елементарний) електричний заряд, якому кратні всі електричні заряди тіл і частинок. Електричний заряд не існує окремо від частинки; носієм елементарного негативного заряду є електрон, позитивного — протон.



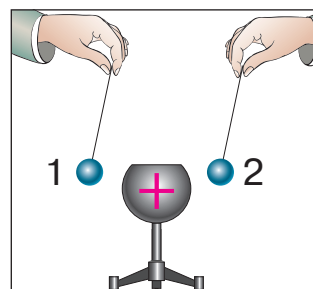
Контрольні запитання






1. Що називають електричним зарядом?
2. Назвіть одиницю електричного заряду.
3. Які роди зарядів існують?
4. Який рід заряду має ебонітова паличка, потерта об вовну? паличка зі скла, потерта об шовк?
5. Як взаємодіють тіла, що мають однойменні заряди? різнойменні заряди?
6. З яких частинок складається атом?
7. Які частинки входять до складу атомного ядра?
8. Яка частинка має найменший негативний заряд? найменший позитивний заряд?
9. Як ви розумієте твердження, що електричний заряд є дискретним?



Вправа № 19

1. Визначте знаки зарядів підвішених на нитках кульок 1 і 2 (див. рисунок), якщо тіло заряджене позитивно.



-  2. На тонкій шовковій нитці висить заряджена паперова кулька. Як, маючи ебонітову паличку та шматок вовни, визначити знак електричного заряду кульки?
-  3. Атом, ядро якого має 12 протонів, утратив 2 електрони. Скільки електронів залишилося в атомі?
-  4. Скільки надлишкових електронів має бути передано тілу, щоб воно отримало заряд -1 Кл?
-  5. Скориставшись додатковими джерелами інформації або власним досвідом, наведіть декілька цікавих прикладів взаємодії заряджених тіл.
-  6. Визначте силу, з якою тіло масою 5 г притягується до Землі. Яку назву має ця сила? Виконайте схематичний рисунок, на якому зазначте напрямок дії та точку прикладання цієї сили.



Експериментальне завдання

Складіть план дослідження характеру взаємодії заряджених тіл. Як об'єкти для дослідження візьміть паперову та поліетиленову смужки розміром близько 4×15 см, поліетиленову смужку розміром 2×3 см, підвішену на нитці, пластмасову ручку. Проведіть відповідний експеримент.



ФІЗИКА І ТЕХНІКА В УКРАЇНІ

Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна (ХНУ), заснований у листопаді 1804 р., — один із найстаріших університетів Східної Європи. Історія ХНУ є невід'ємною частиною інтелектуальної, культурної та духовної історії нашої країни. Це єдиний в Україні університет, де навчались або працювали три лауреати Нобелівської премії — біолог *І. І. Мечников*, фізик *Л. Д. Ландау*, економіст *Саймон Кузнець*.



§ 20. ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ

Згадайте, як під час розчісування сухе й чисте волосся «тягнеться» за пластмасовим гребінцем. У цьому випадку відбувається електризація: і волосся, і гребінець набувають електричного заряду. А ось чому волосся навіть на відстані повторює рухи гребінця, ви дізнаєтесь із цього параграфа.

1. Спостерігаємо взаємодію заряджених тіл

Із § 19 ви дізналися, що заряджена паличка притягує клаптики паперу. В ході експерименту ви, напевно, звернули увагу на те, що клаптики паперу «відчували» наближення палички ще до того, як паличка їх торкалася. Тобто заряджена паличка діє на інші об'єкти на відстані!

Проведемо ще один експеримент. Нам знадобляться натерта графітом маленька повітряна кулька*, підвішена на шовковій нитці, ебонітова паличка, шматок вовняної тканини, аркуш паперу та пластина з оргскла.

Наелектризуємо паличку, потерши її об вовну, і торкнемося паличкою кульки — кулька отримає негативний заряд. Потремо пластину з оргскла папером — вона набуває позитивного заряду. Повільно піднесемо пластину до кульки. У міру її наближення нитка почне відхилятися від вертикалі. Якщо ж зупинити зближування, то кулька так і залишиться неприродно відхиленою (рис. 20.1, а). Понад те, піднявши пластину над кулькою, ми можемо змусити кульку завмерти в ще більш неприродному для неї положенні (рис. 20.1, б). Чому кулька так поводить? На кульку — крім сили тяжіння та сили натягу

* Дуже м'яким простим олівцем замалюйте клаптик паперу і натріть цим клаптиком кульку.

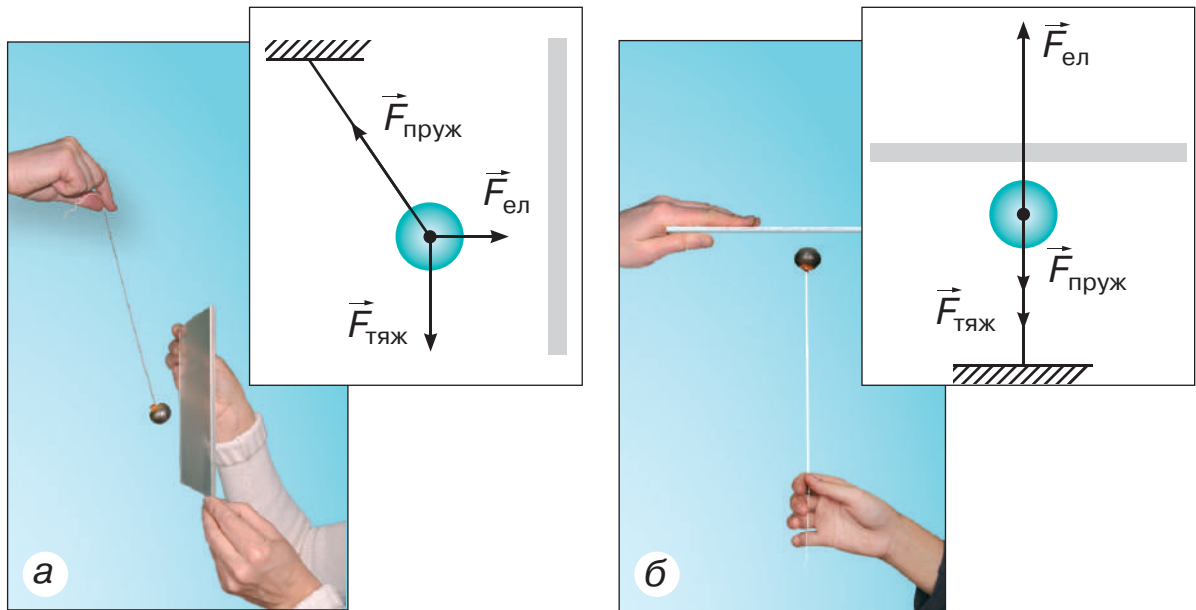


Рис. 20.1. Негативно заряджена кулька притягується до позитивно зарядженої пластини з оргскла

нитки — з боку наелектризованої пластини діє третя сила (на рисунку — $\vec{F}_{\text{ел}}$). Кулька перебуватиме в спокої, коли сила тяжіння $\vec{F}_{\text{тяж}}$ і сила натягу нитки $\vec{F}_{\text{пруж}}$ будуть скомпенсовані силою $\vec{F}_{\text{ел}}$.

2. Даємо означення електричного поля

З описаного вище експерименту можна зробити висновок: *наелектризована пластинка викликає певні зміни в просторі навколо себе* — стан простору змінюється, і на заряджену кульку починає діяти деяка сила. У цьому випадку кажуть, що *в просторі існує електричне поле*.

Електричне поле — це особлива форма матерії, що існує навколо заряджених тіл або частинок і діє з деякою силою на інші частинки або тіла, які мають електричний заряд.

Електрична взаємодія наелектризованих пластини й кульки здійснюється за допомогою електричного поля.

Коли заряджена кулька потрапляє в електричне поле пластини, це поле починає діяти на кульку з деякою електричною силою $\vec{F}_{\text{ел}}$ і кулька відхиляється.

Зазначимо, що не тільки заряджена пластина своїм електричним полем діє на заряджену кульку, — кулька своїм електричним полем теж діє на пластину.

3. Характеризуємо електричне поле

Органи чуттів людини не сприймають електричне поле. А як дізнатися, які властивості воно має? Вивчати електричне поле можна за його дією. Саме ця дія підтверджує той факт, що *електричне поле є матеріальним*, адже, по-перше, воно діє на матеріальні об'єкти і, по-друге, діє незалежно від людини.

Проведемо дослід — наелектризуємо скляну паличку тертям об папір і торкнемося нею металевої сфери (рис. 20.2). Сфера набуде позитивного заряду, а біля неї існуватиме електричне поле. Будемо вивчати це поле за допомогою натертої графітом повітряної кульки, зарядженої позитивно (рис. 20.3).

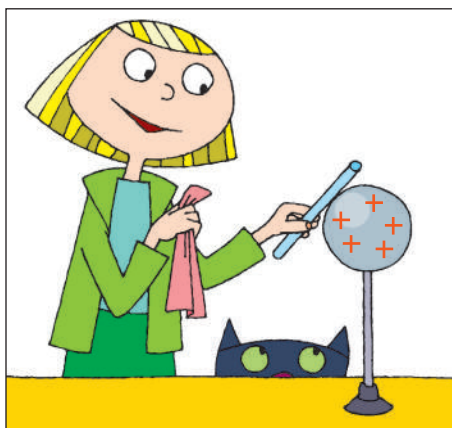


Рис. 20.2. Зарядження сфери через дотик

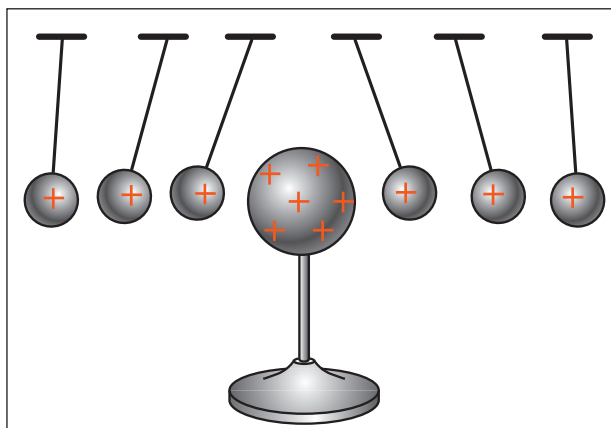


Рис. 20.3. Дослідження електричного поля зарядженої сфери

Дослід продемонструє, що, по-перше, *електричне поле існує в будь-якій точці простору, що оточує заряд (заряджену сферу); по-друге, з віддаленням від заряду поле стає слабшим.* Ми можемо також стверджувати, що *електричне поле має енергію*, адже через роботу поля кулька набуває руху, відхиляючись на деякий кут. Звернемо увагу ще й на те, що *електричне поле може існувати будь-де, навіть у вакуумі.* Детальніше про властивості електричного поля ви дізнаєтеся в старших класах.

4. Зображуємо електричне поле графічно

Як зобразити електричне поле? Англійський фізик *Майкл Фарадей* запропонував зображувати електричне поле графічно за допомогою *силових ліній і таким чином візуалізувати його.*

Силкові лінії електричного поля, — це умовні лінії, уздовж дотичних до яких на заряджене тіло діє сила з боку електричного поля.

За напрямком силових ліній можна визначити напрямки, у якому електричне поле діє на електричний заряд. Щільність силових ліній на рисунку показує, наскільки сильним є електричне поле: чим сильніше електричне поле, тим щільніше розташовані лінії.

На [рис. 20.4](#) графічно зображено електричне поле, створене двома зарядами. Куди напрямлена сила $\vec{F}_{\text{ел}}$, що діє на позитивний заряд, поміщений у точку A поля? Проведемо дотичну до силової лінії в цій точці. Сила $\vec{F}_{\text{ел}}$ буде діяти вздовж цієї дотичної в напрямку силової лінії. Якщо в точку A помістити негативний заряд, то напрямки сили буде протилежним напрямку сили $\vec{F}_{\text{ел}}$.

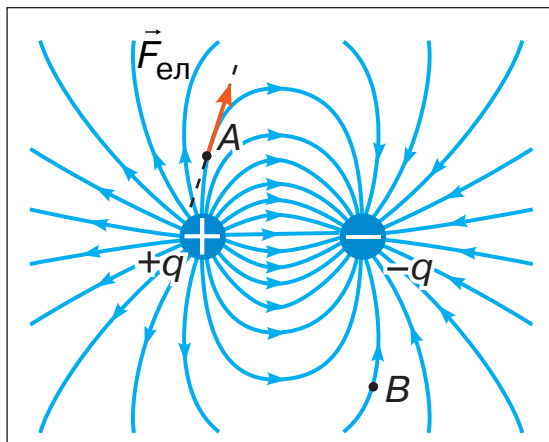


Рис. 20.4. Картина силових ліній електричного поля, створеного системою двох однакових за модулем різнойменних зарядів ($+q$ і $-q$).

? Визначте напрямок сили, що діє на негативний заряд, поміщений у точку B . В якій точці (A чи B) електричне поле є сильнішим?

У загальному випадку лінії електричного поля є кривими, але можуть бути й прямими (рис. 20.5).

Зверніть увагу: силові лінії електричного поля починаються на позитивному заряді й закінчуються на негативному (див., наприклад, рис. 20.4, 20.5).

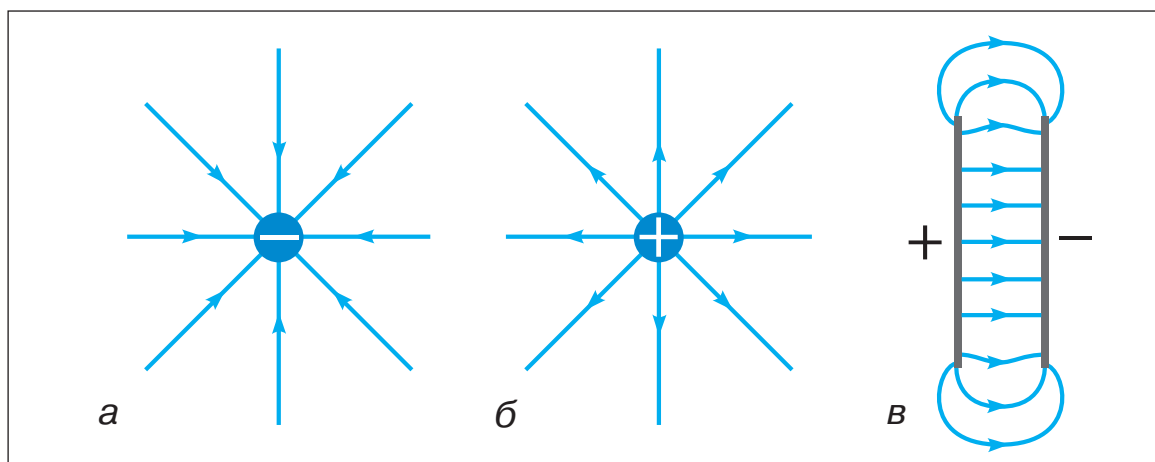


Рис. 20.5. Картини силових ліній електричних полів, створених: a — негативно зарядженою кулькою; b — позитивно зарядженою кулькою; $в$ — системою двох паралельних пластин, заряди яких однакові за модулем і протилежні за знаком


5. Вплив електричного поля на людину

Доведено, що поверхня Землі заряджена негативно, а верхні шари атмосфери — позитивно, отже, в атмосфері Землі існує електричне поле. З розвитком цивілізації це природне поле доповнилось електричними полями, створюваними різними електротехнічними пристроями, що їх використовує людина. Клітини й тканини організму людини також створюють навколо себе електричні поля. Реєстрацію та вимірювання цих полів застосовують для діагностування захворювань (електроенцефалографія, електрокардіографія, електро-ретинографія та ін.).

Ми живемо у справжньому павутинні електричних полів. Довгий час вважалося, що вони не впливають на людей, проте зараз з'ясовано, що тривала дія зовнішнього електричного поля на клітини й тканини організму людини призводить до негативних наслідків.

Так, під час роботи комп'ютера на екрані монітора накопичується заряд, який і утворює електричне поле. Клавіатура й комп'ютерна миша також електризуються в результаті тертя. Під впливом цих полів у користувача змінюються гормональний стан і біоструми мозку, що може спричинити погіршення пам'яті, підвищену стомлюваність та ін. Що ж робити?

Розв'язати проблему можна, послабивши електричне поле, наприклад, шляхом підвищення вологості повітря або застосування антистатиків. Ефективніший, але й дорожчий спосіб — штучна йонізація повітря, насичення його легкими негативними йонами. Із цією метою застосовують *аеройонізатори* — генератори негативних йонів повітря.

-  Чому для здоров'я людини краще носити одяг, виготовлений з натуральних тканин?

Підбиваємо підсумки

Електричне поле — це особлива форма матерії, яка існує навколо заряджених тіл або частинок і діє на інші частинки або тіла, що мають електричний заряд.

Електричні поля зручно зображати графічно за допомогою силових ліній електричного поля — умовних ліній, уздовж дотичних до яких на заряджене тіло діє сила з боку електричного поля. За напрямком силових ліній можна визначити напрямок дії цієї сили, а за щільністю — інтенсивність поля.

Контрольні запитання

1. Як експериментально довести, що тіла, які мають електричний заряд, взаємодіють навіть на відстані?
2. Що таке електричне поле? Як його виявити?
3. Назвіть основні властивості електричного поля.
4. Дайте означення силових ліній електричного поля.
5. Як вони напрямлені? 6. Який вплив на організм людини чинять електричні поля?

Вправа № 20

1. На рис. 1 зображено силові лінії електричного поля між двома парами заряджених пластин. Електричне поле між якими пластинами є більш інтенсивним? Визначте знак заряду кожної пластини.

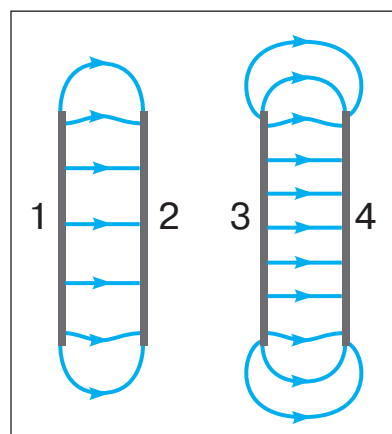


Рис. 1

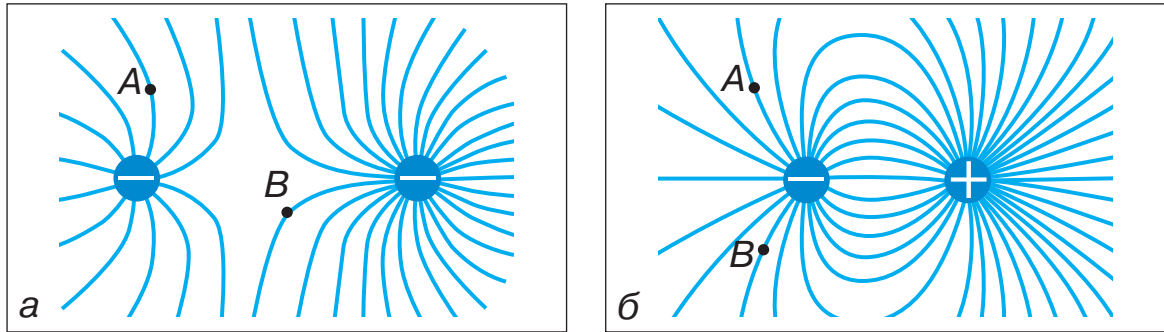


Рис. 2

- 2.** На рис. 2 зображено лінії електричних полів, створених двома різними за модулем зарядами. Для кожного випадку визначте: 1) напрямок силових ліній; 2) який заряд більший за модулем; 3) напрямок сили, яка діє на позитивний заряд, розташований у точці *A*; 4) напрямок сили, яка діє на негативний заряд, розташований у точці *B*.
- 3.** Між двома різнойменно зарядженими пластинами зависла негативно заряджена крапелька олії масою 3,2 мг (рис. 3). Визначте напрямок і значення сили, яка діє на крапельку з боку електричного поля пластин, а також знак заряду кожної пластини.
- 4.** Визначте силу натягу нитки (див. рис. 20.1, б), якщо електричне поле діє на кульку із силою 56 мН, об'єм кульки — 4 см^3 , середня густина — $0,6 \text{ г/см}^3$.
- 5.** Один із перших аеройонізаторів, який використовується й сьогодні, — люстра Чижевського. Дізнайтеся про цей винахід і його автора.
- 6.** Чи може частинка мати електричний заряд, що дорівнює $8 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$? $-2,4 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$? $2,4 \cdot 10^{-18} \text{ Кл}$? Поясніть відповідь.

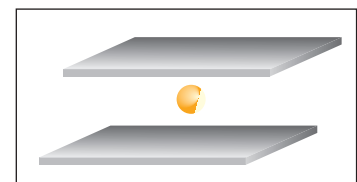


Рис. 3



Експериментальні завдання

«Летюча вата». Помістіть розпушений шматочок вати діаметром не більш ніж 1 см на наелектризовану пластмасову лінійку. Різко струснувши лінійку, доможіться, щоб шматочок почав «плавати» над нею в повітрі. Поясніть спостережуване явище.

§ 21. МЕХАНІЗМ ЕЛЕКТРИЗАЦІЇ

Вважають, що систематичне вивчення електромагнітних явищ розпочав англійський учений *Вільям Гільберт* (1544–1603). Однак пояснити електризацію тіл змогли понад три століття потому.

1. Розглядаємо електризацію тертям

Після відкриття електрона фізики з'ясували, що певні електрони можуть відриватися від атома або приєднуватися до нього, перетворюючи нейтральний атом на заряджену частинку — *йон*. А як відбувається електризація макроскопічних тіл?

Розглянемо процес *електризації тертям (електризацію через дотик)*. Візьмемо ебонітову паличку і потremo її об вовняну тканину. У цьому випадку паличка набуває негативного заряду. Що ж спричинило його появу?

Перед натиранням і паличка, і вовна є електрично нейтральними (незарядженими). А от у разі щільного контакту двох тіл, виготовлених із різних матеріалів, частина електронів переходить з одного тіла на інше. Якщо після контакту тіла роз'єднати, то вони виявляться зарядженими: *тіло, яке віддало частину своїх електронів, буде заряджене позитивно, а тіло, яке їх*

одержало,— негативно. Вовна втримує свої електрони менш міцно, ніж ебоніт, тому під час контакту електрони в основному переходять з вовняної тканини на ебонітову паличку. У результаті після роз'єднання паличка виявляється негативно зарядженою, а тканина — позитивно. Саме так, позитивно, зарядиться сухе волосся, якщо розчесати його пластмасовим гребінцем (рис. 21.1).

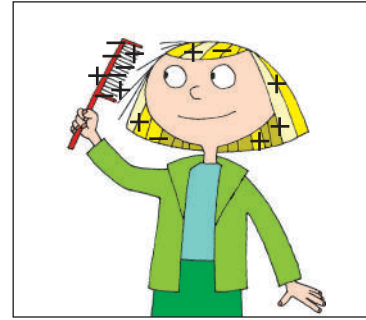


Рис. 21.1. Під час розчісування частина електронів з волосся перейде на гребінець

2. Закон збереження електричного заряду

Якщо перед дослідом паличка і вовняна тканина були не заряджені, то після контакту вони виявляться зарядженими, причому їхні заряди будуть рівні за модулем і протилежні за знаком. Тобто їхній сумарний заряд, як і перед дослідом, дорівнюватиме нулю. Фізики з'ясували, що під час електризації відбувається перерозподіл наявних електричних зарядів, а не створення нових. Отже, виконується **закон збереження електричного заряду**:

Повний заряд електрично замкнутої системи тіл залишається незмінним під час усіх взаємодій, які відбуваються в цій системі:

$$q_1 + q_2 + \dots + q_n = \text{const} ,$$

де q_1, q_2, \dots, q_n — заряди тіл, що створюють електрично замкнену систему (n — кількість таких тіл).

Під електрично замкнутою системою тіл розуміють таку систему, у яку не проникають заряджені частинки ззовні і яка не втрачає «власних» заряджених частинок.

3. Розрізняємо провідники і діелектрики

Чому неможливо наелектризувати тертям металевий стрижень, утримуючи його в руці? Тому що метали — це речовини з безліччю *вільних електронів*, які легко переміщуються по всьому об'єму металевого тіла. Такі речовини називають *провідниками*. Якщо електризувати металевий стрижень, тримаючи його в руці, то надлишкові електрони «втечуть» зі стрижня і він залишиться незарядженим. «Дорогою для втечі» електронів є сам дослідник, адже тіло людини — це провідник*, а «кінцевий пункт» — зазвичай Земля, яка також є провідником. Розміри її величезні, і якщо будь-яке заряджене тіло з'єднати провідником із Землею, то воно стає майже електронейтральним (незарядженим). Адже тіла, заряджені позитивно, одержать деяку кількість електронів від Землі, а з тіл, заряджених негативно, надлишкова кількість електронів піде в Землю.

Технічний прийом, який дозволяє розрядити будь-яке заряджене тіло шляхом з'єднання цього тіла провідником із Землею, називають **заземленням**.

У деяких випадках, наприклад, щоб надати заряд провіднику, заземлення слід уникати. Для цього використовують *діелектрики*. У діелектриках (їх ще називають *ізоляторами*) вільні заряджені частинки практично відсутні. Тому якщо між Землею і зарядженим тілом помістити діелектрик, вільні заряджені частинки не зможуть ані покинути провідник, ані потрапити на нього. Скло, оргскло, ебоніт, бурштин, гума, папір — діелектрики, тому в дослідах з електростатики їх легко наелектризувати — заряд з них не стікає.

* Тому досліди з електрикою можуть виявитися небезпечними!

4. Дізнаємося про електризацію через вплив

Проведемо дослід. Наблизимо (не торкаючись!) негативно заряджену ебонітову паличку до незарядженої металевої сфери, розташованої на ізолюваній підставці. На мить торкнемося рукою до частини сфери, віддаленої від палички (рис. 21.2, а), а потім приберемо паличку. Відхилення позитивно зарядженої легкої кульки покаже, що сфера набула позитивного заряду (рис. 21.2, б). *Зверніть увагу:* знак заряду сфери є протилежним до знака заряду палички.

Оскільки в цьому випадку безпосереднього контакту між зарядженим і незарядженим тілами не було, описаний процес називають **електризацією через вплив** або **електростатичною індукцією**.

Пояснюється цей вид електризації так. Унаслідок дії електричного поля негативно зарядженої палички вільні електрони перерозподіляються по поверхні металевої сфери. Електрони мають негативний заряд,

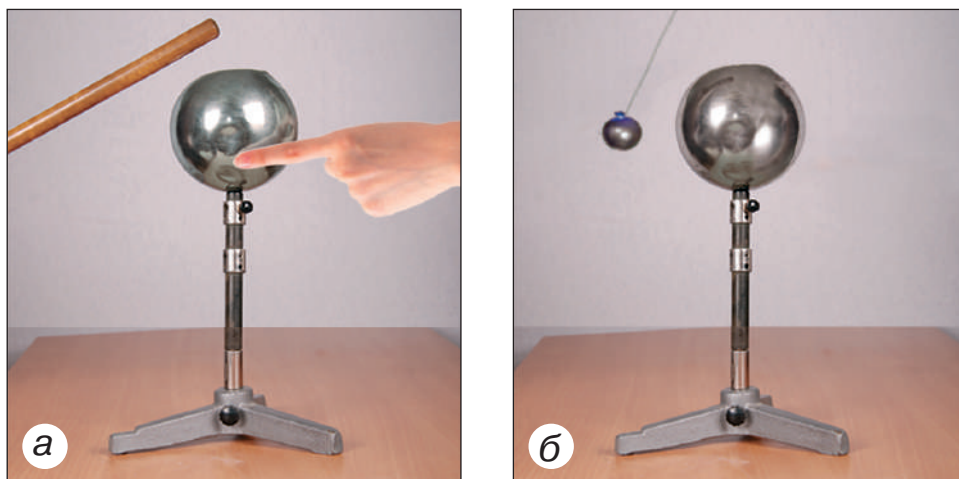


Рис. 21.2. Електризація сфери через вплив (а); індикатором наявності заряду слугує позитивно заряджена кулька — вона відхиляється від сфери, отже, сфера заряджена позитивно (б)

тому вони відштовхуються від негативно зарядженої палички. У результаті кількість електронів стає надлишковою на віддаленій від палички частині сфери і недостатньою — на ближчій (рис. 21.3). Якщо доторкнутися до сфери рукою, то деяка кількість вільних електронів перейде зі сфери на тіло дослідника — на сфері виникає брак електронів, і вона стає позитивно зарядженою.

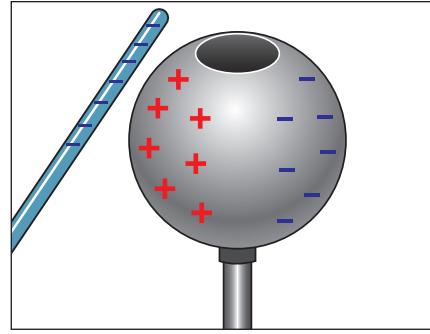


Рис. 21.3. Під дією електричного поля негативно зарядженої палички ближча до неї частина сфери набуває позитивного заряду

? Знаючи механізм електризації через вплив, поясніть, чому незаряджене металеве тіло завжди притягується до тіла, що має електричний заряд. Наприклад, поясніть, чому гільза з металевої фольги притягується як до скляної палички, що має позитивний заряд (рис. 21.4, а), так і до ебонітової палички, заряд якої є негативним (рис. 21.4, б). Що відбудеться, якщо гільза торкнеться палички?

Складніше пояснити притягання до зарядженої палички клаптиків паперу, адже відомо, що папір є діелектриком і тому майже не містить вільних електронів.

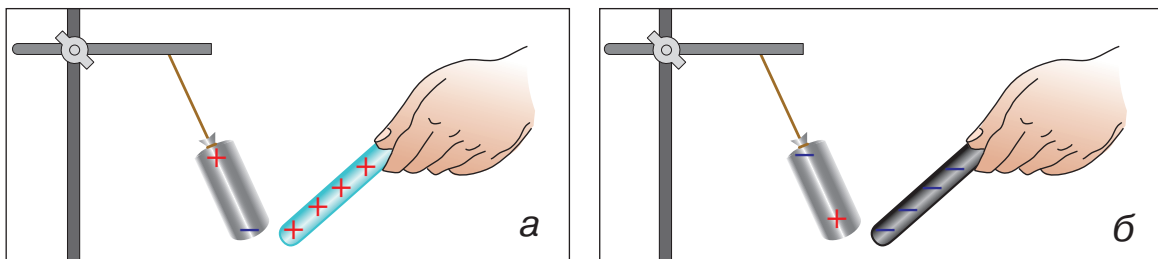


Рис. 21.4. До запитання в § 21

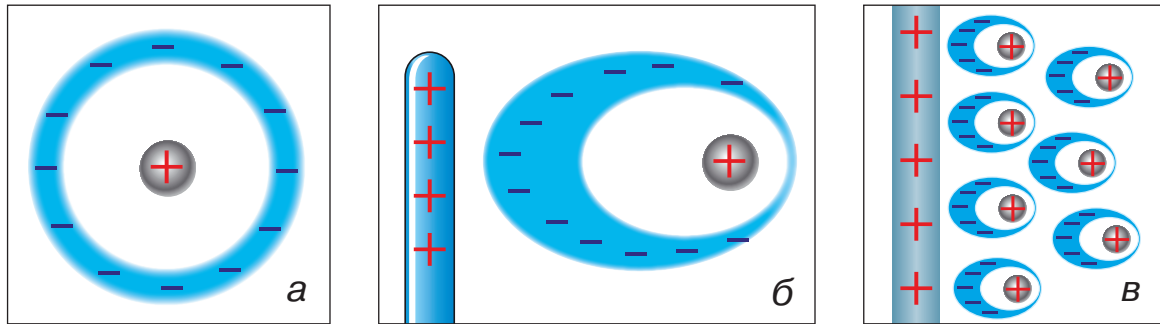


Рис. 21.5. Форма електронної хмари: за відсутності поля (а); за наявності поля (б). На поверхні паперу, ближчій до позитивно зарядженої палички, утворюється негативний заряд (в)

Річ у тім, що електричне поле зарядженої палички діє на зв'язані електрони атомів, із яких складається папір, унаслідок чого форма електронної хмари стає витягнутою (рис. 21.5). У результаті на ближчій до палички поверхні паперу утворюється заряд, який за знаком протилежний заряду палички, і тому папір починає притягуватися до палички. Описаний процес називають **поляризацією діелектрика**.

5. Конструюємо електроскоп

Для виявлення наявності в тіла електричного заряду, визначення знаку та оцінювання значення заряду використовують **електроскоп** (рис. 21.6). Пояснимо його будову.

Будь-які електричні явища нерозривно пов'язані з електричним полем. Ви вже знаєте, що електричне поле можна виявити за відхиленням легкої зарядженої кульки. Проте кулька — це не дуже зручний індикатор, краще використати дві смужки тонкого паперу (1). Після надання смужкам однойменного заряду вони почнуть відштовхуватися, а їхні вільні кінці (внизу) розійдуться.

Щоб зробити прилад якомога чутливішим, для індикатора (смужок) доцільно обрати найтонший папір, але тоді на точність вимірювання можуть вплинути протяги або навіть дихання спостерігача. Для захисту смужки розташовують у корпусі (2) з прозорими стінками.

Щоб донести до смужок заряд, використовують провідник — металевий стрижень (3). Щоб електричний заряд не стікав зі стрижня на корпус, у місці їхнього стикування встановлюють бар'єр із діелектрика (4).

Нарешті, останній елемент конструкції електроскопа — кондуктор (5) — металева порожниста куля, яка прикріплена до верхнього кінця стрижня.

Якщо до кондуктора електроскопа доторкнутися зарядженим тілом, то частина заряду потрапить на паперові смужки і вони розійдуться (рис. 21.7). Зверніть

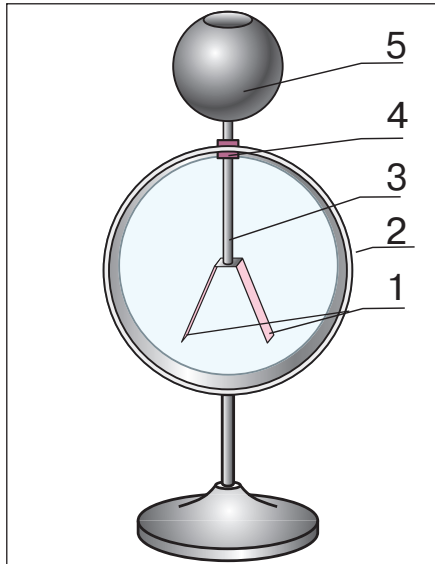


Рис. 21.6. Будова електроскопа: 1 — індикатор; 2 — корпус; 3 — металевий стрижень; 4 — діелектрик; 5 — кондуктор

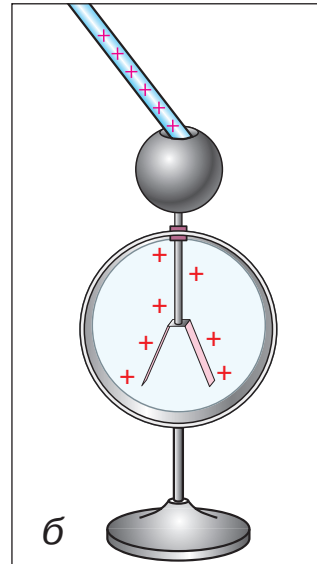
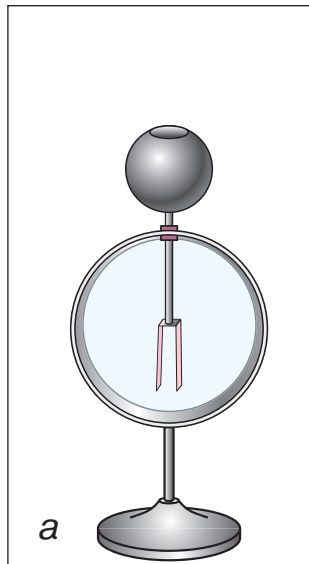


Рис. 21.7. Електроскоп незаряджений, і смужки паперу розташовані вертикально (а); після дотикання зарядженого тіла до кондуктора електроскопа смужки розходяться (б)

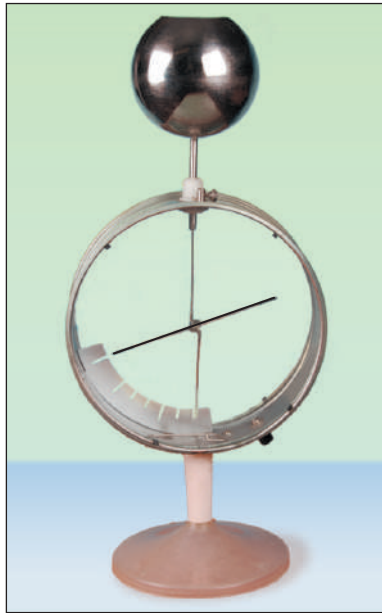


Рис. 21.8.
Електрометр

увагу: кут між смужками залежить від значення одержаного ними заряду. Цей кут тим більший, чим більший одержаний заряд.

Для виявлення й оцінювання електричного заряду застосовують також **електрометр** (рис. 21.8). На відміну від електроскопа, електрометр обов'язково має металевий корпус, шкалу, завдяки якій можна точніше оцінити значення переданого на електрометр заряду, та легку металеву стрілку (замість паперових смужок).



Підбиваємо підсумки

Якщо електронейтральне тіло (тобто таке, що не має заряду) віддає частину своїх електронів, то воно стає зарядженим позитивно, а якщо одержує електрони, то стає зарядженим негативно.

Під час електризації тіл відбувається перерозподіл наявних у них електричних зарядів, а не створення нових. Для ізольованої системи тіл виконується закон збереження електричного заряду: повний заряд електрично замкнутої системи тіл залишається незмінним під час усіх взаємодій, які відбуваються в системі.

Унаслідок дії електричного поля на провідник відбувається процес перерозподілу електричних зарядів усередині провідника — електростатична індукція. Унаслідок дії електричного поля на діелектрик відбувається поляризація діелектрика.



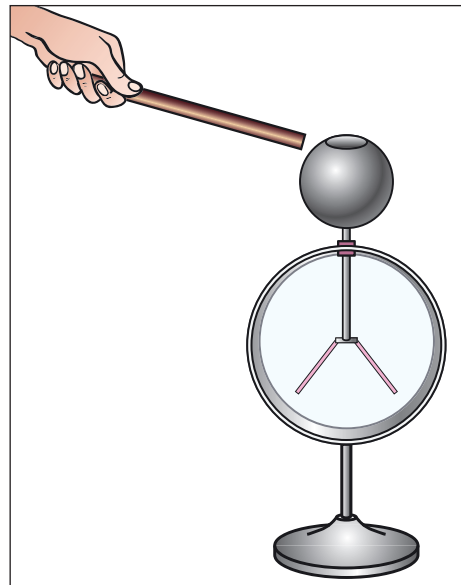
Контрольні запитання

1. Чому під час тертя ебонітової палички об вовняну тканину електризуються обидва тіла? **2.** Сформулюйте закон збереження електричного заряду. **3.** У чому полягає відмінність провідників і діелектриків? **4.** Що називають заземленням? **5.** Чому будь-яке електрично ізольоване незаряджене тіло притягується до незарядженого тіла? **6.** Як сконструйований електроскоп і яким є принцип його дії?



Вправа № 21

- 1.** Чи відрізняється маса незарядженої палички з оргскла від маси тієї самої палички, зарядженої позитивно? Якщо відрізняється, то як?
- 2.** Чи може заряджений електроскоп після дотику до його кондуктора якимось тілом виявитися незарядженим? Поясніть свою відповідь.
- 3.** Електроскопу передали позитивний заряд. Потім до нього піднесли не торкаючись іншу заряджену паличку. Смужки розійшлися сильніше (рисунок). Визначте знак заряду палички.
- 4.** Дві однакові провідні заряджені кульки із зарядами $-3 \cdot 10^{-9}$ Кл і $9 \cdot 10^{-9}$ Кл торкнулися одна одної й відразу розійшлися. Обчисліть заряд кожної кульки після дотику.



5. Як за допомогою негативно зарядженої металеві кульки, не зменшуючи її заряду, позитивно зарядити таку саму, але незаряджену кульку? негативно зарядити таку саму кульку?
6. Дізнайтеся, для чого використовують антистатик і як він «працює».



Експериментальне завдання

Виготовте з легкого паперу маленькі човники та опустіть їх на воду. За допомогою наелектризованого гребінця змусьте вашу «флотилію» рухатися.



ФІЗИКА І ТЕХНІКА В УКРАЇНІ

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (КПІ) — найбільший вищий навчальний заклад країни — було створено наприкінці XIX ст. У 1995 р. КПІ надано статус Національного технічного, а в 2007 р. — статус дослідницького університету.

Протягом XX ст. з інститутом були тісно пов'язані життя та діяльність усесвітньо відомих учених й інженерів: *Д. І. Менделєєва, М. Є. Жуковського, К. А. Тімірязєва, І. І. Сікорського, С. П. Корольова, С. П. Тимошенка, Є. О. Патона, Б. Є. Патона* та багатьох інших.

§ 22. ЗАКОН КУЛОНА

До кінця XVIII ст. електричні явища вивчалися тільки якісно, а електричні машини переважно виконували роль іграшок. Перехід до кількісних характеристик, а потім і до практичного застосування електрики став можливим тільки після встановлення *закону взаємодії точкових зарядів*. Від того часу вчення про електрику перетворилося на точну науку.

1. Вводимо поняття точкового заряду

У 1785 р. французький дослідник *Шарль Кулон* (1736–1806) сформулював основний закон електростатики — закон взаємодії точкових зарядів, пізніше названий його ім'ям.

До того як вивчати закон Кулона, розберемося з терміном «*точковий заряд*». Скористаємося аналогією з механікою, адже поняття «точковий заряд» подібне до поняття «матеріальна точка». Згадайте торішній курс фізики. Наприклад, потяг «Київ — Львів» можна розглядати як матеріальну точку, якщо будувати графік його руху на маршруті між двома містами. А от мурашу не можна розглядати як матеріальну точку, якщо, припустимо, розв'язувати задачу про траєкторію руху її передньої лапки.

За аналогією з матеріальною точкою *точковим зарядом називають заряджене тіло, розмірами якого можна знехтувати порівняно з відстанями від нього до інших заряджених тіл, що розглядаються.*

Точковий заряд, як і матеріальна точка, є не реальним об'єктом, а фізичною моделлю. Введення такої моделі спричинене тим, що в загальному випадку взаємодія заряджених тіл залежить від багатьох чинників і не існує єдиної простої формули, яка описує цю взаємодію.

2. Установлюємо закон Кулона

Військовий інженер Ш. Кулон почав проводити свої дослідження в галузі, вельми далекій від електростатики. Він виявляв закономірності пружного крутіння ниток. Отримані дані дозволили Кулону сконструювати надзвичайно чутливий прилад — *крутильні терези*, які пізніше вчений використав для вимірювання сили взаємодії точкових

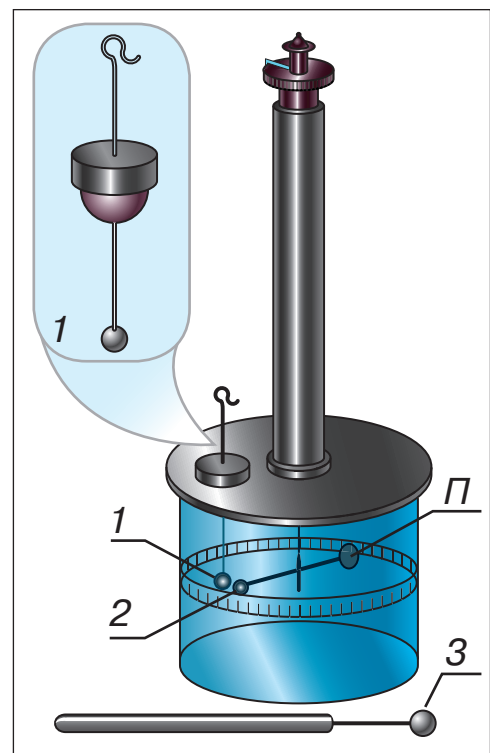
зарядів (рис. 22.1). У своїх дослідах Кулон спостерігав взаємодію невеликих провідних заряджених кульок. Умови дослідів дозволяли вважати ці кульки точковими зарядами. Досліди вчений проводив так.

У скляний циліндр опускали заряджену кульку 1. Обертаючи кришку циліндра, дослідник домагався, щоб кульки 1 і 2 доторкнулись одна до одної і частина заряду з кульки 1 перейшла на кульку 2. Однойменні заряди відштовхуються, тому кулька 2 відходила на деяку відстань. За кутом закручування дроту Кулон визначав силу взаємодії зарядів.

Потім, обертаючи кришку циліндра, дослідник змінював відстань між кульками та кожного разу вимірював силу їх відштовхування. Виявилось: коли відстань збільшувалась у два, три, чотири рази, сила взаємодії кульок зменшувалась відповідно в чотири, дев'ять і шістнадцять разів. Провівши чимало подібних дослідів, Кулон зробив висновок, що *сила F взаємодії двох точкових зарядів обернено пропорційна квадрату відстані r між ними:*

$$F \sim \frac{1}{r^2}$$

Рис. 22.1. Крутильні терези Кулона. На дроті закріплене коромисло з кулькою 2 і протизагою Π . Крізь отвір у кришці циліндра опускають кульку 1. Кулька 3 розташована на тримачі, виготовленому з діелектрика



Для виявлення залежності сили F від зарядів кульок Кулон застосував такий прийом. Спочатку вчений вимірював силу взаємодії двох кульок — 1 і 2, які мали однаковий заряд q ($q_1=q$; $q_2=q$). Потім торкався кульки 1 незарядженою кулькою 3. Розміри кульок були однаковими, тому заряд розподілявся між ними порівну, тобто на кульці 1 залишався заряд $\frac{q}{2}$. Після цього Кулон вимірював силу взаємодії зарядженої кульки 1 ($q_1=\frac{q}{2}$) і зарядженої кульки 2 ($q_2=q$).

Продовжуючи ділити заряди кульок і здійснюючи вимірювання, учений переконався, що *сила F взаємодії двох точкових зарядів q_1 і q_2 прямо пропорційна добутку модулів цих зарядів:*

$$F \sim |q_1| \cdot |q_2|$$

На підставі проведених дослідів Кулон установив закон взаємодії точкових зарядів — **закон Кулона**:

Сила F взаємодії двох нерухомих точкових зарядів q_1 і q_2 прямо пропорційна добутку модулів цих зарядів і обернено пропорційна квадрату відстані r між ними:

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

де k — коефіцієнт пропорційності. Під час взаємодії точкових зарядів у вакуумі* $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$.

* У багатьох середовищах сила взаємодії є значно меншою, ніж у вакуумі. У повітрі порівняно з вакуумом вона зменшується незначно.

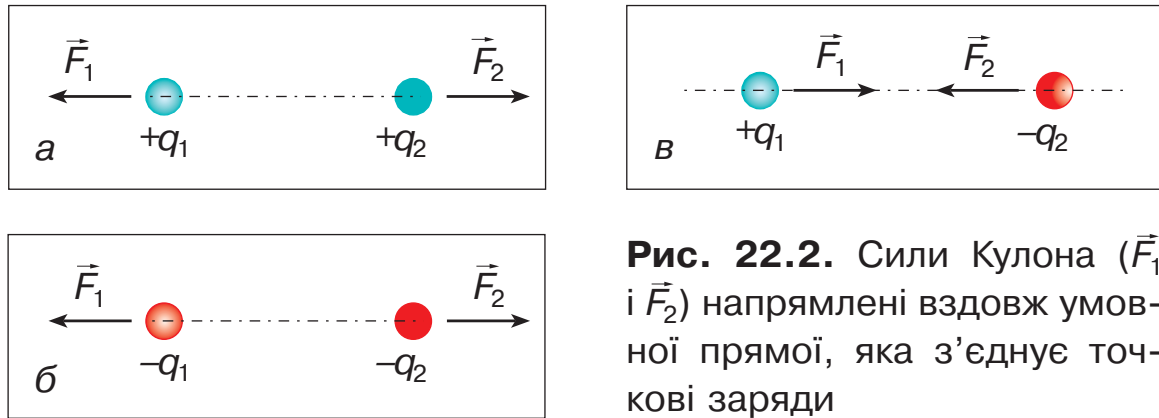


Рис. 22.2. Сили Кулона (\vec{F}_1 і \vec{F}_2) напрямлені вздовж умовної прямої, яка з'єднує точкові заряди

Сили, з якими взаємодіють два точкові заряди, ще називають **силами Кулона**. *Сили Кулона напрямлені вздовж умовної прямої, яка з'єднує точкові заряди (рис. 22.2).*

Знаючи значення коефіцієнта k , можна оцінити силу, з якою два заряди по 1 Кл кожний взаємодіють на відстані 1 м. Це дуже велика сила!

? Скориставшись законом Кулона, обчисліть її значення.

3. Учимося розв'язувати задачі

Задача. Дві невеликі негативно заряджені кульки розташовані в повітрі на відстані 30 см одна від одної. Сила їх взаємодії становить 32 мкН. Обчисліть кількість надлишкових електронів на другій кульці, якщо заряд першої кульки дорівнює -40 нКл.

Аналіз фізичної проблеми. Згадаємо, що електричний заряд є дискретним: $|q| = N|e|$, де N — кількість надлишкових електронів, а e — заряд електрона.

Кульки невеликі й розташовані на значній відстані, тому їх можна вважати точковими зарядами і для визначення заряду q_2 скористатися законом Кулона.

Дано:

$$r = 0,3 \text{ м}$$

$$F = 32 \cdot 10^{-6} \text{ Н}$$

$$q_1 = -40 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$$

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

$$k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$$

 N_2 — ?**Розв'язання**

За законом Кулона

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

$$\text{Але } |q_2| = N_2 |e|, \text{ тому } N_2 |e| = \frac{F r^2}{k |q_1|}.$$

$$\text{Звідси маємо: } N_2 = \frac{F r^2}{k |q_1| \cdot |e|}.$$

Перевіримо одиницю і знайдемо значення шуканої величини:

$$[N_2] = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2} \cdot \text{Кл} \cdot \text{Кл}} = 1 \text{ (кількість електронів — безрозмірна величина);}$$

$$N_2 = \frac{32 \cdot 10^{-6} \cdot 0,09}{9 \cdot 10^9 \cdot 40 \cdot 10^{-9} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} = \frac{32 \cdot 9 \cdot 10^{-8}}{9 \cdot 4 \cdot 16 \cdot 10^{-19}} = 5 \cdot 10^{10}.$$

Відповідь: $N_2 = 5 \cdot 10^{10}$.



Підбиваємо підсумки

Точковим зарядом називають заряджене тіло, розмірами якого можна знехтувати порівняно з відстанями від нього до інших заряджених тіл, що розглядаються.

Закон взаємодії нерухомих точкових зарядів був установлений Ш. Кулоном за допомогою крутильних терезів.

Закон Кулона: сила F взаємодії двох нерухомих точкових зарядів q_1 і q_2 прямо пропорційна добутку модулів цих зарядів і обернено пропорційна квадрату відстані r

між ними: $F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2}$. Сили Кулона напрямлені вздовж умовної прямої, яка з'єднує точкові заряди, що взаємодіють.



Контрольні запитання

1. Який заряд називають точковим? Порівняйте поняття «точковий заряд» і «матеріальна точка».
2. Опишіть прийом, який застосував Ш. Кулон, щоб з'ясувати залежність сили взаємодії двох точкових зарядів від модулів цих зарядів.
3. Сформулюйте закон Кулона.
4. Чому, формулюючи закон Кулона, слід обов'язково користуватися поняттям «точковий заряд»?
5. За якою формулою визначається сила Кулона?
6. Як напрямлена сила Кулона?



Вправа № 22

1. На рис. 1 зображено дві пари нерухомих невеликих кульок. Зобразіть силу Кулона, що діє на кожну кульку.

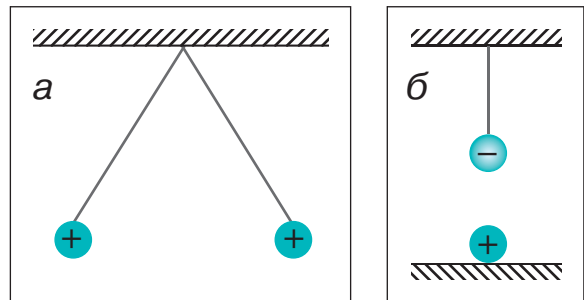


Рис. 1

2. Як зміниться сила взаємодії двох точкових зарядів, якщо модуль кожного з них збільшити у 2 рази?
3. Як змінилася відстань між двома точковими зарядами, якщо відомо, що сила їхньої взаємодії зменшилася в 9 разів?
4. Дві кульки розташовані на відстані 16 см одна від одної. Визначте силу взаємодії кульок, якщо відомо,

що на кожній із них є $2 \cdot 10^{10}$ надлишкових електронів. Вважайте кульки точковими зарядами.

5. Дві однакові провідні кульки із зарядами -5 нКл і $+15$ нКл торкнулись одна одної та розійшлись на відстань 60 см. Визначте силу взаємодії кульок. Вважайте кульки точковими зарядами.
6. На рис. 2 зображено три пари провідних кульок, які розташовані на однаковій відстані одна від одної. Модулі зарядів усіх кульок є однаковими. Чи з однаковою силою взаємодіють пари кульок? Якщо ні, то яка пара кульок взаємодіє сильніше?

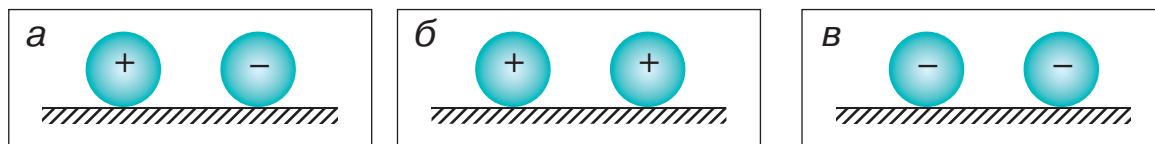


Рис. 2

7. Установіть відповідність між властивістю, що лежить в основі дії пристрою, та назвою цього пристрою.



- | | |
|---|-------------------------------|
| 1 Нагрітий газ, розширюючись, виконує роботу. | А Мензурка |
| 2 Однойменні заряди відштовхуються. | Б Тепловий двигун |
| 3 Усі тіла притягуються до Землі. | В Терези |
| 4 Рідина зберігає об'єм. | Г Біметалева пластинка |
| | Д Електроскоп |

ДОДАТОК

Таблиця 1. Питома теплоємність c деяких речовин у різних агрегатних станах

Речовина	$c, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$	Речовина	$c, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$	Речовина	$c, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$
<i>Речовини у твердому стані</i>					
Алюміній	920	Латунь	400	Срібло	250
Графіт	750	Лід	2100	Сталь	500
Дерево (дуб)	2400	Мідь	400	Цегла	880
Залізо	460	Олово	230	Цинк	400
Золото	130	Свинець	140	Чавун	540
<i>Речовини в рідкому стані</i>					
Алюміній	1080	Гелій	4190	Олія	1700
Вода	4200	Ефір	2350	Ртуть	140
Гас	2100	Залізо	830	Спирт	2500
<i>Речовини в газоподібному стані (за умови незмінного тиску)</i>					
Водень	14 300	Вуглекислий газ	830	Кисень	920
Водяна пара	2200	Гелій	5210	Повітря	1000

Таблиця 2. Температура t плавлення і кристалізації деяких речовин*

Речовина	$t, ^\circ\text{C}$	Речовина	$t, ^\circ\text{C}$	Речовина	$t, ^\circ\text{C}$
Алюміній	660	Мідь	1087	Спирт	-115
Водень	-256	Нафталін	80	Срібло	962
Вольфрам	3387	Олово	232	Сталь	1400
Залізо	1535	Парафін	55	Титан	1660
Золото	1065	Ртуть	-39	Цинк	420
Лід	0	Свинець	327	Чавун	1200

Таблиця 3. Питома теплота плавлення λ деяких речовин*

Речовина	$\lambda, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	Речовина	$\lambda, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	Речовина	$\lambda, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$
Алюміній	393	Мідь	213	Ртуть	12
Вольфрам	185	Нікель	300	Свинець	25
Залізо	270	Олово	59	Спирт	105
Золото	67	Парафін	150	Срібло	87
Лід	332	Платина	113	Сталь	84

Таблиця 4. Температура кипіння $t_{\text{кип}}$ деяких речовин*

Речовина	$t_{\text{кип}}, ^\circ\text{C}$	Речовина	$t_{\text{кип}}, ^\circ\text{C}$	Речовина	$t_{\text{кип}}, ^\circ\text{C}$
Вода	100	Залізо	2750	Олія	310
Водень	-253	Кисень	-183	Ртуть	357
Гліцерин	290	Мідь	2567	Свинець	1740
Ефір	35	Молоко	100	Спирт	78

* За нормального атмосферного тиску — 760 мм рт. ст.

Таблиця 5. Питома теплота пароутворення r деяких речовин (за температури кипіння)

Речовина	$r, \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$	Речовина	$r, \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$	Речовина	$r, \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$
Азот	0,2	Вода	2,3	Ртуть	0,3
Аміак	1,4	Ефір	0,4	Спирт	0,9

Таблиця 6. Питома теплота згорання q деяких видів палива

Паливо	$q, \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$	Паливо	$q, \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$	Паливо	$q, \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$
Антрацит	30	Дизельне паливо	42	Пропан	46
Бензин	46	Дрова сухі	10	Солома	14
Буре вугілля	12	Кам'яне вугілля	27	Спирт	27
Водень	120	Нафта	44	Сухе паливо	30
Гас	46	Порох	4	Торф	15
Деревне вугілля	34	Природний газ	44	Тротил	15

Таблиця 7. Префікси для утворення назв кратних і частинних одиниць

Префікс	Символ	Множник	Префікс	Символ	Множник
гіга-	Г	10^9	санти-	с	10^{-2}
мега-	М	10^6	мілі-	м	10^{-3}
кіло-	к	10^3	мікро-	мк	10^{-6}
гекто-	г	10^2	нано-	н	10^{-9}
деци-	д	10^{-1}	піко-	п	10^{-12}

ВІДПОВІДІ ДО ВПРАВ І ЗАВДАНЬ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

Розділ І «Теплові явища»

Частина 1. Температура. Внутрішня енергія.

Теплопередача

№ 1. 2. Рідина. 3. Інакше термометр змінить температуру тіла. 5. 5 °С, 15 °С; 1 °С, 22 °С. **№ 2.** 1. а, б. 2. ↑, оскільки ↑ відстань між атомами і молекулами. 3. Об'єм ↑, маса не змінилась, густина ↓, середня швидкість руху частинок ↑. 4. За температури нижче 0 °С вода перетвориться на лід, а за температури від 0 до 4 °С стовпчик термометра опускатиметься. 5. Зі зміною температури змінюються розміри деталей приладу, тому точність приладу знижується. 6. Скляна банка може тріснути; внутрішні шари скла розширяться сильніше, ніж зовнішні. **№ 3.** 1. Ні. 2. Внутрішня енергія не змінюється, кінетична ↓, потенціальна ↑. 3. Заходите в будинок — внутрішня енергія ↑, механічна не змінюється; піднімаєтеся — внутрішня енергія не змінюється, механічна (потенціальна) ↑; прискорюєте рух — внутрішня енергія не змінюється, механічна (кінетична) ↑. 4. Внутрішня енергія ↑, механічна (потенціальна) ↓. 5. 1–Д, 2–А, 3–Г, 4–В. **№ 4.** 1. а) потерти головку сірника о коробку; б) запалити в полум'ї. 2. Щоб не отримати опіків через тертя рук о поверхню каната. 3. Ні. 4. Так, може. **№ 5.** 1. Шуба не гріє, а погано проводить тепло. 2. Повітря між рамами погано проводить тепло. 3. Солома погано проводить тепло та заважає потраплянню сонячних променів. 4. Сніг погано проводить тепло і захищає рослини від

низьких температур. **5.** Більш висока теплопровідність металів порівняно з деревом спричиняє те, що метали швидше відводять тепло від руки або передають їй тепло. Тому за температури, яка нижча від вашої власної, метали здаватимуться холоднішими, ніж дерево, а за температури, яка вища за вашу власну, — теплішими. За температури, яка дорівнює вашій власній, і металеві, і дерев'яні предмети будуть здаватися нагрітими однаково. **6.** Під час \uparrow температури куля буде підніматися, під час \downarrow — опускатися. **№ 6. 1.** Температура язиків полум'я більша за температуру навколишнього повітря. **2.** Вода погано проводить тепло, а конвекція відсутня. **3.** Щоб нагріти — над нагрівником, щоб охолодити — під льодом. **4.** Хмари «тримаються» конвекційними потоками повітря. **6.** У балоні; на 2 кПа. **№ 7. 1.** Тіла з темною поверхнею краще випромінюють тепло. **2.** У білий або сріблястий. **3.** Тіла з темною поверхнею краще поглинають тепло. **4.** Сонячного дня. **5.** Відсутність повітря спричиняє відсутність теплопровідності та конвекції, а дзеркальна поверхня заважає передачі тепла випромінюванням. **6.** Повітря нагрівається від поверхні Землі; зокрема, від кольору поверхні. **№ 8. 1.** Щоб нагріти 1 кг срібла на 1 °С, слід передати йому 250 Дж теплоти. **2.** Вода має найбільшу теплоємність, тому, охолоджуючись, вона віддає навколишньому середовищу значну кількість теплоти. **3.** 1,2 кДж. **4.** Зі сталі. **5.** Ні. **6.** 540,8 кДж. **7.** 10,5 м. **№ 9. 1.** 16 л. **2.** 70 °С. **3.** 130 °С. **4.** 250 Дж/(кг · °С).

Частина 2. Зміна агрегатного стану речовини.

Теплові двигуни

№ 10. 1. в. 2. Молекули не змінилися, відстань між ними \uparrow . У воді молекули здебільшого коливаються біля положень рівноваги, час від часу переміщуючись рідиною. У парі молекули води рухаються ламаними траєкторіями, змінюючи напрямок руху під час зіткнень. 3. Ні; над поверхнею води є водяна пара. 4. Ні; бачимо туман — дуже маленькі краплинки води. 6. а, г.

№ 11. 1. Вольфрам має високу температуру плавлення. 2. А — твердому, В — рідкому, С — рідкому, D — частина речовини ще перебуває в рідкому стані, частина — вже в рідкому. 3. 1 — нафталін, 2 — вода; більшу температуру плавлення має нафталін; нафталін на початку досліду мав вищу температуру. 4. Якщо температура навколишнього середовища менша від $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ — вода замерзатиме; більша за $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ — лід танутиме; $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ — ані лід, ані вода не будуть змінювати свого стану. 6. а, б, в, д.

№ 12. 1. 106,5 кДж. 2. 1 кг розплавленого алюмінію; на 393 кДж. 3. 78,4 МДж. 4. $\approx 10,1$ кДж. 5. $79\text{ }^{\circ}\text{C}$. 6. 0,12.

7. Так, зменшиться. **№ 13.** 1. У теплу; середня кінетична енергія молекул є більшою. 2. Спирт швидше випаровується. 3. Під час випаровування вода поглинає енергію. 4. Потові залози собаки розташовані лише на язиці, внаслідок випаровування води тварина охолоджується. 5. Бачимо туман: водяна пара, яку містить повітря, що ми видихаємо, конденсується. 6. Сніг тоне, отримана вода випаровується, а потім конденсується в холодному повітрі. **№ 14.** 1. Зі \uparrow висоти атмосферний тиск \downarrow , тому

температура кипіння води ↓. **2.** Внутрішня енергія 1 кг водяної пари за температури 100 °С більша за внутрішню енергію 1 кг води за тієї самої температури на 2,3 МДж. **3.** 23 МДж. **4.** Під час конденсації водяної пари виділяється енергія. **5.** 30,52 МДж. **6.** Ні; для підтримання кипіння потрібна енергія, а теплообмін не відбувається. **7.** У космічному просторі тиск практично відсутній, тому вода кипить за будь-якої температури. Під час кипіння вода швидко випаровується й за відсутності теплообміну не тільки охолоджується до температури кристалізації, а й замерзає. **№ 15. 1.** Порох згоряє швидше. **2.** 270 МДж. **3.** 2 г. **4.** 35 %. **5.** 100 °С, частина води перетвориться на пару. **6.** Частина енергії витрачається на випаровування. **7.** 1–Б, 2–В, 3–Г, 4–Д. **№ 16. 1.** 25 %. **2.** 33,3 %. **3.** 65,32 МДж. **4.** 11,5 кВт. **№ 17. 1.** Хімічна енергія, «схована» в паливі, → внутрішня енергія пари → кінетична енергія обертального руху турбіни → електрична енергія. На кожному етапі частина енергії передається доквіллю. **2.** 45,5 %. **3.** Над сумішшю виконують роботу, тому її внутрішня енергія ↑, а отже, ↑ температура. **4.** Пара виконала роботу, тому її внутрішня енергія ↓, а отже, ↓ температура.

Завдання для самоперевірки до розділу I Частина 1

1. г. **2.** б. **3.** а. **4.** а. **5.** в. **6.** Темний одяг краще поглинає сонячне випромінювання. **7.** І ватяний халат, і шуба погано проводять тепло, адже між ворсинками міститься багато повітря; мешканець Півночі не віддає багато тепла навколишньому середовищу, а мешканець пустелі — не отримує.

8. а, б. **9.** 369 кДж. **10.** 5,1 кДж. **11.** На 600 °С. **12.** На 50,4 °С. **13.** 43,75 м. **14.** 5 °С.

Частина 2

1. г. **2.** г. **3.** в. **4.** а. **5.** б. **6.** в. **7.** г. **8.** в. **9.** 1–В, 2–А, 3–Б. **10.** в. **11.** У легенях активно випаровується вода, і на цей процес витрачається досить велика енергія. **12.** У ході стискання над сумішшю здійснюється робота, тому її внутрішня енергія \uparrow , а отже, \uparrow температура; під час робочого ходу газ, розширюючись, виконує роботу, тому його внутрішня енергія \downarrow . **13.** 75 %. **14.** 8,94 кДж. **15.** 250 °С. **16.** 1,95 г. **17.** 40,3 кВт, 1 кН.

Розділ II «Електричні явища. Електричний струм»

Частина 1. Електричний заряд. Електричне поле

№ 19. **1.** 1 — позитивний, 2 — негативний. **2.** Потерти паличку об вовну (паличка набуде негативного заряду) і піднести її до кульки. Якщо кулька відштовхнеться, то вона заряджена негативно, якщо притягнеться — заряджена позитивно. **3.** 10. **4.** $6,25 \cdot 10^{18}$. **6.** Сила тяжіння; 50 мН; вертикально вниз. **№ 20.** **1.** Між 3 і 4; 1 і 3 заряджені позитивно, 2 і 4 — негативно. **2.** 1) Починаються в нескінченності, закінчуються на негативному заряді (а), починаються на позитивному заряді, закінчуються на негативному (б); 2) на обох рисунках той, що праворуч. **3.** 32 мкН; верхня пластина заряджена позитивно, нижня — негативно. **4.** 32 мН. **6.** Може, втратила 5 електронів; не може; може, втратила 15 електронів. **№ 21.** **1.** Маса позитивно зарядженої палички менша. **2.** Може, якщо передати електроскопу такий самий за

модулем, але протилежний за знаком заряд. **3.** Заряджена позитивно. **4.** $q_1 = q_2 = 3 \cdot 10^{-9}$ Кл. **5.** Спочатку заземлити незаряджену кульку та піднести до неї, не торкаючись, заряджену — перша кулька набуде позитивного заряду. Потім прибрати заземлення та повторити дослід із кулькою, зарядженою позитивно, і ще з однією незарядженою кулькою — остання набуде негативного заряду. **№ 22.** **1.** а — сили відштовхування; б — сили притягання. **2.** ↑ в 4 рази. **3.** ↑ у 3 рази. **4.** 3,6 мкН. **5.** 0,625 мкН. **6.** Сильніше у випадку а: заряди не є точковими, і в кульках відбудеться перерозподіл зарядів. **7.** 1–Б, 2–Д, 3–В, 4–А.

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

- | | |
|---|--|
| А Агрегатний стан 63 | Електрометр 170 |
| Б Біметалева пластинка 17 | Електроскоп 168 |
| В Взаємодія електромагнітна 148 | Електростатична індукція 166 |
| Випаровування 84 | Енергія внутрішня 21 |
| Випромінювання 42 | — механічна 22 |
| Д Двигун внутрішнього згоряння 119 | З Заземлення 165 |
| Діелектрики 165 | Закон збереження електричного заряду 164 |
| Е Електризація 150, 163, 166 | — Кулона 175 |
| Електричне поле 156 | Заряд електричний 150 |
| | — елементарний 152 |

- К** Калориметр 57
Кипіння 94
Кількість теплоти 26
Коефіцієнт корисної дії (ККД) нагрівника 108
— теплового двигуна 114
Конвекція 36
Конденсація 88
Кристалізація 72
Кулон 150
- П** Паливо 104
Пароутворення 84
Питома теплоємність 48, 180
Питома теплота згоряння палива 106, 182
— — пароутворення 96, 182
— — плавлення 78, 181
Плавлення 70
Плазма 63
Поляризація 168
Провідники 165
- Р** Реперні точки 10
Речовини
— аморфні 66
— кристалічні 65
- Рівняння теплового балансу 53
Робоче тіло 113
- С** Сила Кулона 176
Силкові лінії електричного поля 158
- Т** Температура 8, 9
— кипіння 94, 181
— плавлення та кристалізації 71, 181
Теплова рівновага 8
Теплове розширення 13
Тепловий двигун 113
Теплопередача (теплообмін) 25
Теплоприймач 44
Теплопровідність 31
Терези крутильні Кулона 174
Термометр 9
Трубка тепла 141
Турбіна парова 118
- Ш** Шкала температурна
— Кельвіна 11
— Цельсія 10

ЗМІСТ

Передмова	3
---------------------	---

Розділ I. Теплові явища

Частина 1. Температура. Внутрішня енергія.

Теплопередача

§ 1. Температура та її вимірювання	6
§ 2. Залежність розмірів фізичних тіл від температури	13
§ 3. Внутрішня енергія	21
§ 4. Способи зміни внутрішньої енергії	25
§ 5. Теплопровідність	30
§ 6. Конвекція	35
§ 7. Випромінювання	41
§ 8. Питома теплоємність речовини	46
§ 9. Тепловий баланс	52
<i>Лабораторна робота № 1</i>	57
<i>Лабораторна робота № 2</i>	59

Частина 2. Зміна агрегатного стану речовини.

Теплові двигуни

§ 10. Агрегатний стан речовини	63
§ 11. Плавлення та кристалізація	70
§ 12. Питома теплота плавлення	77
§ 13. Випаровування та конденсація	84
§ 14. Кипіння. Питома теплота пароутворення	92
§ 15. Теплота згоряння палива. ККД нагрівника	103
§ 16. Принцип дії теплових двигунів. ККД теплогового двигуна	112
§ 17. Деякі види теплових двигунів	118
§ 18. Теплоенергетика. Збереження енергетичних ресурсів	124

Підбиваємо підсумки розділу I	132
Завдання для самоперевірки до розділу I	135
Енциклопедична сторінка	141
Орієнтовні теми проєктів. Теми рефератів і повідомлень. Теми експериментальних досліджень	145

Розділ II. Електричні явища. Електричний струм

Частина 1. Електричний заряд.

Електричне поле

§ 19. Електричний заряд та електромагнітна взаємодія	148
§ 20. Електричне поле	155
§ 21. Механізм електризації. Електроскоп	163
§ 22. Закон Кулона	172
Додаток	181
Відповіді до вправ і завдань для самоперевірки	183
Алфавітний покажчик	188

Рубрика «Фізика і техніка в Україні»: Фізико-технічний інститут низьких температур ім. Б. І. Веркіна НАНУ (20), Інститут надтвердих матеріалів ім. В. М. Бакуля НАНУ (35), М. П. Авенаріус (91), Чернівецький національний університет ім. Юрія Федьковича (103), Виробниче об'єднання «Південмаш» і конструкторське бюро «Південне» (117), Інститут технічної теплофізики НАНУ (131), Харківський національний університет ім. В. Н. Каразіна (154), Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» (172).

Відомості про користування підручником

№ з/п	Прізвище та ім'я учня / учениці	Навчальний рік	Стан підручника	
			на початку року	у кінці року
1				
2				
3				
4				
5				

Навчальне видання

БАР'ЯХТАР Віктор Григорович
ДОВГИЙ Станіслав Олексійович
БОЖИНОВА Фаїна Яківна
КІРЮХІНА Олена Олександрівна

«ФІЗИКА»

Підручник для осіб з особливими освітніми потребами

(Н 54.1 — Н 54.2)

8 клас

(у 2-х частинах)

За редакцією Бар'яхтара В. Г., Довгого С. О.

(Частина 1)

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України

Видано за рахунок державних коштів. Продаж заборонено

Адаптовано за виданням: Фізика : підруч. для 8 кл. закл. загал. серед. освіти / [Бар'яхтар В. Г., Довгий С. О., Божинова Ф. Я., Кірюхіна О. О.] ; за ред. Бар'яхтара В. Г., Довгого С. О. — 2-ге вид., перероб. — Харків : Вид-во «Ранок», 2021. — 240 с. : іл., фот.

Провідний редактор *І. Л. Морєва*. Редактор *С. В. Русінова*.
Художнє оформлення *В. І. Труфєна*. Технічний редактор *С. О. Петрачков*.
Комп'ютерна верстка *С. В. Яшиша*. Коректор *В. П. Нестерчук*

Підписано до друку 03.09.2021 р. Формат 84×108/16. Папір офсетний.
Гарнітура Прагматика. Друк офсетний. Ум. друк. арк. 20,16. Обл.-вид. арк. 13,30.
Наклад 1712 пр. Зам. 6409-2021.

ТОВ Видавництво «Ранок»,
вул. Кібальчича, 27, к. 135, Харків, 61071.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 5215 від 22.09.2016.
Адреса редакції: вул. Космічна, 21а, Харків 61165.
E-mail: office@ranok.com.ua. Тел. (057) 701-11-22, тел./факс (057) 719-58-67.

Підручник надруковано на папері українського виробництва

Надруковано у друкарні ТОВ «ТРИАДА-ПАК»,
пров. Сімферопольський, 6, Харків 61052.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 5340 від 15.05.2017.
Тел. +38 (057) 712-20-00. E-mail: sale@triada.kharkov.ua

ЩО НЕОБХІДНО ЗНАТИ

Про фізичне явище і процес

- 1) зовнішні ознаки, умови, за яких воно (він) відбувається;
- 2) зв'язок з іншими явищами і процесами;
- 3) фізичні величини, які його характеризують;
- 4) можливості практичного застосування, способи запобігання шкідливим наслідкам

Про фізичний закон

- 1) формулювання; зв'язок між якими явищами і процесами встановлює закон;
- 2) математичний вираз;
- 3) досліді, що привели до встановлення закону або підтверджують його справедливість;
- 4) межі застосування

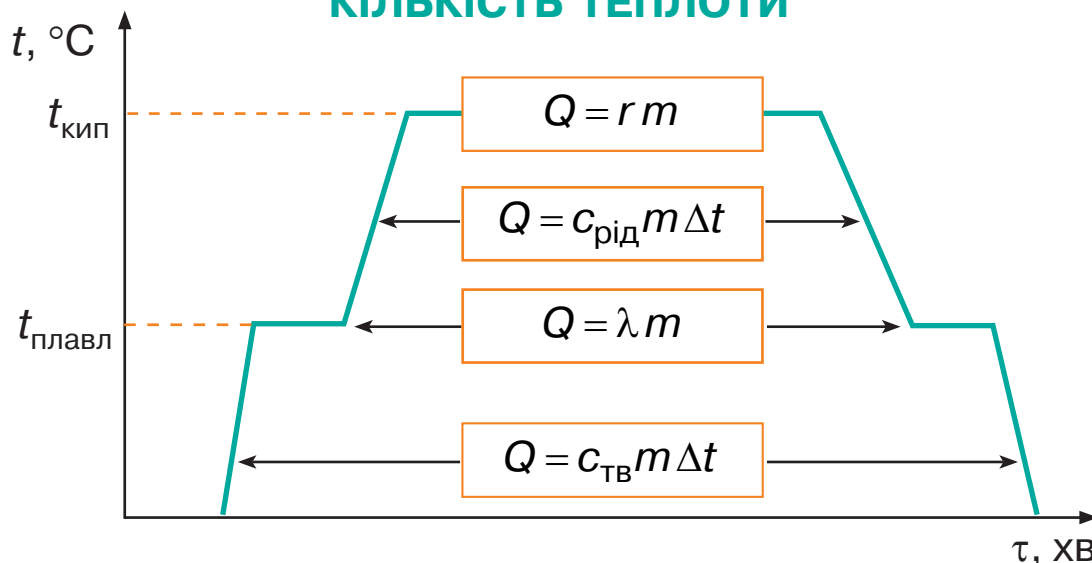
Про прилад або пристрій

- 1) призначення;
- 2) будова;
- 3) принцип дії;
- 4) сфера застосування;
- 5) правила користування

Про фізичну величину

- 1) символ для позначення;
- 2) властивість, яку характеризує фізична величина;
- 3) означення (дефініція);
- 4) формула, покладена в основу означення; зв'язок з іншими фізичними величинами;
- 5) одиниці;
- 6) способи вимірювання

КІЛЬКІСТЬ ТЕПЛОТИ



Q — кількість теплоти, Дж; m — маса, кг;
 Δt — зміна температури, $^\circ\text{C}$; c — питома теплоємність, Дж / (кг · $^\circ\text{C}$); λ — питома теплота плавлення, Дж / кг;
 r — питома теплота пароутворення, Дж / кг

Коефіцієнт корисної дії

$$\eta_{\text{нагр}} = \frac{Q_{\text{кор}}}{Q_{\text{повна}}} \cdot 100 \%$$

$$\eta_{\text{тепл. дв}} = \frac{A_{\text{кор}}}{Q_{\text{повна}}} \cdot 100 \%$$

ЕЛЕКТРИЧНИЙ ЗАРЯД

Електричний заряд, Кл \rightarrow $|q| = N |e|$ \leftarrow Кількість електронів

\uparrow
 Модуль заряду електрона, $1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл

Закон Кулона

Сила Кулона, Н \rightarrow $F = k \frac{|q_1| |q_2|}{r^2}$ \leftarrow Відстань між зарядами, м

\uparrow
 Коефіцієнт пропорційності, $9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$

$$\eta = \frac{Q_{\text{кор}}}{Q_{\text{повн}}} \cdot 100\%$$

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

Підручник відрізняє наявність таких матеріалів:

- Тексти та ілюстрації для мотивації навчальної діяльності
- Алгоритми розв'язування основних типів фізичних задач
- Завдання для самоперевірки
- Домашні експериментальні завдання
- Покрокові описи лабораторних робіт
- Тематичне узагальнення і систематизація матеріалу
- Приклади практичного застосування фізики
- Відомості про досягнення фізики і техніки в Україні



Інтернет-підтримка



Інтернет-підтримка дозволить:

- здійснити інтерактивне онлайн-тестування за кожною темою
- дізнатися про життя і діяльність видатних учених
- унаочнити фізичний дослід або процес



ВИДАВНИЦТВО
РАНОК