

Фізика

Сердюченко В.Г., Бойченко А.М.

«Фізика»

підручник для 8 класу загальноосвітніх навчальних закладів

УДК

ББК

С

Сердюченко В. Г.

С Фізика : підруч. для загальноосвіт. навч. закладів. 8
Сердюченко, А. М. Бойченко. – К. : Видавничий дім «Освіта», 20
іл.

ISBN

УД

ББ

© В. Г. Сердюченко, А. М. Бо

© Видавничий дім «О

ISBN


ШАНОВНИЙ ВОСЬМИКЛАСНИКУ!

Цього навчального року продовжується подорож світом вже знайомої для тебе науки — фізики. У 7 класі вперше ти дізнався про фізичні явища, величини, закони, формули, а попереду ще чимало нових відкриттів. Завдяки цьому підручнику ти зможеш пізнати цікавий світ теплових та електричних явищ природи.

Щоб краще засвоїти навчальний матеріал, намагайся давати відповіді на всі запитання **«Чому?»**, вивчати нові формули з розумінням, наводити власні приклади і міркування. Особливу увагу приділи задачам: намагайся опанувати алгоритми їх розв'язування — і тоді успіх у навчанні буде гарантовано. Також звертай увагу на формулювання законів та визначень, які потрібно вивчити, повторюй основне за допомогою рубрики **«Підсумки»**.

Ми живемо в ХХІ ст. — столітті інформаційних технологій та ринку праці, де цінують уміння швидко знаходити потрібну інформацію, опрацьовувати та використовувати її для розв'язування завдань, що виникають. Тому до цього підручника було розроблено та дібрано навчальне відео, що демонструє фізичні процеси та явища, створено комп'ютерні моделі для проведення експериментів та спостережень, онлайн тести для цікавої та швидкої самоперевірки. Сподіваємось, що спостереження за поданими у навчальному відео процесами та взаємодія з комп'ютерними моделями навчать тебе пошуку потрібної інформації, її систематизації та, найголовніше, дослідженню фізичних явищ, застосуванню набутих знань у подальшому житті.



Для використання електронної підтримки у навчальному процесі тобі знадобиться смартфон або планшет та підключення до мережі Інтернет. На сторінках підручника подано QR-коди, у яких зашифровано адресу веб-сторінки з електронним додатком. Для того щоб скористатися QR-кодом, необхідно встановити спеціальне програмне забезпечення на смартфоні/планшеті. Наприклад, для пристроїв з операційною системою Android потрібно запустити застосунок Google Play Market та завантажити програму Powerful QR Code Scanner A+  або будь-яку аналогічну. Завантажити програми для зчитування QR-кодів для інших операційних



систем допоможуть відповідні застосунки: Windows Mobile — WindowsStore, iOS — iTunes).

Окрім електронної підтримки, у цьому підручнику ти знайдеш ще чимало цікавого матеріалу та завдань. Орієнтуватися у навчальному матеріалі допоможе сучасний навігатор, що демонструє алгоритм навчання та пояснює зміст рубрик. Обов'язково зверни увагу на цікаві додаткові рубрики «Хвилинка здоров'я», «Це цікаво знати», «Для тих, хто хоче знати більше», «Домашня лабораторія», «Задачі для допитливих». Можливо, саме цей матеріал допоможе тобі зрозуміти та полюбити таку цікаву науку, як фізика, вибрати подальший шлях у житті та обрати майбутню професію.

Бажаємо тобі успіхів у навчанні!

Автори



ЗМІСТ

ЧАСТИНА I. ТЕПЛОВІ ЯВИЩА

Розділ 1. Внутрішня енергія. Теплообмін	8
§ 1. Теплові явища. Тепловий рух. Внутрішня енергія	10
§ 2. Температура. Теплова рівновага	16
§ 3. Вимірювання температури. Термометри. Шкала Цельсія	21
§ 4. Агрегатні стани речовини. Фізичні властивості твердих тіл, рідин, газів	26
§ 5. Теплове розширення твердих тіл, рідин, газів	31
§ 6. Способи зміни внутрішньої енергії тіла. Теплообмін	38
§ 7. Теплопровідність	43
§ 8. Конвекція	47
§ 9. Променевий теплообмін	51
§ 10. Кількість теплоти. Одиниці кількості теплоти	55
§ 11. Питома теплоємність речовин	58
§ 12. Розрахунок кількості теплоти, що потрібна для нагрівання тіла, та що виділяється ним під час його охолодження	62
<i>Лабораторна робота № 1. Визначення питомої теплоємності речовини</i>	67
§ 13. Тепловий баланс. Рівняння теплового балансу	69
<i>Лабораторна робота № 2. Порівняння кількості теплоти під час змішування води різної температури</i>	72
Висновки до розділу 1	74
Вправи до розділу 1	75
<i>Орієнтовні теми навчальних проектів до розділу 1</i>	75
Розділ 2. Зміна агрегатних станів речовини	76
§ 14. Кристалічні та аморфні тіла. Плавлення і тверднення кристалічних тіл, графіки цих процесів	78
§ 15. Питома теплота плавлення і тверднення. Розрахунок кількості теплоти, що потрібна для плавлення тіла та виділяється ним під час його тверднення	84
§ 16. Енергія палива. Питома теплота згоряння палива. Обчислення кількості теплоти, що виділяється під час повного згоряння палива	89
§ 17. Пароутворення і конденсація. Кипіння рідини. Температура кипіння	92
§ 18. Питома теплота пароутворення і конденсації. Розрахунок кількості теплоти, що потрібна для пароутворення та виділяється під час конденсації	98
§ 19. Робота газу й пари за їх розширення. Принцип дії теплових двигунів. ККД теплового двигуна. Двигун внутрішнього згоряння	102
§ 20. Наноматеріали	111
Висновки до розділу 2	113
Вправи до розділу 2	114
<i>Орієнтовні теми навчальних проектів до розділу 2</i>	115

ЧАСТИНА II. ЕЛЕКТРИЧНІ ЯВИЩА

Розділ 3. Електричне поле	116
§ 21. Електричні явища. Електризація тіл. Два роди електричних зарядів	118
§ 22. Електроскоп. Провідники і непровідники електрики	121

§ 23. Подільність електричного заряду. Елементарний електричний заряд	123
§ 24. Взаємодія заряджених тіл. Електричне поле. Закон Кулона.....	126
§ 25. Закон збереження електричного заряду	130
Висновки до розділу 3	132
Вправи до розділу 3.....	133
Орієнтовні теми навчальних проектів до розділу 3.....	133
Розділ 4. Електричний струм	134
§ 26. Електричний струм.....	136
§ 27. Дії електричного струму.....	138
§ 28. Провідники, діелектрики, напівпровідники. Електричний струм у металевих провідниках	141
§ 29. Джерела електричного струму	145
§ 30. Електричне коло та його основні елементи. Напрямок електричного струму.....	149
§ 31. Сила струму та її вимірювання. Амперметр.....	151
§ 32. Електрична напруга та її вимірювання. Вольтметр.....	154
§ 33. Електричний опір. Залежність опору провідника від його довжини, площі поперечного перерізу та матеріалу.....	157
§ 34. Резистори. Реостати. Потенціометри.....	162
§ 35. Закон Ома для ділянки кола	165
Лабораторна робота № 3. Вимірювання опору провідника за допомогою амперметра і вольтметра	168
§ 36. Послідовне з'єднання провідників.....	170
Лабораторна робота № 4. Дослідження електричного кола з послідовним з'єднанням провідників.....	173
§ 37. Паралельне з'єднання провідників	175
Лабораторна робота № 5. Дослідження електричного кола з паралельним з'єднанням провідників	180
§ 38. Робота й потужність електричного струму. Закон Джоуля–Ленца.....	182
§ 39. Теплова дія електричного струму. Закон Джоуля–Ленца. Електронагрівальні прилади.....	186
§ 40. Електричний струм у розчинах і розплавах електролітів. Закон Фарадея для електролізу	189
§ 41. Електричний струм у газах. Види газових розрядів	192
§ 42. Вплив електричного струму на людський організм. Заходи безпеки під час роботи з електричними приладами й пристроями	196
Висновки до розділу 4	198
Вправи до розділу 4.....	200
Орієнтовні теми навчальних проектів до розділу 4.....	203
Задачі для допитливих	204
Домашня лабораторія	205
Рекомендації до написання рефератів на тему «Видатні українські вчені й конструктори»	206
Це цікаво знати	208
Словник фізичних термінів	210
Предметно-іменний покажчик	217

1. Внутрішня енергія Теплообмін

ЧАСТИНА І. ТЕПЛОВІ ЯВИЩА

— 40
— 35
— 30
— 25
— 20
— 15
— 10
— 5
— 0
— 5
— 10
— 15
— 20
— 25
— 30
— 35
— 40

Чому горить напівко?

Чому замерзає вода?

Чому з'являється роса?

Чому влітку туман?



*Фізика — це наука, яка відповідає
на запитання «Чому?».*
Річард Фейнман

**Таємниці природи — найцікавіші
таємниці. Серед цих таємниць значне
місце відведено тепловим явищам.
Почнемо їх розгадувати.**

- Теплові явища. Тепловий рух. Внутрішня енергія
- Теплова рівновага. Температура
- Вимірювання температури. Термометри. Шкала Цельсія
- Агрегатні стани речовини. Фізичні властивості твердих тіл, рідин, газів
- Теплове розширення твердих тіл, рідин, газів
- Способи зміни внутрішньої енергії тіла
- Теплообмін
- Теплопровідність
- Конвекція
- Променевий теплообмін
- Кількість теплоти. Одиниці кількості теплоти
- Питома теплоємність речовин
- Розрахунок кількості теплоти, що потрібна для нагрівання тіла та виділяється ним під час його охолодження
- Тепловий баланс. Рівняння теплового балансу

§ 1. Теплові явища. Тепловий рух. Внутрішня енергія



Думки вголос

Я продовжую вивчати теплові явища у природі, пригадаю відомі мені приклади таких явищ і зможу пояснити їх на основі молекулярно-кінетичної теорії будови речовини (МКТ).

Розглянемо звичайну життєву ситуацію, із якою ми маємо справу щодня. Поставимо на вогонь каструлю з водою і почнемо її нагрівати, спостерігаючи за температурою води. Полум'я віддає тепло каструлі з водою, і їх температура підвищується. Ми розуміємо: якщо каструля з водою маленька, то тепла потрібно менше, а якщо велика, то більше.

Чому так відбувається? Спробуй дати відповіді на запитання:

- *Що таке тепло?*
- *Коли ми відчуваємо тепло і холод?*
- *Як реагуємо на щось гаряче?*

Кожна людина на поверхні шкіри та слизових оболонок має спеціальні нервові закінчення — *терморецептори*, завдяки яким вона має відчуття холоду та теплоти. Вже змалку дитина добре відчуває і розуміє, холодно їй чи жарко, холодний, теплий чи гарячий предмет, до якого вона доторкнулася. Дитина знає, що ставати босою ногою на лід неприємно, бо він дуже холодний, що не можна торкатися полум'я, бо воно дуже гаряче. Поступово в людини формується поняття теплоти. Вона уявляє, що холодне — це нестача теплоти, а гаряче — її надлишок, що тіла можуть охолоджуватись, віддаючи теплоту холоднішим тілам, або нагріватися, беручи теплоту від гарячих тіл. Саме завдяки такому розумінню ще прадавні люди почали використовувати одяг як засіб збереження теплоти та вогонь як джерело теплоти (мал. 1, а), а сучасні люди використовують його і досі (мал. 1, б).

Ми живемо у світі, де відбуваються різні фізичні явища, багато з яких пов'язані з нагріванням і охолодженням тіл.

Явища, пов'язані з нагріванням або охолодженням тіл, називають тепловими.

Саме теплові явища лежать в основі існування різних кліматичних зон на Землі, змін пір року. Від них залежить багато природ-



Мал. 1. Теплові явища у житті:
а — прадавніх людей; б — у сучасному світі

них явищ, зокрема й виникнення і розвиток життя. Люди широко використовують теплові явища в побуті, у виробничій діяльності. Багато приладів (обігрівачі, холодильники, кондиціонери), а також транспортних засобів (тепловози, кораблі, літаки, автомобілі, ракети) працюють на основі теплових явищ.

На малюнку 2 наведено приклади деяких теплових явищ у природі і техніці.



Мал. 2. Приклади теплових явищ: а — танення льоду; б — замерзання води; в — колообіг води у природі; г — плавлення металів



Мал. 2. д — паяння



Інтерактивна модель колообігу води в природі

Люди, здавна використовуючи теплові явища, шукали пояснення їх природи, що приховано у понятті *теплота*, звідки вона виникає, від чого залежить ступінь нагрятості того чи іншого тіла, за рахунок чого тіла охолоджуються або нагріваються.

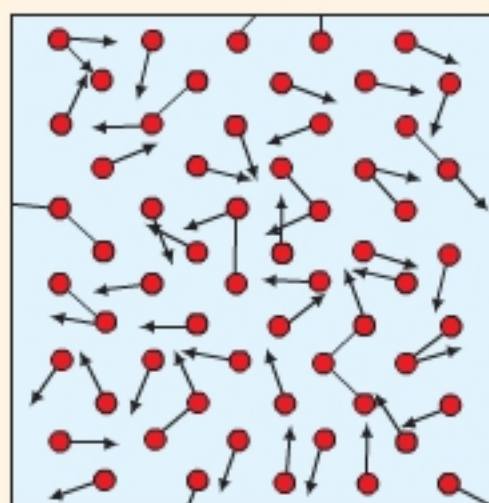
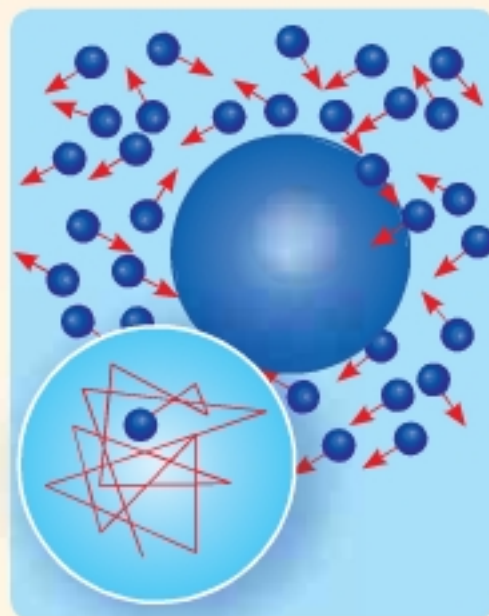
Пояснення теплових явищ дала молекулярно-кінетична теорія будови речовини (МКТ).

Із курсу фізики 7 класу і природознавства 5 класу вам відомі основні положення МКТ: усі тіла складаються із мікрочастинок (молекули, атоми, іони), які знаходяться в неперервному хаотичному русі, взаємодіючи одне з одним шляхом пружних зіткнень подібно до більярдних куль (мал. 3).

Кількість мікрочастинок у кожному тілі надзвичайно велика. Так, в 1 см^3 води міститься $3,34 \cdot 10^{28}$ мікрочастинок, кожна з яких рухається дуже складною траєкторією. Складність такого руху пояснюється тим, що мікрочастинки, зіштовхуючись одна з одною та зі стінками посудини, постійно змінюють свою траєкторію руху.

Експериментальні докази положень МКТ:

- відоме явище *дифузії* (взаємопроникнення мікрочастинок контактуючих тіл);

Мал. 3.
Хаотичний рух і взаємодія мікрочастинок

Мал. 4. Схема броунівського руху

- явище *броунівського руху*, названого так на честь ботаніка Роберта Броуна (1773–1858), який за допомогою мікроскопа спостерігав хаотичний рух частинок квіткового пилку під дією численних зіткнень молекул рідини (мал. 4);
- зміни *агрегатного стану речовини*, про що ти дізнаєшся у § 4.

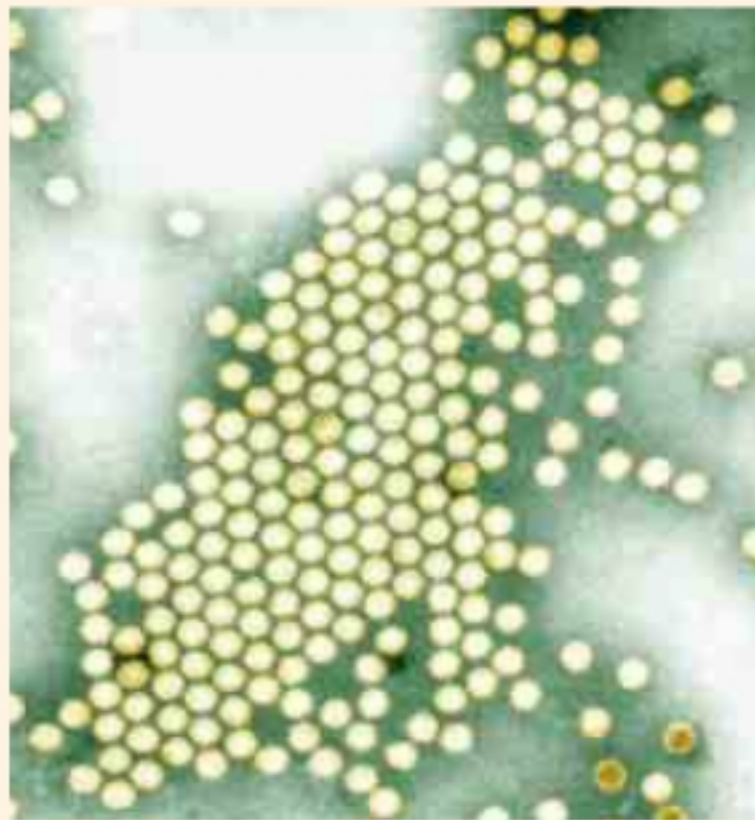


А ти знаєш?

У 1932 р. було винайдено електронний мікроскоп (мал. 5), який дозволив побачити атоми кристалічних тіл. Тепер поглянути на дискретність структури кристалів можеш і ти (мал. 6).



Мал. 5. Сучасний електронний мікроскоп



Мал. 6. Упорядковане розміщення мікрочастинок кристала (фото зроблене за допомогою електронного мікроскопа)

Р. Броун, спостерігаючи броунівський рух, помітив, що швидкість пересувань частинок квіткового пилку залежить від нагрятості рідини: коли вода холодніша, то рух броунівських частинок повільніший, а коли тепліша — більш швидкий. Оскільки швидкість броунівської частинки залежить від швидкостей молекул, що її штовхають, то можна зробити висновок, що нагрятість тіла пов'язана зі швидкостями мікрочастинок, із яких воно складається.

Цей висновок підтверджує молекулярно-кінетична теорія будови речовини: теплові властивості тіла визначаються інтенсивністю хаотичного руху складових мікрочастинок, тому його й було названо *тепловим рухом*. Інколи саме його коротко називають *теплотою*.

Хаотичний рух мікрочастинок тіла, пов'язаний із тепловими процесами у природі, називають тепловим рухом.

Мікрочастинки, із яких складаються тіла, перебувають у безперервному русі, а також взаємодіють між собою, отже, кожна з них у будь-який момент має певну швидкість і кінетичну енергію, а також потенціальну енергію.

Сума кінетичних і потенціальних енергій всіх мікрочастинок тіла складає внутрішню енергію тіла $E_{\text{вн}}$.

Оскільки маса окремої частинки (атома, молекули) дуже мала, то її кінетична енергія також мала (близько 10^{-21} Дж), але макроскопічне тіло складається з величезної кількості молекул, тому внутрішня енергія тіла може сягати мільярдів джоулів.

Зі сказаного випливає, що енергія теплового руху тіла є складовою його внутрішньої енергії. Коли тілу передається тепло (наприклад, під час нагрівання води в каструлі), то його внутрішня енергія збільшується, а під час охолодження — зменшується.

Продовжимо міркування. Доповнимо закон збереження повної механічної енергії, знайомий із фізики 7 класу, враховуючи поняття внутрішньої енергії тіла.



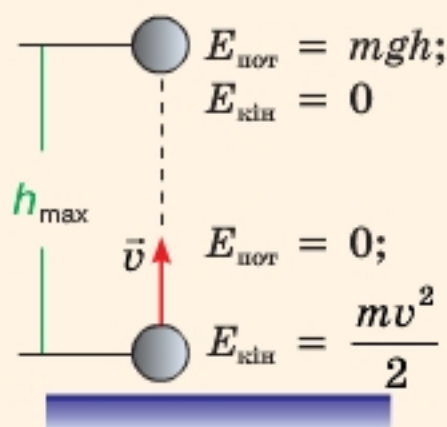
Пригадай

- Які види механічної енергії ти знаєш?
- У чому полягає закон збереження і перетворення механічної енергії?
- Наведи приклади перетворення одного виду механічної енергії в інший.

Приклад. Розглянемо рух сталевий кульки, підкинутої вгору з певною початковою швидкістю (мал. 7).

У будь-якій точці траєкторії кулька має потенціальну енергію ($E_{\text{пот}} = mgh$) і кінетичну енергію ($E_{\text{кін}} = \frac{mv^2}{2}$), при цьому виконується закон збереження і перетворення повної механічної енергії. Відомо, що повна енергія тіла — це сума його механічної енергії і внутрішньої енергії тіла ($E_{\text{вн}}$):

$$E = E_{\text{кін}} + E_{\text{пот}} + E_{\text{вн}}$$



Мал. 7. Рух кульки, підкинутої вгору

Зауважимо, що значення механічної кінетичної і потенціальної енергії тіла залежить від системи відліку, у якій вони визначаються, а значення внутрішньої енергії тіла залежить тільки від його теплового стану.

За результатами багатьох експериментальних досліджень було сформульовано закон збереження енергії, справедливий і для теплових явищ:

Енергія у природі не виникає з нічого і не зникає. Вона лише переходить з одного виду в інший або переходить від одного тіла до іншого.



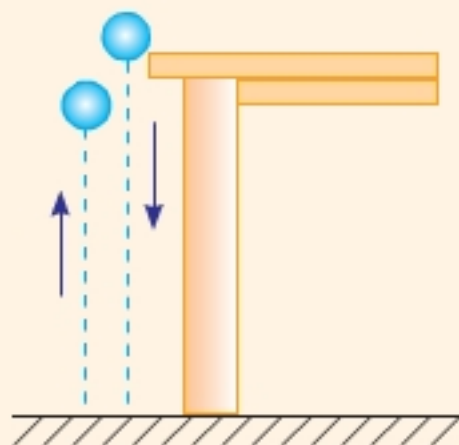
Підсумки

- Теплові явища — це явища, пов'язані з нагріванням або охолодженням тіл у природі.
- Внутрішня енергія тіла — це сума кінетичної і потенціальної енергії всіх мікрочастинок тіла.
- Хаотичний рух мікрочастинок тіла — це тепловий рух.
- Повна енергія тіла — це сума його механічної і внутрішньої енергії.



Перевір свої знання

- 1*. Які види механічної енергії мають мікрочастинки тіла?
- 2*. Що таке внутрішня енергія тіла?
- 3*. Як тепловий стан тіла залежить від його внутрішньої енергії?
- 4**. Поклади м'ячик на край столу. Зіштовхни його. Подумай і поясни, чому м'ячик не зміг піднятися до рівня столу (мал. 8).



Мал. 8

- 5**. Пригадай з історії, як первісна людина добувала вогонь. Які способи зміни теплового стану тіл при цьому вона використовувала?
- 6***. Дай розгорнуту відповідь, якими перетвореннями енергії зумовлено нагрівання морської води після шторму.
- 7***. Коли забиваємо цвях, його голівка нагрівається слабко, а коли цвях вже забитий, навіть декілька ударів по ньому сильно нагрівають голівку цвяха. Поясни цей ефект.

§ 2. Температура. Теплова рівновага



Думки вголос

Я дізнаюся, що таке теплова рівновага, дам визначення температури тіла як фізичної величини, зможу застосовувати висновки МКТ до пояснення температури тіла.

Людина за допомогою відчуттів може оцінювати ступінь нагрятості тіл на дотик. Цього досить, наприклад, для того, щоб раптом не обпектися гарячою рідиною або подбати про одяг у холодну пору року. З часом із потреб медицини та з розвитком ремесел і виробництва виникла потреба точніше визначати нагрятість тіл, порівнювати її ступінь у різних випадках. Покладатися на відчуття тут вже було не можна, оскільки вони могли відрізнятися у різних людей і залежати від умов визначення ступеня нагрятості тіла. Необхідним став об'єктивний (що не залежить від відчуттів людини) засіб вимірювання ступеня нагрятості тіла, спеціальний прилад.

Яку ж фізичну величину мав вимірювати такий прилад?



А ти знаєш?

Припускають, що саме давні лікарі були першими, кому знадобилася точна шкала ступеня нагрятості людського тіла. Оскільки вони помітили, що стан здоров'я людини пов'язаний з теплотою його тіла і на нього здатні впливати ліки. Для лікування різних хвороб їх змішували, отримані суміші мали різні градуси (латиною *gradus* — це сходинка). Тобто кожному з ліків відповідала своя температура (латиною *temperatura* — це суміш). За цією версією так з часом і виникли фізичні терміни, якими ми широко користуємося, виконуючи теплові виміри.

Відповісти на сформульоване вище запитання нам допоможе молекулярно-кінетична теорія і поняття внутрішньої енергії тіла, які обговорювалися у попередньому параграфі.

За сучасною термінологією *температура* — це ступінь нагрятості тіла. Цю фізичну величину позначають малою латинською літерою t . Якщо більш нагріте тіло має температуру t_1 , а менш нагріте — температуру t_2 , то температура першого тіла буде вищою за температуру другого, тобто:

$$t_1 > t_2.$$

А чим відрізняються такі тіла з фізичної точки зору?

Дослід 1. Візьми два шматочки цукру, один із них поклади у холодну воду, а інший — в кип'яток.

Видно, що в кип'ятку цукор розчинився набагато швидше (мал. 9). Розчинення відбувається за рахунок дифузії, яка за більшої температури відбувається швидше, ніж за нижчої. Але причиною дифузії є рух мікрочастинок (молекул або атомів). Отже, між швидкістю руху мікрочастинок і температурою тіла є зв'язок: у тілі з більшою температурою частинки рухаються швидше.

Швидкість руху окремих частинок тіла відрізняється одна від одної, тому температура тіла визначається середньою швидкістю його молекул або атомів. Оскільки різні речовини складаються з різних мікрочастинок, які мають різні маси, то можемо зробити висновок, що і маса мікрочастинок впливає на температуру тіла. Пам'ятаємо, що від маси і швидкості залежить кінетична енергія частинки. Англійський вчений Дж. Максвелл теоретично довів, що температура тіла визначається середньою кінетичною енергією мікрочастинок, із яких воно складається.



Температура є мірою середньої кінетичної енергії хаотичного руху молекул і атомів даного тіла, вона характеризує інтенсивність їх теплового руху.

Раніше ми відзначали, що енергія теплового руху є складовою внутрішньої енергії тіла. Звідси випливає, що зі зростанням внутрішньої енергії певного тіла також зростатиме його температура, і навпаки.

Тепер стає зрозумілим, чим різняться одне від одного гарячі й холодні тіла. Молекули гарячого тіла мають більшу кінетичну енергію хаотичного руху, тобто рухаються швидше, ніж молекули холодного тіла. Якщо ці тіла привести в контакт, притиснувши одне до одного, то більш швидкі молекули гарячого тіла співударятимуться з повільними молекулами холодного тіла, віддаватимуть їм частину своєї енергії і самі почнуть рухатися повільніше. Гаряче тіло остигатиме, холодне нагріватиметься. Через деякий час внаслідок величезної кількості співударів в обох тілах встановиться однакова для них середня швидкість хаотичного руху молекул. Температура обох тіл стане однаковою.

Стан, коли в тілах, що перебувають у контакті, встановлюється спільна для їх молекул середня швидкість хаотичного руху, а тіла набувають однакової температури, називають станом теплової рівноваги.

За звичайних умов у природі тепла рівновага з часом встановлюється між будь-якими тілами або між частинами одного тіла, що мають різну температуру. Перебіг теплових явищ завжди відбувається у напрямі вирівнювання температур, при цьому більш нагріті тіла віддають тепло, і їх температура знижується, а менш нагріті отримують тепло з підвищенням їх температури.

Дослід 2. Якщо покласти невеликий шматок льоду у склянку з теплою водою, через деякий час лід зникне, а вода стане холоднішою (мал. 10). Лід (тверда вода) перетвориться на воду. При цьому відбувається самовільний процес переходу теплоти від більш нагрітого тіла (тепла вода) до менш нагрітого (лід), внаслідок чого лід з часом розтане.



Мал. 10.
Танення льоду
у склянці з
водою

Охолоджена вода почне нагріватися, доки не набуде кімнатної температури. Такий перехід відбуватиметься упродовж певного проміжку часу до встановлення стану теплової рівноваги, якому відповідає певне значення температури навколишніх тіл. Отже, можна дати ще таке означення температури.

Температура — це фізична величина, яка характеризує стан теплової рівноваги системи тіл або частин одного тіла.

Якби за допомогою гіпотетичного збільшувального приладу можна було б побачити окремі молекули, наприклад води, та простежити за їх рухом, то ми пересвідчилися б: якщо вода холодна — її молекули рухаються відносно повільно; якщо вода тепла —

швидше; якщо гаряча — дуже швидко. Тобто у мікрочастинок змінюються швидкість руху і середня кінетична енергія. Ці величини (се-



Інтерактивна модель «Рух мікрочастинок води за умови різних температур»

редня швидкість руху, середня кінетична енергія мікрочастинок тощо) називають *мікропараметрами*.

Важливо! Досліди зі встановлення теплової рівноваги показують, що в цьому стані припиняються зміни **макроскопічних величин**, які характеризують тіло. Наприклад, у тіл з однаковими температурами теплообмін не відбувається, вони перебувають у стані теплової рівноваги. Приклади макроскопічних величин — це *температура тіла, його об'єм, маса, тиск*.

Поміркуй і дай відповіді на запитання

1. Знімаєш гарячий чайник, а за деякий час він охолоджується — віддає частину своєї внутрішньої енергії навколишньому повітрю (мал. 11). Назви процес, що відбувається між чайником і повітрям.
2. Під час приготування чаю гарячу воду наливають у склянку. Які зміни відбуваються із внутрішньою енергією склянки і води?
3. Якщо залишити гарячий чай на столі, чому він охолоджується? Як можна назвати цей процес?



Мал. 11. Чайник з гарячою водою

Узагальнення міркувань

Усе це приклади самовільних процесів у природі — перехід частини внутрішньої енергії від більш нагрітих тіл до менш нагрітих. Різний ступінь «нагрітості» тіл, тобто різний тепловий стан, зумовлює існування теплообміну у природі.



Підсумки

- Теплові явища поширені у природі, вони відіграють значну роль у житті людини.
- Перехід «тепла» може відбуватися від більш нагрітого тіла до менш нагрітого. Зворотні процеси у природі неможливі.
- Перехід частини внутрішньої енергії від більш нагрітих тіл до менш нагрітих — це самовільні процеси.
- Тепловий стан тіла тісно пов'язаний із внутрішньою будовою речовини і пояснюється його молекулярною будовою.
- Температура тіла — це міра середньої кінетичної енергії частинок тіла.



Перевір свої знання

- 1*. Які процеси в природі називають тепловими?
- 2*. Яка фізична величина називається температурою тіла?
- 3*. Який стан називають станом теплової рівноваги?
- 4*. Як залежить швидкість дифузії від температури тіла? Наведи приклади дослідів, які пояснюють цей факт.
- 5*. Наведи приклади теплових явищ у природі та в побуті.



Мал. 12. Гальмування автомобіля на дорозі

- 6*.** Чи може механічна енергія тіла перетворюватись у внутрішню енергію?
- 7*.** Чи може внутрішня енергія перетворюватись у механічну? Наведи приклади.
- 8**.** Розглянь процес перетворення енергії на прикладі гальмування автомобіля на дорозі (мал. 12).
- 9**.** Чим відрізняється гаряча вода від холодної?
- 10**.** Як відбувається дифузія за різних температур? Наведи приклади.
- 11***.** У термосі лід плаває у воді. Чи відбуватиметься теплообмін між тілами, якщо:
- а) температура льоду і води однакова і дорівнює $0\text{ }^{\circ}\text{C}$;
 - б) температура льоду дорівнює $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$, а води $0\text{ }^{\circ}\text{C}$;
 - в) температура льоду дорівнює $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, а води $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$?
- 12***.** Як змінюється внутрішня і механічна енергія хокейної шайби, коли:
- а) її виносять із теплої кімнати на мороз;
 - б) літак, на якому перевозять шайбу (разом із хокеїстами):
 - бере розгін на доріжці перед підйомом;
 - набирає висоту;
 - в) по шайбі б'ють ключкою?

§ 3. Вимірювання температури. Термометри. Шкала Цельсія



Думки вголос

Я зможу розширити свої знання про вимірювання температури. Дізнаюся, що таке шкала термометра, як вона побудована. Ці знання для мене мають велике практичне значення.

Чи траплялися вам такі ситуації?

На малюнку 13 показано різні ситуації, коли ми маємо подбати про створення певних теплових умов у побуті або на виробництві.

Отже, відомо, що потреби лікарів, ремісників, учених минулого вимагали створення приладу, здатного точно визначати ступінь нагрітості тіла, тобто його температуру. На той час ще була невідома будова речовини, а, отже, і незрозумілий фізичний зміст поняття температури. Однак учені знали, що деякі властивості тіла пов'язані з його теплою, наприклад, те, що під час нагрівання всі тіла розширюються. Ці властивості винахідники використовували у конструкціях приладів, здатних вимірювати температуру. З часом такі прилади називали *термометрами*. Чутливим елементом у термометрі є *термометричне тіло*, характеристики якого залежать від температури.



Мал. 13. Створення певних теплових умов:

а — життя рибок в акваріумі;

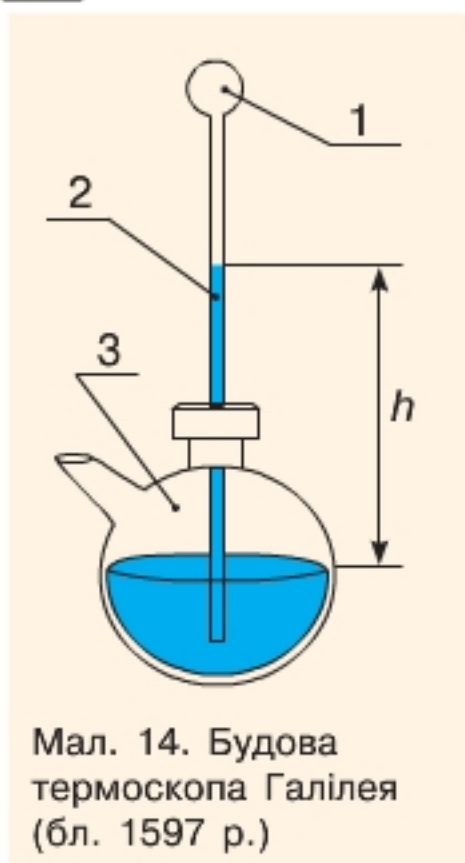
б — теплові умови прання; в — для купання немовлят;

г — у приміщенні; д — на виробництві

Термометр — прилад для вимірювання температури за допомогою контакту з досліджуваним середовищем. Дія термометра ґрунтується на фізичних явищах, що залежать від температури (теплове розширення речовин, зміна електричного опору тощо).



Для тих, хто хоче знати більше



Мал. 14. Будова термоскопа Галілея (бл. 1597 р.)

Не дивно, що прототип термометра — термоскоп (мал. 14) — створив Галілео Галілей (1564–1642), який одним із перших зрозумів важливість виконання точних вимірів під час фізичних досліджень.

Термометричним тілом у термоскопі Галілея було повітря, яке заповнювало скляну колбу 1, від нижньої частини якої відходила скляна трубка 2, частково заповнена підфарбованою водою. Ця трубка занурювалася нижнім кінцем у посудину 3, також наповнену підфарбованою водою. Перед використанням колбу злегка нагрівали, при цьому частина повітря з неї виходила, після чого трубку опускали в посудину. Під дією атмосферного тиску вода у трубці піднімалася вгору до певного рівня. Коли колбу приводили в контакт із холодним або теплим тілом (наприклад, охоплювали колбу долонею), повітря в колбі стискалося або розширялося. При цьому зміна рівня рідини у трубці була вказівником

температури досліджуваного тіла. Однак висота стовпчика при цьому залежала не тільки від температури тіла, а й від атмосферного тиску, тому вимірювання температури термоскопом було наближеним. Термоскоп Галілея не мав шкали, але він давав змогу порівнювати температури різних тіл у певний час і у певному місці.

З часом майстри, винахідники, учені вдосконалювали термометри, змінюючи їх конструкції та використовуючи різні термометричні тіла. Наприклад, перший рідинний термометр було винайдено у 1631 р. французьким фізиком Ж. Реєм.

У наш час існує багато типів термометрів, дія яких ґрунтується на різних принципах. Деякі типи сучасних термометрів показано на малюнку 15.

Ознайомимося детальніше з будовою і принципом дії спиртового термометра зі шкалою Цельсія (мал. 16).

Чутливим елементом термометра є *маленька колбочка*, заповнена рідиною. Звичайно підбирають рідину, об'єм якої збільшується пропорційно температурі в якомога ширшому діапазоні. Найчастіше як термометричне тіло використовують спирт і ртуть.

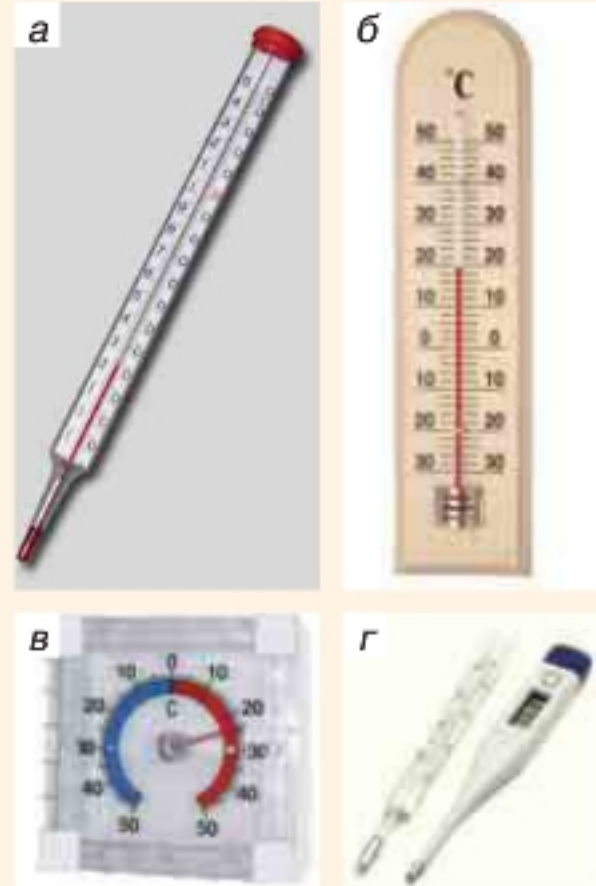
Хоча найкраще підходить сірчана кислота, її не використовують через небезпеку опіків у випадку руйнування термометра.

Щоб побачити зміни об'єму рідини, від колби відходить тонка скляна трубка (*капіляр*), якою рухається стовпчик підфарбованого спирту. Його висота пропорційна збільшенню його об'єму під час нагрівання. Відповідно зі зниженням температури висота стовпчика зменшується.

Для отримання числових значень температури під капіляром встановлено проградуйовану *шкалу з поділками*, позначкам якої відповідають значення температури. Також на шкалу нанесено *реперні точки*, тобто первісні, відтворювані на досліді температурні позначки, яким присвоюють певні значення температури. На малюнку 17 показано процес визначення реперних точок для шкали Цельсія у стандартних умовах за нормального атмосферного тиску 760 мм рт. ст., або 101 292,8 Па.

За точку, якій присвоюють значення 0°C , приймають значення температури танення льоду. Точці підйому спиртового стовпчика під час занурення колбочки у киплячу воду відповідає значення температури 100°C .

Інтервал між реперними точками поділено на 100 рівних поділок, кожна з яких дорівнює 1°C , і через кожні 10°C позначено проміжні числові значення температури. Покази таких термоме-

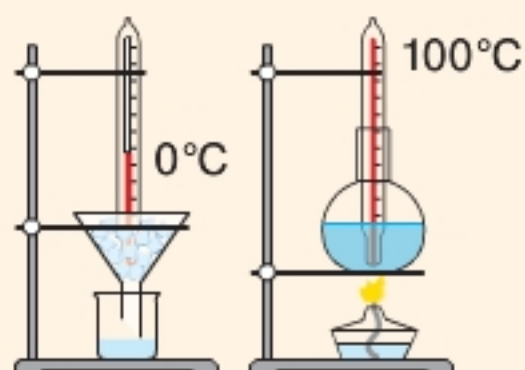


Мал. 15. Деякі типи сучасних термометрів:

а — лабораторний спиртовий;
б — кімнатний рідинний;
в — віконний біметалічний;
г — медичні ртутний та цифровий

Мал. 16.
Спиртовий термометр, межі вимірювання температури — від -10°C до $+150^{\circ}\text{C}$

Мал. 17.
Визначення реперних точок у стандартних умовах під час градуювання шкали термометра



трів збігатимуться за певної температури незалежно від того, де і коли вони виготовлені.

У шкалі Цельсія одиницею температури є *градус Цельсія* (1°C) — одна сота частина інтервалу між температурами плавлення льоду і кипіння дистильованої води за нормального атмосферного тиску.

Більшість кліматичних процесів на землі і процесів в живій природі пов'язана з діапазоном температур від -50°C до $+50^{\circ}\text{C}$. Тому на практиці використовують шкалу Цельсія. Шкала Цельсія є надзвичайно зручною, оскільки вода дуже поширена на нашій планеті і на ній базується життя. Нуль шкали Цельсія — особлива точка в метеорології, тому що вона пов'язана з замерзанням води в атмосфері.

У системі одиниць СІ за одиницю температури прийнято кельвін (1 K), тобто один градус за Кельвіном, який за значенням дорівнює 1°C . Нагадаємо, що температуру за шкалою Цельсія позначають малою латинською літерою t .

Значення температури, яке показує термометр у цей момент, дорівнює температурі рідини у колбочці. Тому, щоб виміряти температуру певного тіла, треба колбочку привести в контакт із цим тілом. Потім зачекати декілька хвилин доти, поки між тілом і рідиною в колбочці встановиться стан теплової рівноваги (їх температури зрівняються), після чого зняти покази термометра — відлічити значення температури на шкалі.

Історична довідка

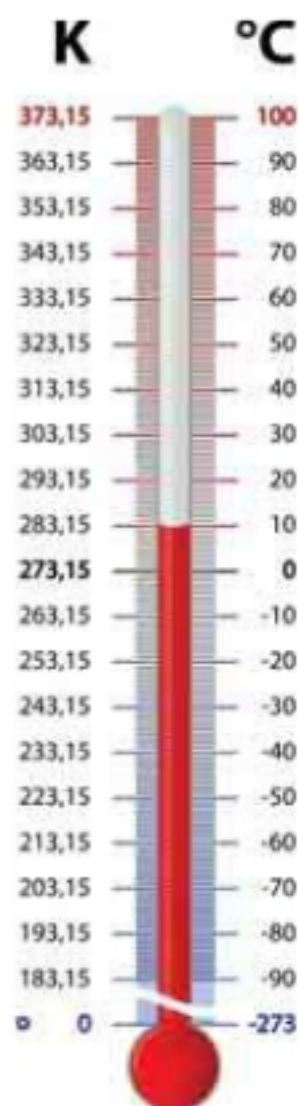
Андерс Цельсій (1701–1744) — шведський астроном і математик — винайшов термометр зі стоградусною шкалою, який отримав його ім'я (термометр зі шкалою Цельсія, або термометр Цельсія). Сам Цельсій називав цей термометр «прикрасою» або приладом, що дозволяє побачити, «якою мірою теплішає чи холоднішає в кімнаті». Спершу Цельсій визначив точку кипіння води як нуль градусів, а точку танення льоду — як 100 градусів. У 1744 р. М. Штремер перевернув шкалу (відтоді 0 градусів — температура танення льоду, а 100 градусів — кипіння води).



А ти знаєш?

У фізиці застосовується **абсолютна температурна шкала** (шкала Кельвіна), в якій температура замерзання води дорівнює $273,15\text{ K}$, а кипіння води — $373,15\text{ K}$ (мал. 18).

Мал. 18. Абсолютна температурна шкала в порівнянні зі шкалою Цельсія



Розмір градуса в цій шкалі такий самий, як і на шкалі Цельсія. Градус Кельвіна позначають буквою К, на відміну від градуса Цельсія ($^{\circ}\text{C}$). Абсолютний нуль (його ще називають «останнім ступенем холоду») — це температура за шкалою Цельсія $-273,15^{\circ}\text{C}$, за якої зупиняється тепловий рух мікрочастинок. Значення температури за шкалою Кельвіна визначають за формулою $T = t + 273$, де t — температура за шкалою Цельсія.



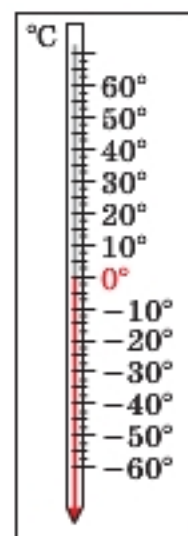
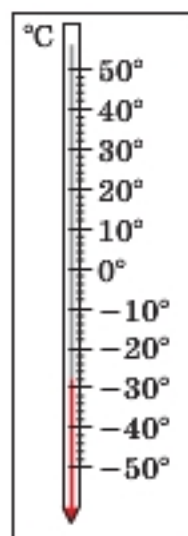
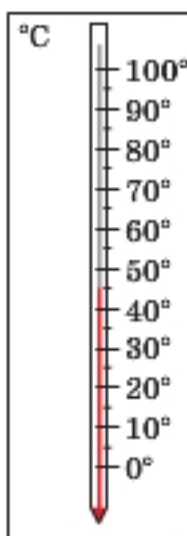
Підсумки

- Ступінь нагрітості тіла визначають температурою тіла.
- Температура тіла — фізична величина, яку вимірюють в градусах.
- Більш нагріте тіло має вищу температуру, менш нагріте тіло — меншу.
- Температуру тіла вимірюють термометром.
- Існують різні шкали для вимірювання температури тіла. У побуті, техніці найчастіше використовують шкалу Цельсія, а в фізиці ще й шкалу Кельвіна.



Перевір свої знання

- 1*. Яку температуру взято за 0°C ?
- 2*. Яку температуру взято за 100°C ?
- 3*. У який спосіб можна найточніше визначити температуру гарячої води у склянці?
- 4**. З якою метою у медичному термометрі у трубці з ртуттю роблять звуження?
- 5**. Стоматологи не радять їсти дуже гарячу їжу. Поміркуй, чому.
- 6**. Дізнайся про інші шкали вимірювання температур і назви їх реперні точки.
- 7***. Чим пояснити, що в гарячій воді ртутний термометр показує 50°C , а спиртовий 52°C , хоча в реперних точках 0°C і 100°C ці показання не відрізнялись?
- 8***. Визнач ціну поділки термометрів та їх показання за шкалами:



Дай відповіді на запитання:

- а) Де можливо вимірювати температуру такими термометрами?
- б) У яких випадках вимірювання такими термометрами проводити не можна?

§ 4. Агрегатні стани речовини.

Фізичні властивості твердих тіл, рідин, газів



Думки вголос

Я зможу пояснити відмінності між внутрішньою будовою речовин у різних агрегатних станах, а також назвати фізичні властивості речовин у різних агрегатних станах.

Найпоширеніша речовина на землі — це вода. Із курсу природознавства ти знаєш, що вода може бути у трьох станах: твердому, рідкому та газовому (схема 1). Ці стани називають *агрегатними* (латиною *aggregatus* — приєднаний, зв'язаний).



Уяви таку ситуацію. Ти перебуваєш у зимовому лісі. Зима сніжна, морозна, на землю падають сніжинки, осідають на гілках дерев і кущів, вкривають все білим килимом (мал. 19).

А з чого утворилася сніжинка?

Молекули води входили до складу вод океану, річки або води в рослинах. Потім, випаровуючись, вода потрапила в повітря. Внаслідок замерзання водяних крапель утворилася сніжинка (мал. 20). Сніг і лід — це твердий агрегатний стан води.



Мал. 19. Зимовий ліс



Мал. 20. Сніжинка у збільшеному вигляді

Чому одні тіла тверді, інші — рідкі або в газовому стані?

Відповідь дає молекулярно-кінетична теорія будови речовини (МКТ) (мал. 21).

- У *твердих тілах* мікрочастинки щільно розміщені одна біля одної. Їх рух зводиться до коливань навколо точок рівноваги кристалічних ґрат. Взаємодія між сусідніми частинками дуже сильна, тому потенціальна енергія їх взаємодії значно більша за кінетичну енергію руху частинок ($E_{\text{кін}} \ll E_{\text{пот}}$).
- У *рідинах* відстань між частинками більша, швидкість руху теж більша, рухливість невелика. Сила взаємодії не дуже сильна, тому потенціальна енергія взаємодії частинок приблизно дорівнює кінетичній енергії руху частинок ($E_{\text{кін}} \approx E_{\text{пот}}$).
- У *газах* відстань між мікрочастинками значно більша за їх розміри, а швидкість руху дуже велика. Тому кінетична енергія руху частинок значно більша за потенціальну енергію їх взаємодії ($E_{\text{кін}} \gg E_{\text{пот}}$).

Звідси випливає, що тіло в однакових умовах у різних агрегатних станах має різну внутрішню енергію.

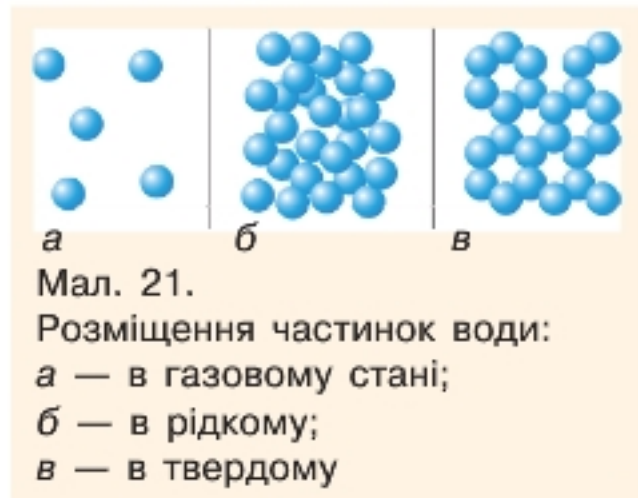
Кожен з агрегатних станів визначається розташуванням, характером руху та взаємодією *мікрочастинок речовини* (табл. 1).

Властивості тіл у різних агрегатних станах

Відповідно до мікроскопічної будови тіл у різних агрегатних станах вони мають різні властивості.

- **Тверді тіла** бувають *кристалічними* й *аморфними*. Кристалічні тіла мають впорядковану структуру. Мікрочастинки, із яких вони складаються, утворюють кристалічні ґрати. Взаємодія між частинками дуже сильна, внаслідок чого вони практично ніколи не залишають вузли кристалічних ґрат. Тому тверді тіла добре зберігають свої об'єм і форму.

Кристалічні тіла поділяють на *монокристали*, які можуть мати великі розміри і правильні геометричні форми (придивись до кубиків кухонної солі); і *полікристали*, які утворюються з великих спаяних агрегатів із дрібних монокристалів, що мають хаотичну орієнтацію (видно на зламі мідного чи алюмінієвого дроту або чавунної сковороди).



Таблиця 1

Характеристики розташування, руху і взаємодії мікрочастинок у різних агрегатних станах

Агрегатний стан	Відстань між мікрочастинками	Характер руху мікрочастинок	Сила взаємодії між мікрочастинками	Співвідношення між $E_{\text{кін}}$ і $E_{\text{пот}}$ мікрочастинок тіла
Твердий	Менша за розміри мікрочастинок	Коливальний рух навколо точок рівноваги	Сильна взаємодія	$E_{\text{кін}} \ll E_{\text{пот}}$
Рідкий	Дуже мала, суміжна з розмірами мікрочастинок	Можуть вільно перескакувати з осідлого місця	Слабша, ніж у твердих тілах	$E_{\text{кін}} \approx E_{\text{пот}}$
Газовий	Проміжки в багато разів більші за розміри мікрочастинок	Хаотично рухаються	Сила взаємодії майже відсутня	$E_{\text{кін}} \gg E_{\text{пот}}$

Аморфні тверді тіла (наприклад, скло) своєю структурою нагадують тверду рідину. Але з часом скло «пливе», може кристалізуватися. У таблиці 2 наведено основні властивості твердих тіл.

Таблиця 2

Фізичні властивості твердих тіл

Агрегатний стан	Види	Внутрішня будова	Фізичні властивості
Тверді тіла	Кристали: • монокристали • полікристали	Частинки розташовані в певному порядку	Мають певну температуру плавлення. Тверді, міцні, пружні
	Аморфні тіла	Розташування мікрочастинок подібне рідинам	Не мають певної температури плавлення; з часом можуть кристалізуватися

Приклади кристалів кухонної солі, алмазу і графіту наведено у таблиці 3.

Таблиця 3

Зовнішній вигляд та внутрішня структура деяких кристалів

Кристал	Зовнішній вигляд	Упаковка атомів, кристалічні ґрати
Алмаз		
Графіт		
Кухонна сіль		

- **Рідини** займають проміжне положення між кристалами і газами. Молекули мікрочастинок рідин утворюють щось подібне до кристалічних ґрат в дуже обмеженій ділянці (існує ближній порядок в розміщенні частинок). Рідини практично не стискаються, тому мають сталий об'єм. Оскільки частинки або їх агрегати дуже рухливі, то рідини не мають власної форми, а набувають форму посудини.
- У **газах** відстань між мікрочастинками значно більша за їх розміри, тому взаємодія між частинками дуже мала. Внаслідок цього газу не мають власної форми і сталого об'єму, вони займають весь наданий їм простір і набувають його форму і об'єм.


Підсумки

- Речовина може перебувати в різних агрегатних станах: твердому, рідкому, газовому.
- Агрегатний стан речовини пояснюється внутрішньою будовою, розміщенням, рухом і взаємодією її мікрочастинок.
- Фізичні властивості твердих тіл, рідин і газів пояснюються їх внутрішньою будовою.



Перевір свої знання

- 1*. Чим відрізняються молекули води і водяної пари?
- 2*. Чи може залізо перебувати в газовому стані?
- 3**. Чому дві частини зламаної ручки не з'єднуються, якщо їх щільно притиснути одна до одної? Чому шматочки пластиліну, щільно притиснуті один до одного, злипаються?
- 4**. Тіло зберігає свій об'єм, але легко змінює форму. У якому стані перебуває тіло?
- 5**. Порівняй потенціальну енергію всіх мікрочастинок рідкого стеарину і всіх мікрочастинок твердого стеарину.
- 6**. Що відбувається з кінетичною енергією мікрочастинок газу за його нагрівання? Як це впливає на тиск газу?
- 7***. *Творчий проект: «Вирощуємо кристали».*
Мета проекту: навчитися вирощувати кристали.
Прилади і матеріали: скляна банка, дистильована вода, кухонна сіль, фільтр.
Правила вирощування кристалів знайди самостійно.



Для самоперевірки



Для тих, хто хоче знати більше

Для рідин характерним є явище поверхневого натягу, яке виникає через різницю у взаємодії між молекулами рідини в об'ємі й на поверхні. Внаслідок цього рідина поводить себе так, наче на її поверхні утворена молекулярна плівка, що стягує рідину і заважає їй розтектися. Поверхневим натягом рідини також пояснюють явище капілярності — підняття або опускання рідини у трубках невеликого діаметра (капілярах). Капілярність широко використовують у техніці, зокрема, в агротехніці. Приклади прояву поверхневого натягу рідини показано на малюнку 22.



Мал. 22. Приклади прояву капілярності:

- а — комахи бігають поверхнею води, не занурюючись;
- б — краплі роси набувають власної сферичної форми;
- в — волога за рахунок капілярності піднімається в щільному ґрунті з глибинних шарів у поверхневі

§ 5. Теплове розширення твердих тіл, рідин, газів

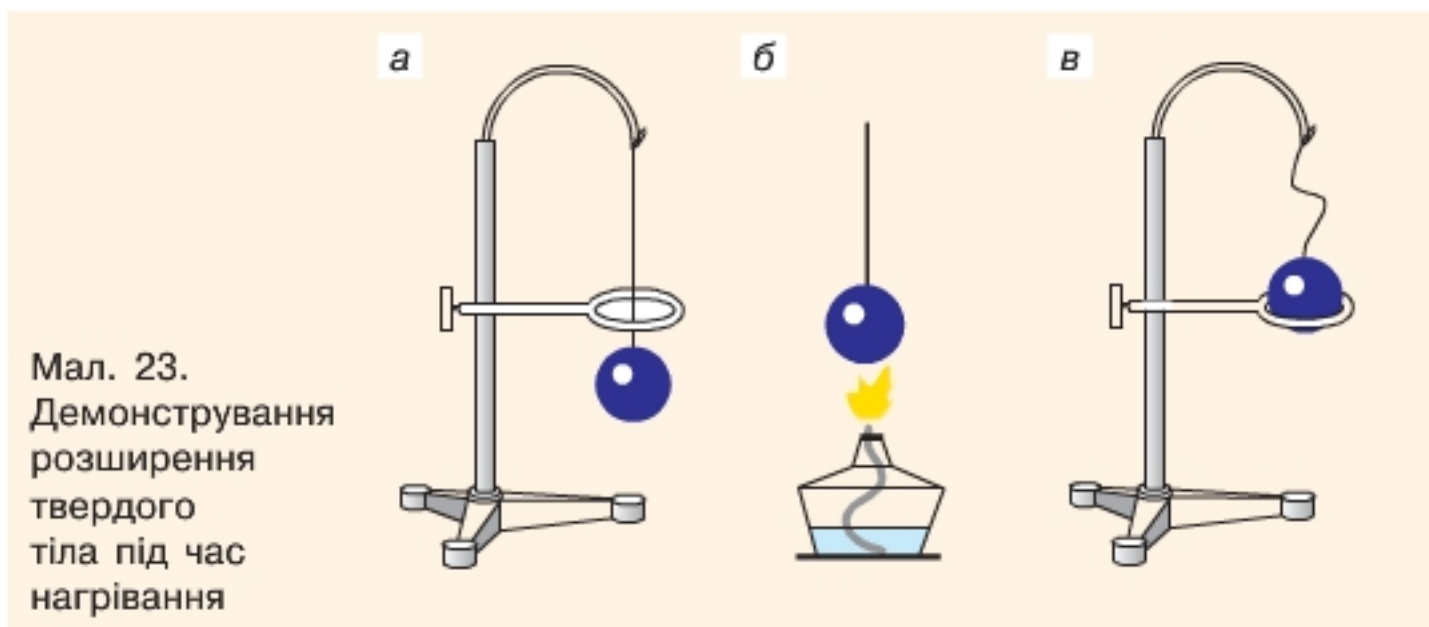
**Думки вголос**

Я зможу пояснити теплову зміну лінійних і об'ємних розмірів твердих тіл, особливості теплового розширення рідин і газів. Ознайомлюсь з тим, як застосовують знання теорії фізичних процесів.

Наукові дослідження свідчать, що більшість речовин у різних агрегатних станах під час нагрівання розширюються, а під час охолодження стискаються. У цьому можна пересвідчитися на простих дослідах.

Дослід 1. Теплове розширення твердих тіл

Скористаємося приладом для демонстрування розширення твердого тіла під час нагрівання (мал. 23).



Мал. 23.
Демонстрування
розширення
твердого
тіла під час
нагрівання

У холодному стані металева кулька вільно проходить через металеве кільце (мал. 23, а). Нагріємо кульку в полум'ї спиртівки (мал. 23, б) і спробуємо знову пропустити розпечену кульку крізь кільце. Бачимо, що це не вдається. Кулька застрягла в кільці, крізь яке вона вільно проходила у холодному стані (мал. 23, в). Єдиним поясненням цього є збільшення розмірів кульки унаслідок її нагрівання.

Чому розміри кульки збільшилися внаслідок нагрівання?

Знаючи особливості внутрішньої будови твердих тіл, ти це зможеш пояснити. Мікрочастинки кульки внаслідок підвищення її температури стали рухатися швидше і з більшою амплітудою, відстань між ними зросла, у результаті збільшився діаметр кульки, а отже, і її об'єм.

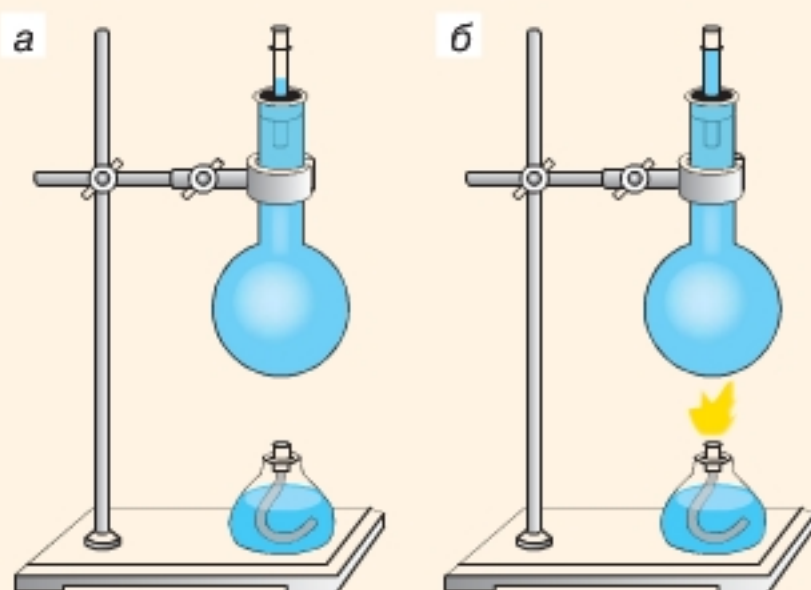
Дослід 2. Теплове розширення рідин

Укріпимо на штативі скляну колбу, наповнену підфарбованою водою. Горловина колби міцно закоркована, через корок пропущено тонку скляну трубку, до певного рівня також заповнену тією самою рідиною. Під колбу встановимо спиртівку (мал. 24, а).

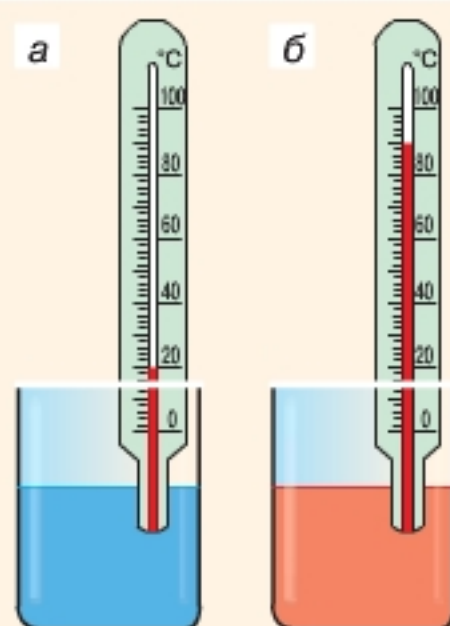
Підпалимо гніт спиртівки й почнемо нагрівати воду в колбі. З часом помітимо, що за відповідної температури висота стовпчика рідини сягнула більшої висоти (мал. 24, б). Зрозуміло, що внаслідок нагрівання рідини її об'єм збільшився — відбулося розширення рідини.

Ще можна продемонструвати це явище, скориставшись рідинним термометром. Зануримо його спочатку в холодну воду (мал. 25, а), а потім — у гарячу (мал. 25, б), адже принцип дії рідинного термометра полягає у явищі розширення рідини внаслідок її нагрівання. На малюнках умовно холодна вода показана синім кольором, а гаряча — червоним.

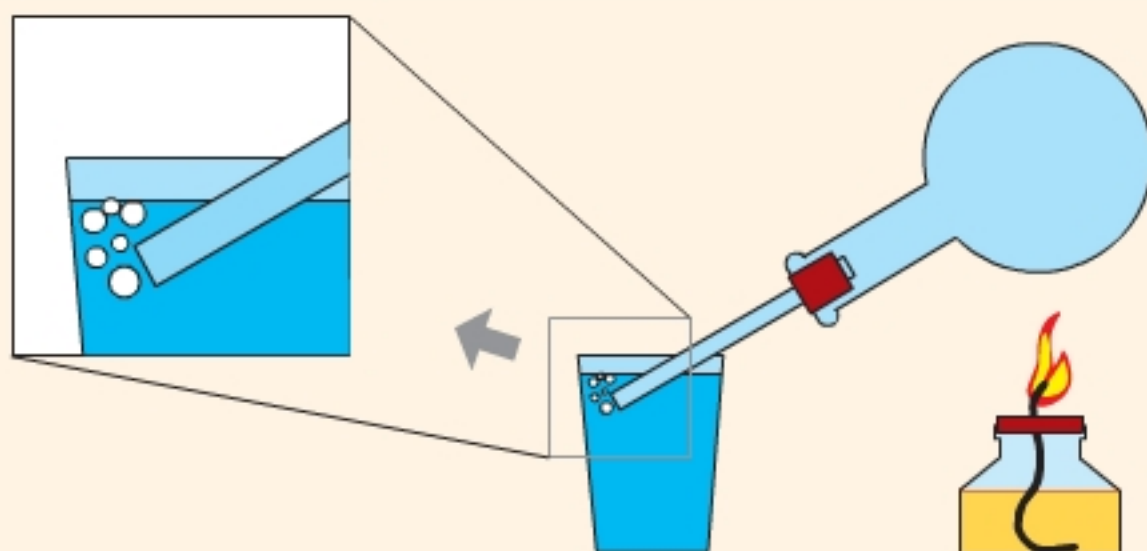
Рідини розширюються значно сильніше за тверді тіла. Про лінійне розширення рідин говорити не можна, оскільки рідина не має певної форми. У рідині мікрочастинки можуть здійснювати поступальний рух, тому рідина не зберігає форми. А за рахунок того, що мікрочастинки здійснюють коливальні й обертальні рухи навколо положень рівноваги, рідина за певної температури зберігає об'єм. Із збільшенням температури зростають відстані між мікрочастинками, що призводить до зміни об'єму тіла. Різні рідини за однакового нагрівання розширюються неоднаково.



Мал. 24. Демонстрування збільшення об'єму рідини з підвищенням температури



Мал. 25. Збільшення об'єму рідини в капілярі спиртового термометра внаслідок підвищення температури води



Мал. 26. Повітря внаслідок нагрівання розширюється, а під час охолодження — стискається

Дослід 3. Теплове розширення газів

Скористаємося закоркowaną колбою з тонкою трубкою, як у досліді на малюнку 24, але цього разу порожньою, тобто заповненою повітрям. Закріпимо колбу у штативі в нахиленому положенні так, щоб тонка трубка занурилася у склянку з водою. Будемо підігрівати колбу полум'ям спиртівки (мал. 26). Незабаром побачимо, що з трубки у воду виходять повітряні бульбашки і спливають вгору.

Загасимо спиртівку і будемо спостерігати, як внаслідок поступового охолодження в колбі буде стискатися повітря зі зменшенням об'єму. Воно таким чином звільнить частину простору, який заповнюватиме вода, заходячи в трубку.

Висновок. Гази внаслідок нагрівання розширюються, а під час охолодження — стискаються.

У газах молекули рухаються поступально хаотично із великою швидкістю, тому гази не мають визначеного об'єму і власної форми. Із збільшенням температури поступальні рухи мікрочастинок газу стають швидшими. Для здійснення рухів їм потрібно більше простору, як наслідок — розширення.

Явище залежності об'єму та лінійних розмірів тіл від температури широко використовують у техніці під час конструювання пристроїв, машин і споруд (наприклад, на цьому явищі базується принцип дії біметалічного термометра, а також термореле в електропрасці). Але це явище треба враховувати, наприклад, у конструкціях споруд, щоб теплове видовження або скорочення окремих деталей у випадку великої зміни робочих температур не призвело до руйнування споруд або пристроїв.

На малюнку 27 показано приклади врахування теплового розширення в техніці.



Інтерактивна модель
«Розширення
рельсів під дією
температури»

Мал. 27.
Приклади
врахування
в техніці
теплового
розширення тіл:
а — конструкція
мосту;
б — проміжки між
рейками; *в* — дія
повітряної кулі

Завдання до малюнка 27. Як враховують теплове розширення у кожному зображеному прикладі?

Хвилинка здоров'я

Чому стоматологи кажуть, що тютюновий дим шкодить зубам?

Температура тютюнового диму на 35–40 °C вища за температуру повітря, що входить до ротової порожнини під час куріння. У результаті в роті відбувається досить різкий перепад температур. Під час викурювання однієї сигарети відбувається 15–20 таких перепадів, що погано впливає на стан зубної емалі — вона з часом тріскається (мал. 28).

У газовій фракції тютюнового диму міститься дьоготь, який під час охолодження переходить в рідкий стан. Дьоготь, осідаючи на зубах, забарвлює їх у жовто-коричневий колір. Ти цього бажаєш?



Мал. 28. Тютюновий дим шкодить зубам



Для тих, хто хоче знати більше

*****Як розрахувати теплове видовження твердого стрижня?**

На малюнку 29 вгорі зображено металевий стрижень за певної початкової температури, а під ним — той самий стрижень, видовжений внаслідок нагрівання.

Нехай за температури t_0 довжина, наприклад, сталевого стрижня дорівнює l_0 . Внаслідок нагрівання стрижня на Δt градусів до температури t довжина стрижня збільшилася до l . Тоді *абсолютне лінійне*

видовження стрижня дорівнюватиме $\Delta l = l - l_0$. За цією формулою можна визначити, на скільки збільшилась довжина залізничної рейки внаслідок різниці температур влітку та взимку.

Розглянемо *відносне видовження* стрижня, тобто відношення його абсолютного видовження до початкової довжини:

$$\frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0}.$$

Із дослідів відомо, що у випадку невеликих змін температури відносне видовження твердих тіл прямо пропорційне зміні температури Δt , тобто

$$\frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0} = \alpha \Delta t,$$

де α — **температурний коефіцієнт лінійного розширення**. За цією формулою можна визначити довжину стрижня l за даної температури t , якщо відомі його початкова довжина l_0 і підвищення температури Δt :

$$l = l_0(1 + \alpha \Delta t)$$

Температурний коефіцієнт лінійного розширення залежить від речовини, із якої виготовлено стрижень, і від температури. Але якщо її зміни невеликі, то α можна вважати сталою характеристикою даної речовини у певному діапазоні температур, яку наводять у таблицях. Значення температурного коефіцієнта лінійного розширення подають в обернених градусах Цельсія ($^{\circ}\text{C}^{-1}$). Він показує, на яку частку зміниться початкова довжина стрижня внаслідок зміни температури на 1°C .

Значення α для деяких речовин наведено в таблиці 4.

Таблиця 4

Речовина	$\alpha,$ ($10^{-6}^{\circ}\text{C}^{-1}$)	Речовина	$\alpha,$ ($10^{-6}^{\circ}\text{C}^{-1}$)
Бетон	10	Алюміній	2,4
Граніт	7,9	Мідь	17
Цегла	5	Сталь (залізо)	12
Скло	3	Інвар (сплав Fe, Ni)	1,5

*****Як розрахувати теплове об'ємне розширення рідини?**

Вивід формули для розрахунку теплового об'ємного розширення рідини виконують із таких самих міркувань, як і для роз-



Мал. 29. Розрахунок видовження стрижня

рахунку теплового лінійного видовження твердого тіла. Кінцева формула має подібний вигляд:

$$V = V_0(1 + \beta \Delta t),$$

де V — об'єм рідини за даної температури t , V_0 — початковий об'єм рідини за температури t_0 , Δt — зміна температури рідини під час нагрівання, β — *температурний коефіцієнт об'ємного розширення* рідини. Розмірність температурного коефіцієнта об'ємного розширення рідини така сама — обернені градуси Цельсія, тобто $[\beta] = ^\circ\text{C}^{-1}$. Температурний коефіцієнт об'ємного розширення показує, на яку частину від початкового збільшився об'єм рідини в разі зміни її температури на 1°C . Наведену формулу можна застосовувати і для розрахунку об'єму твердого тіла, але за умови, що воно однорідне у всіх напрямках (*ізотропне*). За таких умов значення $\beta = 3\alpha$. У таблиці 5 наведено значення коефіцієнта β для деяких рідин.

Таблиця 5

Рідина	β , ($10^{-6} ^\circ\text{C}^{-1}$)	Рідина	β , ($10^{-6} ^\circ\text{C}^{-1}$)
Бензин	1240	Нафта	900
Вода	200	Ртуть	181
Гліцерин	505	Сірчана кислота	570
Скипидар	940	Спирт	1080

*****Приклади розв'язування задач.** Довжина газопроводу Київ—Берлін за 0°C дорівнює 1300 км. На скільки довшим став би газопровід за сезонної зміни температури повітря від -38 до 42°C , якби сталеві труби не були укладені в землю?

Дано:

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

$$l_0 = 1300 \text{ км}$$

$$t_1 = -38^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 42^\circ\text{C}$$

$$\alpha = 12 \cdot 10^{-6} ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$l_2 - l_1 = ?$$

СІ

$$1,3 \cdot 10^6 \text{ м}$$

Розв'язання

Очевидно, що за такої зміни температури повітря газопровід буде найкоротшим за $t_1 = -38^\circ\text{C}$ і найдовшим за $t_2 = 42^\circ\text{C}$. Якщо ці довжини позначити відповідно через l_1 і l_2 , то $l_2 - l_1$ і є шуканою величиною. Через те що

$$l_1 = l_0(1 + \alpha t_1) \text{ і } l_2 = l_0(1 + \alpha t_2), \text{ то } l_2 - l_1 = \\ = l_0(1 + \alpha t_2) - l_0(1 + \alpha t_1) = l_0(1 + \alpha t_2 - 1 - \alpha t_1) = l_0\alpha(t_2 - t_1).$$

Отже,

$$l_2 - l_1 = l_0\alpha(t_2 - t_1) = 1,3 \cdot 10^6 \text{ м} \cdot 12 \cdot 10^{-6} ^\circ\text{C}^{-1} (42 + 38) ^\circ\text{C} = \\ = 1248 \text{ м}.$$

Відповідь: $l_2 - l_1 = 1248 \text{ м}$.

Увага! Нераціонально обчислювати спочатку l_1 , потім l_2 , а тоді вже знаходити $l_2 - l_1$.



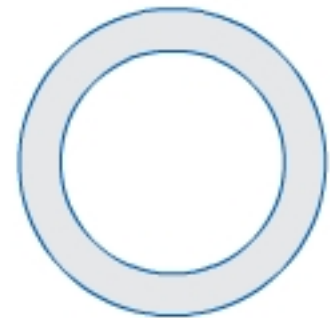
Підсумки

- Тверді тіла, рідини, гази розширюються під час нагрівання і стискаються під час охолодження.
- Важливо знати закони лінійного й об'ємного розширення для твердих тіл.



Перевір свої знання

- *1. Вивчи будову медичного термометра (при цьому треба бути дуже обережним і не розбити термометр — ртуть дуже небезпечна) і дай відповіді на запитання:
 - а) з якою метою трубка, у якій знаходиться ртуть, зроблена такою тонкою?
 - б) яка речовина розширюється сильніше: ртуть чи скло?
- *2. Яку властивість ртуті використано в медичному термометрі?
- *3. Чому на лінії електропередач проводи кріплять з провисанням?
- *4. Назви приклади врахування теплового розширення на залізниці, під час будівництва мостів.
- **5. Чи буде впливати зміна зазорів між поршнем і циліндром в двигуні автомобіля на ККД?
- **6. Прямокутну металеву пластинку нагріли в полум'ї нагрівача, при цьому вона розширилася. Чи зміниться при цьому її довжина і товщина?
- **7. Як зміниться внутрішній діаметр металевого кільця (див. малюнок) при нагріванні?
- **8. Лінійний коефіцієнт теплового розширення для алюмінія при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\alpha = 23 \cdot 10^{-6}\text{ }1/^{\circ}\text{C}$, а для міді $\alpha = 17 \cdot 10^{-6}\text{ }1/^{\circ}\text{C}$. Який із цих металевих дротів за однакового нагрівання й однакової початкової довжини стане довшим?
- **9. Між двома стовпами натягнуто залізний, мідний та алюмінієвий дроти. Який із них провисне більше зі зміною температури на $10\text{ }^{\circ}\text{C}$? ($\alpha = 14 \cdot 10^{-6}\text{ }1/^{\circ}\text{C}$)
- **10. Чи зміниться період коливань сталевого маятника внаслідок нагрівання?
- **11. Чому за нагрівання й охолодження залізобетонних конструкцій залізо в них не відділяється від бетону?
- ***12. Стальний стрижень при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ мав довжину 120 м. На скільки довшим стане стальний стрижень за температури $50\text{ }^{\circ}\text{C}$? Яка буде довжина цього стрижня взимку за температури $-35\text{ }^{\circ}\text{C}$?



§ 6. Способи зміни внутрішньої енергії тіла. Теплообмін



Думки вголос

Я вивчу способи зміни внутрішньої енергії тіла. Ці знання допоможуть мені пояснити важливі життєві ситуації, пов'язані зі зміною температури середовища.

- *Чому мені буває холодно? Чому я при цьому надягаю теплий одяг?*
- *Чому мені буває жарко? Чому я при цьому надягаю «легкий» одяг?*
- *Як фізика теплових явищ допомагає відповісти на ці запитання?*

Усі знають, що середня нормальна температура людського тіла дорівнює $36,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ (з невеликими коливаннями протягом доби). Тривале підвищення або зниження температури людського тіла на $4\text{--}5\text{ }^{\circ}\text{C}$ може призвести до загибелі людини. **Робимо висновок:** за рахунок обмінних процесів та механізмів терморегуляції в організмі підтримується стала «нормальна» температура нашого тіла, а отже, їй відповідна їй частина внутрішньої енергії.

Ми мерзнемо тоді, коли температура навколишнього середовища значно нижча, ніж температура нашого тіла. При цьому тіло віддає багато тепла на «обігрівання» середовища (пригадуємо: тепло завжди перетікає від більш нагрітого тіла до холоднішого), терморегуляції організму не вистачає на підтримання нормальної температури тіла — ми відчуваємо холод. Тут у пригоді буде теплий одяг: він уповільнює відтік тепла від тіла, тобто протидіє зменшенню його внутрішньої енергії — ми зігріваємося.

Увага! Спробуй самотійно пояснити, чому буває жарко. Пригадай і про «легкий» одяг, і про зміну внутрішньої енергії.

А що ми робимо взимку, коли в кімнаті прохолодно і треба підвищити температуру повітря?

Вмикаємо обігрівач — поступово внутрішня енергія повітря і всіх тіл у кімнаті підвищується. Розуміємо, що мікрочастинки повітря в кімнаті починають рухатися швидше. Із пониженням температури внутрішня енергія тіл зменшується, швидкість руху мікрочастинок теж зменшується. При цьому тепло переходить від більш нагрітих тіл до менш нагрітих, тобто відбувається **теплопередача**, або **теплообмін**. На малюнку 30 наведено приклади зміни внутрішньої енергії тіл.



Мал. 30. Приклади зміни внутрішньої енергії тіл: а — нагрівання повітря в кімнаті від каміна; б — охолодження продуктів харчування в холодильнику; в — нагрівання Землі від Сонця

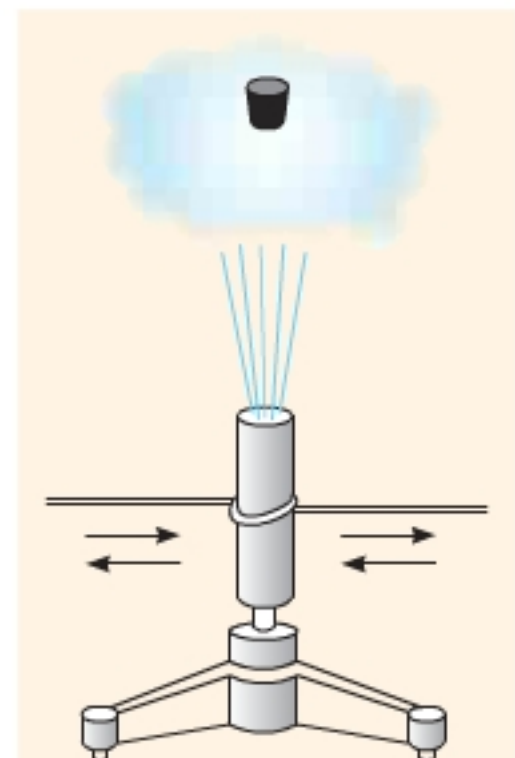
Чи можна, окрім передачі теплоти, змінити внутрішню енергію тіла?

Відповідь на це запитання спробуємо знайти дослідним шляхом.

Дослід 1. Для цього тонкостінну латунну трубку закріплюють на підставці. Наливають в неї невелику кількість ефіру і щільно закривають трубку пробкою. Обкручують трубку мотузкою, а потім швидко рухають її в різні боки, натираючи трубку (мал. 31).

Відомо, що тертям можна навіть здобути вогонь. Тому не дивно, що упродовж натирання трубки її температура підвищується і зростає внутрішня енергія ефіру. Через деякий час ефір закипає, і його пара виштовхує пробку.

Цей дослід доводить, що, **виконуючи механічну роботу над тілом, можна збільшити його внутрішню енергію.**



Мал. 31. Виконання роботи над тілом



Мал. 32. Тіло виконує роботу

Дослід 2. Беруть товстостінну скляну посудину, на дні якої налито трохи води, щільно закривають горловину пробкою і крізь отвір у ній насосом накачують повітря. Через деякий час пробка із посудини вилітає, і в посудині утворюється туман (мал. 32).

Його поява свідчить про те, що температура повітря і пари в посудині знизилася, тобто зменшилася їх внутрішня енергія. З результа-

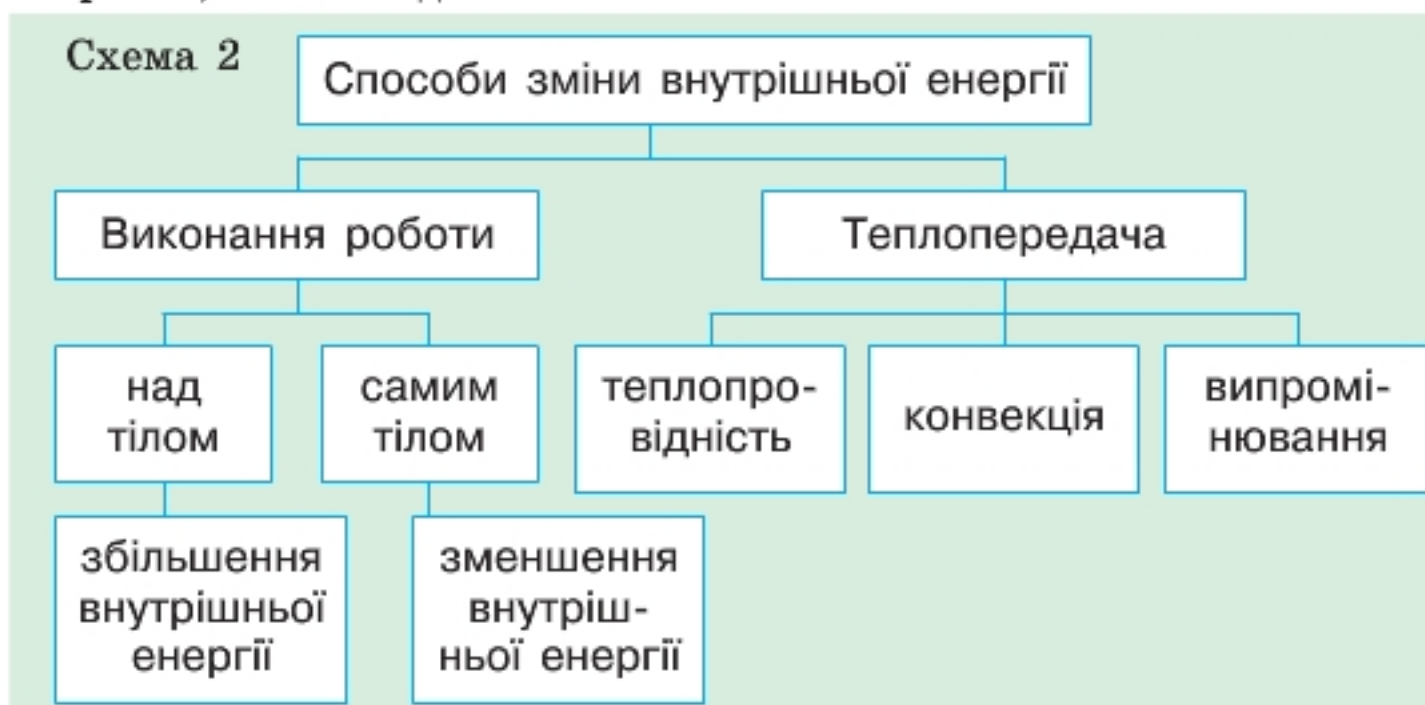
ту цього досліду випливає, що за **рахунок зменшення внутрішньої енергії тіла ним може бути виконана механічна робота.**

Тепер, коли ти ознайомився зі способами зміни внутрішньої енергії тіла, можна дати таке означення теплопередачі.

Теплообміном, або теплопередачею називають самовільний необернений процес передачі енергії без виконання роботи від більш нагрітих тіл (або частин тіла) до менш нагрітих.

Це означає, що теплообмін завжди відбувається за наявності різниці температур між тілами в напрямі від тіла з високою температурою до тіла з низькою температурою і ніколи навпаки. За цим законом природи енергія ніколи не передається самовільно від холодного тіла до гарячого. Чайник з водою ніколи не нагріється сам по собі через охолодження повітря в кімнаті.

Теплообмін припиняється, коли настає стан теплової рівноваги, тобто коли температури всіх тіл, між якими відбувався обмін енергією, стають однаковими.



Узагальнення результатів спостережень і дослідів. Внутрішню енергію тіла можна змінити двома способами: **теплопередачею і виконанням роботи.** Теплопередача може здійснюватись у такі способи (схема 2, мал. 33):

- теплопровідність;
- конвекція;
- випромінювання.

Ці способи теплопередачі розглянемо у наступних параграфах.



А ти знаєш?

Зміну внутрішньої енергії тіла внаслідок виконання роботи над тілом можна спостерегти в багатьох життєвих ситуаціях:

- під час роботи металорізальних станків (токарних, фрезерних, шліфувальних) нагріваються різальні пристрої, деталі, ошурки, що підтверджує збільшення їх внутрішньої енергії;
- у сучасних швидкорізальних станках нагрівання інструментів таке велике, що для його охолодження струмені рідини або газу спрямовують в зону різання;
- у теплових двигунах під час тертя між окремими деталями може відбутися сильне нагрівання, що може призвести навіть до розплавлення металів (тому такі деталі в місцях великого тертя змащують мастилом).
- Як пояснити такий факт? Тепле повітря піднімається вгору. Чому ж на висоті 10 км тримається температура -50°C ?

Пояснення: Тиск повітря з висотою зменшується, тому при піднятті вгору воно виконує роботу, витрачає частину своєї внутрішньої енергії. Це і є головною причиною охолодження повітря.



Підсумки

- Внутрішню енергію тіла можна змінити теплопередачею і виконанням роботи.
- Теплообмін завжди відбувається за наявності різниці температур між тілами в напрямі від тіла з високою температурою до тіла з низькою температурою і ніколи навпаки.



Перевір свої знання

1*. Поясни дослід.

Візьми в руки термометр і потримай його в руці 20–30 с, торкаючись колбочки з рідиною (мал. 34).



Мал. 34. Термометр

Дай відповіді на запитання:

а) Що відбувається із стовпчиком спирту в термометрі? Чому?

б) Що відбувається із внутрішньою енергією деталей термометра?

2*. Чому під час ударів молотком по цвяху його шляпка нагрівається?

3*. Яким способом можна змінити внутрішню енергію металевої дротини?

4*. Як можна на морозі зігріти руки?

5**. 1) Сірник загоряється через тертя з коробкою.

2) Спалахує, якщо внести його в полум'я.

Чим подібні і відмінні причини, що призвели до загоряння сірника в обох випадках?

6***. У спекотний день термометр показує 30 °С. Чи зміняться покази термометра, якщо поруч працюватиме вентилятор? Розглянь два випадки: а) термометр знаходиться в тіні; б) термометр освітлений сонцем.

7***. Проведи дослідження.

Налий в колбу міксера воду, виміряй її температуру. Ввімкни міксер на декілька хвилин в мережу і знову виміряй температуру води. Воду не нагрівали, а вона стала теплою. Чому підвищилась температура води?



Для тих, хто хоче знати більше

Зміну внутрішньої енергії тіла внаслідок виконання механічної роботи застосовують у техніці. Один із таких прикладів — це зварювання тертям (мал. 35).

Зварювані деталі щільно притискають одна до одної і потім швидко обертають одну відносно іншої. У результаті відбувається сильне нагрівання деталей, і під час їх стискання вони зварюються. Такий спосіб зварювання застосовують для з'єднання частин валів, штоків з поршнями, виготовлення різальних інструментів.

Переглянь описаний процес за допомогою QR-коду.



Мал. 35. Зварювання тертям

§ 7. Теплопровідність

**Думки вголос**

Я зможу дати визначення передачі тепла способом теплопровідності і пояснити різну теплопровідність окремих тіл.

Що таке теплопровідність?

Як пояснити явище теплопровідності за допомогою молекулярно-кінетичної теорії?

Пригадай звичайну життєву ситуацію. У чашку з гарячою водою опустили ложку і взяли за її кінець (мал. 36).

Спочатку цей кінець ложки холодний, а через деякий час стане теплим, а потім гарячим. Це явище можна пояснити на основі молекулярно-кінетичної теорії. Внутрішня енергія від гарячої води передається атомам ложки, вони поступово збільшують свою швидкість і амплітуду коливань, які передаються сусіднім атомам холодніших ділянок ложки. Їхня температура підвищується, а з часом це починає відчувати і рука, що тримає ложку.



Мал. 36. Чашка з гарячою водою

Теплопровідністю називають явище передачі енергії від більш нагрітих частин тіла до менш нагрітих або від теплішого тіла до холоднішого, коли вони безпосередньо дотикаються, внаслідок теплового руху мікрочастинок без переносу речовини.

Чи однакову теплопровідність мають різні речовини?

А від чого залежить теплопровідність речовини?

Дослід 1. У стакан з гарячою водою опустимо, крім металеві ложки, ще пластмасову і дерев'яну. На дотик упевнюємося, що першою нагрілася металева ложка, а температура пластмасової і дерев'яної за цей час практично не змінилася.

Висновки.

Різні речовини мають різну теплопровідність.

Метал має високу теплопровідність, а пластмаса і дерево — низьку.



Мал. 37. Теплопровідність води низька



Мал. 38. Теплопровідність газів найнижча

Чи однакова теплопровідність тіл у різних агрегатних станах?

Дослід 2. Наповнену водою пробірку тримаємо у руці за нижній кінець, воду біля верхнього кінця пробірки нагріваємо у полум'ї спиртівки (мал. 37).

Навіть коли вода зверху закипить, дно пробірки спокійно тримаємо рукою, тобто вода тут залишається холодною. Результат досліду свідчить, що теплопровідність води низька.

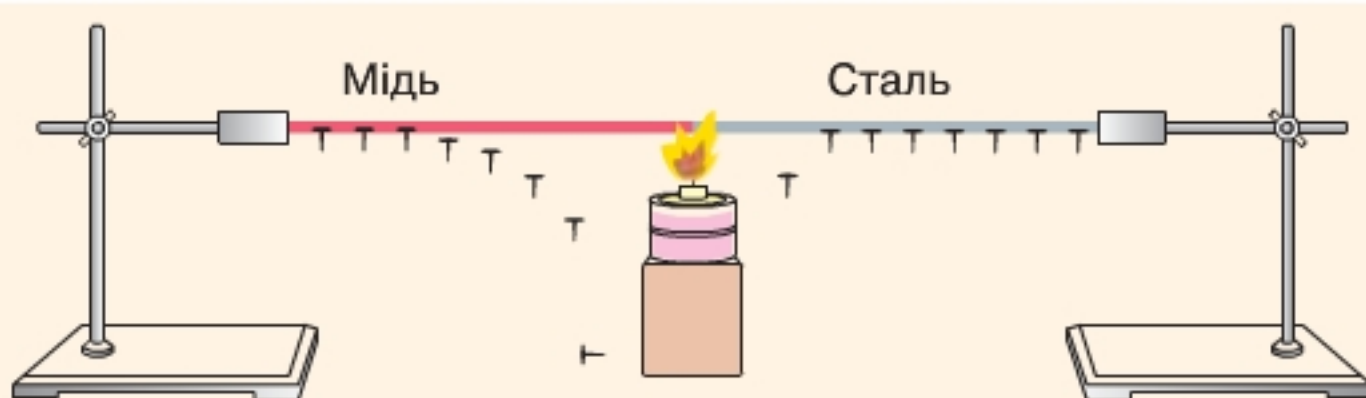
Дослід 3. Вставимо палець в отвір пробірки і нагріватимемо дно пробірки у полум'ї спиртівки (мал. 38).

У верхній частині полум'я спиртівки має температуру до $900\text{ }^{\circ}\text{C}$, тому дно пробірки має бути дуже гарячим, а палець у пробірці з повітрям можна тримати досить довго,

поки він не почне відчувати нагрівання скла, у той час як повітря залишатиметься холодним. Результат досліду свідчить, що найнижчу теплопровідність має повітря. Теплопровідність скла вища, але менша від теплопровідності металу.

Загальний висновок із дослідів: теплопровідність речовин у різних агрегатних станах різна. Найкращу теплопровідність мають тверді тіла, меншу — рідини, а найгіршу — гази. Серед твердих тіл найкращу теплопровідність мають метали.

Порівняємо на досліді теплопровідність різних металів.



Мал. 39. Теплопровідність міді вища, ніж у сталі

Дослід 4. У штативах закріпимо два металічних стрижня: ліворуч — мідний, а праворуч — сталевий (мал. 39). Розплавленим воском уздовж обох стрижнів на однакових відстанях прикріпимо маленькі цвяшки. У середній частині між штативами стрижні стикаються, тут встановлюють запалену спиртівку і одночасно нагрівають обидва стрижні. Спочатку бачимо в обох стрижнях, що тепло передається у напрямі від гарячих кінців стрижнів до холодних — спочатку відпадають цвяшки, розташовані ближче до гарячого кінця стрижня. Потім помічаємо, що за той самий час від мідного стрижня відпало більше цвяшків. Це свідчить про те, що теплопровідність міді вища, ніж у сталі.

Поясни, чому відпадають цвяшки під час досліду.

Для порівняння теплопровідності різних речовин у різних агрегатних станах у таблиці 6 наведено їх відносні значення теплопровідності (за одиницю прийнято теплопровідність скла).

Таблиця 6

Теплопровідність деяких речовин порівняно з теплопровідністю скла

Речовина	Тепло-провідність	Речовина	Тепло-провідність
Мідь	330	Вода	0,5
Алюміній	270	Бетон	0,23
Залізо, сталь	60	Деревина	0,1
Скло	1,0	Пінопласт	0,04
Цегла суцільна	0,6	Сухе повітря	0,02

Добрими провідниками тепла є метали, особливо срібло, золото, мідь. Поганими провідниками тепла є вода, цегла, бетон, лід. Кірок, пінопласт, повітря мають дуже низьку теплопровідність. Такі речовини називають *теплоізоляторами*.

Різну теплопровідність різних речовин пояснюють їх внутрішньою будовою, різною відстанню між мікрочастинками, які мають різну швидкість теплового руху. Метали мають найкращу теплопровідність завдяки тому, що їх теплопровідність визначається не тільки коливальним рухом мікрочастинок у вузлах кристалічних ґрат, а й «вільними» електронами (про них детальніше сказано в частині «Електричні явища»).

Погано проводять тепло рідини, але найгіршими провідниками тепла (або найкращими теплоізоляторами) є гази. Це пояснюється тим, що в газах відстань між молекулами найбільша порівняно з речовинами в інших агрегатних станах. Тому молекули газів стикаються між собою значно рідше, отже, перенесення енергії в них відбувається дуже повільно.

Вовна, пух містять повітря, тому мають погану теплопровідність. Вони захищають тіло тварин від охолодження або перегрівання. Люди також взимку надягають хутрові шуби та куртки, які мають прокладки з пуху або штучного матеріалу поліестеру, який має волокнисту структуру. Додатково піддягають вовняні светри, шию обмотують в'язаними шарфами.



Підсумки

- Теплопровідність — це явище передачі енергії від теплішої частини тіла до холоднішої або від нагрітого тіла до холодного, що перебувають у контакті. Енергія передається завдяки тепловому руху мікрочастинок без переносу речовини.
- Найкращу теплопровідність мають тверді тіла, особливо метали. Рідини і гази мають низьку теплопровідність.
- Явище теплопровідності пояснюється на основі молекулярно-кінетичної теорії будови речовини.



Перевір свої знання

- 1*. Чи правильний вислів: «Шуба гріє»?
- 2*. Чи відбувається перенос речовини у процесі теплопровідності?
- 3*. Як «працює» термос?
- 4*. Чому рослини вкривають на зиму соломою і сіном?
- 5*. Чому вода в озері остигає за ніч менше, ніж пісок на березі?
- 6*. Які труби забезпечують кращу тягу — металічні чи цегляні? Поясни.
- 7*. Чому клімат, для якого характерні різкі перепади температури між днем та ніччю, між літом та зимою, називають різко континентальним?
- 8**. Ножиці й олівець лежать на столі і мають однакову температуру. Чому на дотик ножиці здаються холоднішими?
- 9**. Чому в просторому взутті взимку тепліше, ніж у вузькому?
- 10**. Чому, якщо п'ємо чай з металеві кружки, опікаємо губи, а коли з фарфорової — ні?
- 11**. Який матеріал має кращі теплоізоляційні якості: дерево чи ошурки з дерева?
- 12**. Чому жителі Середньої Азії під час сильної спеки носять ватяні халати і вовняні капелюхи?
- 13**. Чому озимина може загинути, якщо зима буде малосніжною?
- 14**. Щоб прискорити танення льоду на річці, його іноді посипають сажею. Поясни це явище.
- 15***. Результат якого досліду доводить, що різні метали мають різну теплопровідність? Поясни його.

§ 8. Конвекція

**Думки вголос**

Я зможу пояснити конвекційний теплообмін, який зумовлює велику кількість природних явищ і процесів. Ці знання допоможуть мені на практиці.

Уяви звичайну життєву ситуацію. У людей виникла проблема з обігрівом будинку: у ньому завжди холодно. Будинок опалюють від дров'яного котла, а батареї, якими тече гаряча вода, поставлені аж під стелю. Мешканці цього будинку кажуть, що так їм зручніше.

Чи правильно вони міркують?

Мабуть, той, хто робив опалення в цьому будинку, пас задніх у фізиці й зовсім не знав, як передається тепло в газах.

Вивчатимемо теплообмін в газовому середовищі, звертаючись до дослідів.

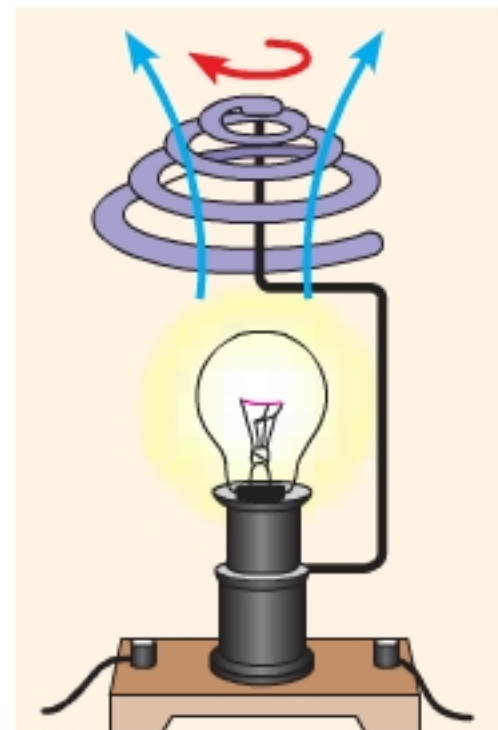
Дослід 1. Якщо помістити руку над гарячою плитою або над запаленою свічкою, відчуємо потоки теплого повітря.

Дослід 2. Невелика паперова вертушка, яку закріпили над лампою, під дією струменів нагрітого повітря починає крутитися (мал. 40).

Знання з фізики за 7 клас допоможуть пояснити результат цього дослідів. Повітря, що дотикається до нагрітої лампи, теж нагрівається, розширюється і стає легшим за сусідні шари холодного повітря. Сила Архімеда, яка при цьому діє на тепле повітря, більша за силу тяжіння. Внаслідок цього тепле повітря піднімається вгору, а його місце займає холодне повітря.

Подібне явище можна спостерігати і під час нагрівання рідини знизу.

Дослід 3. Посудину з водою ставимо на нагрівач. У воду, щоб зробити картину перемішування холодної і теплої води наочнішою, попередньо кидаємо кілька кристаликів марганцевого калію, який підфарбовує струмені води (мал. 41).



Мал. 40. Конвекція у повітрі



Мал. 41. Конвекція у рідині



За результатами проведеного досліду зробимо висновки. Нагріті шари рідини менш густі і тому легші. Шари більш холодної рідини витісняють їх вгору. Холодні шари рідини опускаються вниз, знов нагріваються від джерела тепла і витісняються менш нагрітою водою. Через таке перемішування рідина рівномірно нагрівається.

За допомогою QR-коду можна переглянути схожий дослід.

Такий вид передачі тепла називають *конвекцією* (латиною *convectio* — принесення).

Конвекція — явище перенесення тепла рухомим середовищем, наприклад, струменями повітря, пари або рідин.

Наголосимо, що, на відміну від теплопровідності, перенесення енергії в разі конвекції принципово відбувається за умов перенесення речовини.

Конвекція у газі й рідині, розглянута вище у дослідах, є прикладом *природної*, або *вільної* конвекції, оскільки вона відбувалася під дією природних законів і сил в умовах відсутності штучних джерел сил. Якщо такі сили наявні, то конвекцію називають *вимушеною*.

Таблиця 7

Вид конвекції	Приклад
Природна (вільна)	Повітря в кімнаті з водяним опаленням
Вимушена	Перемішування води ложкою або за допомогою насоса; перенесення потоків повітря під дією вентилятора

Якщо рідини або газу нагрівають не знизу, а зверху, то конвекція не відбувається. Нагріті шари не зможуть спуститися нижче, ніж холодні, які більш важкі.

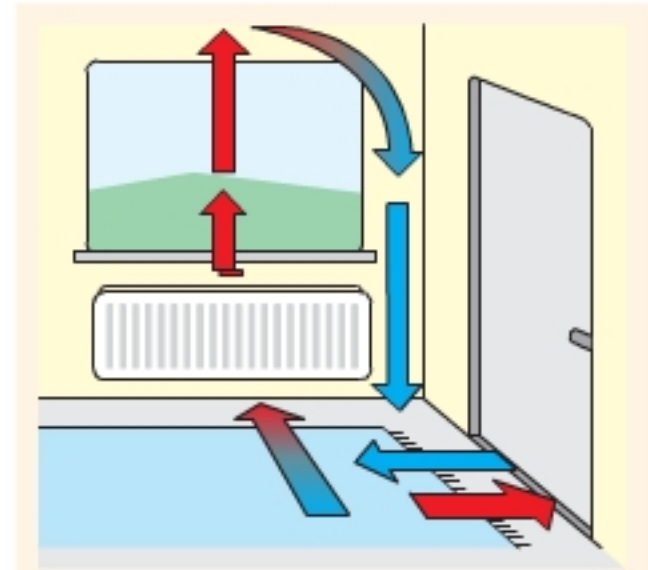


Мал. 42. Конвекція не відбувається, якщо нагрівати пробірку зверху

Цей випадок добре ілюструє малюнок 42. Якщо нагрівати воду у верхній частині пробірки, то вона в цьому місці закипить, а внизу можуть залишитися навіть шматочки льоду, адже теплопровідність води низька.

Що стосується мешканців холодного будинку, згадуваних напочатку параграфа, то тепер, мабуть, ти, «озброєний» знання-

ми про фізику конвекції, порадиш їм переробити опалення, поставивши батареї опалення з гарячою водою біля підлоги, тоді повітря у кімнаті буде рівномірно прогріватися внаслідок перемішування завдяки конвекції. Звичайно радять встановлювати батареї опалення під вікном, тим самим створюють «теплову завісу» в зоні вікна, запобігаючи різкому перепаду температур. На малюнку 43 показано, як у цьому випадку рухаються потоки теплого і холодного повітря.

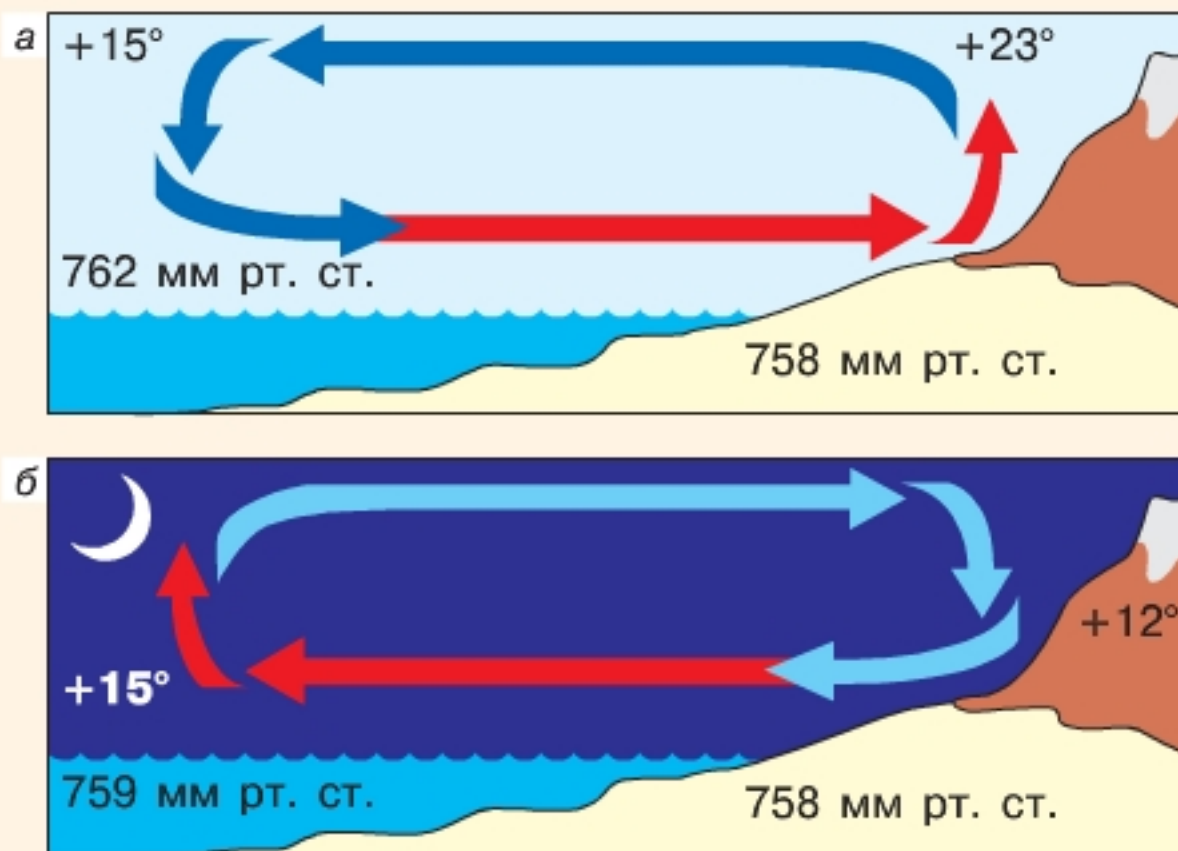


Мал. 43. Батареї опалення біля підлоги забезпечують конвекцію повітря у приміщенні

Приклади конвекції в природі і техніці

Вітри. В атмосфері Землі внаслідок різного нагріву повітря в жарких поясах і полярних областях виникають сильні конвекційні рухи повітря, виникають постійні вітри. *Пасати* — вітри, які дують від субтропічних областей до екватора. *Бризи* — вітри, які виникають на берегах морів. Денний бриз — вітри дують з моря на сушу. Нічний бриз — вітер дує із суші на море.

Розглянемо механізм утворення берегового бризу (мал. 44).



Мал. 44. Утворення берегового бризу:
а — денний бриз; б — нічний бриз



Влітку суша прогрівається Сонцем швидше, ніж вода, тому й повітря нагрівається над сушею більше, ніж над морем. Густина повітря над сушею зменшується, внаслідок чого утворюється зона низького тиску. Над морем, де повітря холодніше, утримується підвищений атмосферний тиск. Холодне повітря спрямовується з моря в зону зниженого тиску до берега, виникає вітер, який називають денним бризом (мал. 44, а).

Уночі море охолоджується повільніше, ніж суша, тому над нею повітря стає холоднішим. Тут утворюється зона підвищеного тиску порівняно з морем. Виникає вітер у напрямі від суші до моря, який називають нічним бризом (мал. 44, б).

Тяга — це природний приплив кисню у повітрі для підтримання горіння палива. На заводах, фабриках, електростанціях, в котельнях для створення тяги встановлюють трубу (мал. 45).

Повітря в трубі під час горіння палива в топці нагрівається, його густина зменшується. Тиск повітря у трубі стає меншим, ніж зовні. Внаслідок цієї різниці тисків виникає природна конвекція: холодне повітря надходить у топку, а тепле повітря у трубі піднімається вгору. Що вище труба, то більша різниця тисків повітря у трубі й зовні, тим інтенсивніша тяга, а, отже, і збагачення киснем зони горіння.



Підсумки

- У газах і рідинах тепло може передаватися шляхом конвекції — перенесенням енергії разом із речовиною.
- Для того щоб в рідинах і газах відбувалася конвекція, їх нагрівають знизу.
- У твердих тілах мікрочастинки утримуються взаємним притяганням у точках рівноваги і дуже рідко їх покидають, тому конвекція відбуватися в них не може. У твердих тілах енергія передається шляхом теплопровідності.



Перевір свої знання

- 1*. Чому підвал — найхолодніше місце в будинку?
- 2*. Чому квартирки для провітрювання кімнат розміщують у верхній частині вікна, а батареї для опалення — біля підлоги?
- 3*. Яким способом охолоджується повітря в кімнаті взимку при відкритій квартирі?
- 4*. Чому пасати виникають біля екватора?
- 5**. Запропонуй дослід, що пояснює необхідність високих труб у котельнях.

§ 9. Променевий теплообмін

**Думки вголос**

Я зможу дати відповіді на запитання: як відбувається передача тепла променевим теплообміном від джерела до оточуючих тіл.

Наше життя завжди пов'язане із різними джерелами теплової енергії і залежить від них. Сонце — джерело життя на Землі. Вона отримує енергію Сонця з відстані 150 млрд км крізь космічний вакуум. Зрозуміло, що теплопередача при цьому не може здійснюватися шляхом теплопровідності або конвекції.

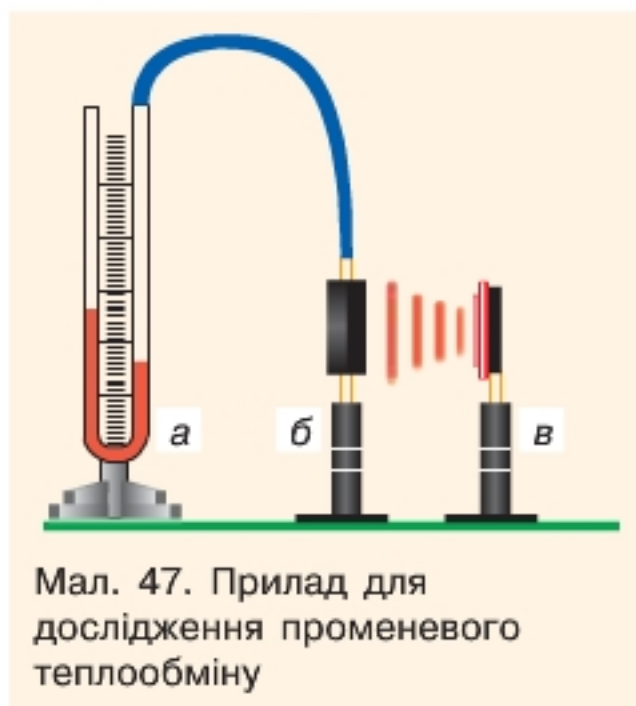
Як відбувається передача тепла від Сонця до Землі?

Таке саме питання виникає, коли ми сидимо біля вогнища і відчуваємо, як його тепло передається нам (мал. 46).



Мал. 46. Нагрівання біля вогнища

Адже між полум'ям і нашим тілом є шар повітря, який має низьку теплопровідність, отже, тепло передається нам не за рахунок теплопровідності. Та й конвекцією в цьому випадку пояснити передачу тепла не можна, оскільки конвекційні струмені тепла піднімаються вгору, а з нашого боку до вогнища притікає холодне повітря. Отже, йдеться ще про один вид теплопередачі, який називають *випромінюванням*, для якого непотрібна наявність будь-якого проміжного середовища між тілом і нагрівником.



Як вивчатимемо цей вид теплопередачі?

Для дослідження нам знадобиться теплоприймач (мал. 47, б) — металева плоска кругла короб-ка, один бік якої дзеркальний, а другий — покритий чорною фарбою. З'єднаємо його за допо-могою гумової трубки з манометром (мал. 47, а). Розмістимо на деякій відстані від теплоприйма-ча ввімкнений електронагрівач (мал. 47, в). Невдовзі манометр покаже, що тиск повітря всере-

дині теплоприймача збільшився внаслідок його нагрівання від стінки коробки, температура якої підвищилася через променевий теплообмін з електронагрівачем.

Якщо теплоприймач повернути до нагрівача чорним боком, а потім дзеркальним, то можна пересвідчитися, що темні тіла поглинають теплові промені краще, ніж світлі. Дослідження показують, що теплову енергію випромінюють усі тіла, що мають температуру, більшу за абсолютний нуль (абсолютний нуль дорівнює $-273\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Що вища температура тіла, то більше енергії передає воно шляхом випромінювання. Ми не бачимо проміння оком, але сприймаємо його шкірою як тепло, що надходить від джерела. У нашому досліді розжарений нагрівач є потужним джерелом теплового проміння, яке й сприйняв теплоприймач.

Випромінювання — це вид теплообміну, який може відбуватися без проміжного середовища між тілами і зумовлений випусканням і поглинанням ними теплового проміння.

Результати дослідів, подібних до нашого, доводять, що тіла з темною поверхнею краще випромінюють і поглинають теплове проміння. Тіла, які мають світлу та блискучу поверхню, випромінюють і поглинають енергію гірше, ніж темні.

Це пояснює, для чого одні предмети фарбують темними фарбами, а інші роблять блискучими. Наприклад, чайник з блискучою поверхнею довше зберігає воду теплою, тому що така поверхня менше випромінює тепла, ніж темна. Влітку ми переважно носимо світлий одяг, а взимку — темний.



Мал. 48. Випромінювання сонячної енергії



Мал. 49. Людина і Сонце

Сонячне проміння має велике значення для життя на Землі (мал. 48). Температура поверхні Сонця $\approx 6000\text{--}7000\text{ }^{\circ}\text{C}$. До Землі доходить вагома частина сонячного проміння: за $1\text{ с} \approx 10^{17}$ Дж сонячної енергії (для порівняння за 1 с реактор атомної електростанції виробляє 10^9 Дж енергії).

Вивчення сонячного випромінювання пояснює різні природні явища.

- Поверхня Землі та всі тіла на її поверхні поглинають видиме світло від Сонця і потім самі стають джерелами невидимого теплового проміння.
- Ґрунт, покритий рослинами, прогрівається сонячним промінням гірше.
- Хмари відбивають назад теплове проміння ґрунту, тим самим зменшуючи його втрати. Тому у ясну погоду охолодження ґрунту сильніше, ніж у хмарну погоду.
- У теплицях скляні або плівкові рами дуже добре пропускають видиме сонячне світло вдень, а вночі пагано пропускають назовні теплове проміння ґрунту, тому він не замерзає.

Кількість енергії у вакуумі, що досягає поверхні Землі, у 6000 разів більша від потреби в енергії людей усього світу, а навчилися ми її використовувати дуже мало. Проблема енергії стоїть у світі дуже гостро — нестача вугілля, природного газу веде до зниження добробуту людей. Наше завдання — навчитися використовувати на користь людей енергію Сонця (мал. 49).



А ти знаєш?

Курці щороку викурюють, тобто викидають в атмосферу, 720 т синильної кислоти, 384 000 т аміаку, 108 000 т нікотину, 600 000 т дьогтю й понад 500 000 т чадного газу. Загальна маса недопалків на Землі за рік становить 2 520 000 т. Тютюновий дим, що накопичується в атмосфері Землі, затримує ультрафіолетове проміння Сонця.



Підсумки

- Усі тіла за температури, більшої за абсолютний нуль, випромінюють теплову енергію. Цей вид передачі тепла називають променевим теплообміном.
- Що більша температура джерела, то більша променева передача тепла.
- Тіла мають властивість поглинати теплову енергію. Ця властивість у темних тіл більша, а у світлих менша.
- У вакуумі передача теплової енергії відбувається променевим теплообміном.



Перевір свої знання

- 1*. Чому в старому чайнику, після того як його зняли з нагрівача, вода остигає повільніше, ніж в такому самому новому?
- 2*. Що забезпечує добрі теплоізоляційні властивості зовсім не схожих між собою матеріалів таких, як цегла і вовна?
- 3*. Господарці необхідно закип'ятити воду в каструлі. Бажаючи економити електроенергію, вона зменшила потужність електроплити. Чи досягне господарка своєї мети?
- 4*. В кімнату з вулиці занесли в пакеті лід. Чи прискориться танення льоду, якщо пакет загорнути в пухову хустку?
- 5*. Чому у світлому чайнику вода довше зберігає високу температуру, ніж в темному?
- 6*. Чому крила літаків фарбують срібною фарбою, а прилади сонячних батарей на штучних супутниках Землі, навпаки, темним кольором?
- 7*. Чому показання вуличного термометра на сонячній стороні будинку відрізняються від показань в тіні будинку?
- 8**. Чим відрізняється механізм теплопровідності від променевого теплообміну?
- 9**. Чому хмари не падають?
- 10**. Для чого потрібні подвійні віконні рами? Чи стане в приміщенні тепліше, якщо проміжки між рамами збільшити?
- 11***. Запалену свічку піднесли до щілини між вхідними дверима в будинок — полум'я відхилилось назовні. Коли проводили цей дослід — влітку чи взимку?
- 12***. Запропонуй проект «Як можна використати енергію Сонця для обігріву власного будинку?»

§ 10. Кількість теплоти. Одиниці кількості теплоти

**Думки вголос**

Я визначу, що таке кількість теплоти, які її одиниці, від яких параметрів теплообміну вона залежить.

Із розділу «Теплові явища» нам відомі такі твердження:

1. Внутрішню енергію тіла можна змінити виконанням роботи і теплопередачею.

2. Теплопередача (теплообмін) між тілами може здійснюватися теплопровідністю, конвекцією та випромінюванням.

3. Теплопередача відіграє важливу роль у житті людини.

Як можна визначити зміну внутрішньої енергії тіла?

Спочатку треба дослідити, від яких фізичних величин залежить зміна внутрішньої енергії тіла під час теплообміну. Потім узагальнити результати цих досліджень з метою отримання математичної формули для обчислення шуканої величини.

На початку шукану величину, як завжди, треба означити і позначити, адже результатом досліджень має бути фізична формула, яка складається з позначень фізичних величин, пов'язаних певними математичними діями.

Енергію, яку тіло отримує або віддає під час теплопередачі, називають кількістю теплоти.

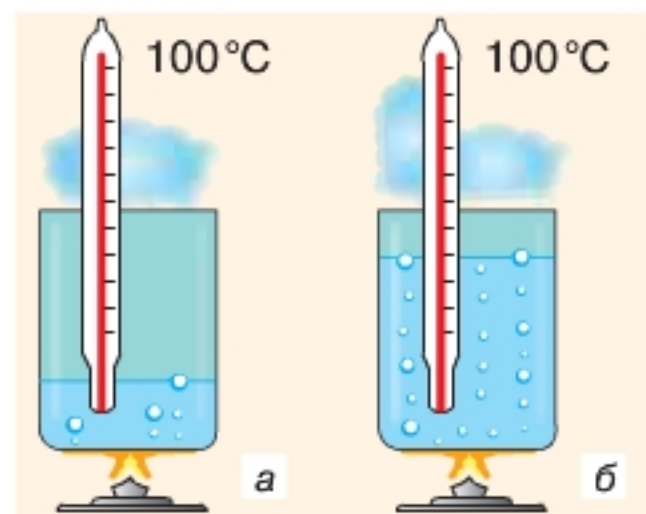
Кількість теплоти позначають великою латинською літерою Q . Оскільки за означенням кількість теплоти — це певна енергія, то пригадаємо з фізики за 7 клас, що одиницею механічної енергії є джоуль. Отже, й одиницею кількості теплоти так само є джоуль (1 Дж). Згадаємо також кратні одиниці енергії:

$$1 \text{ кДж} = 1000 \text{ Дж};$$

$$1 \text{ МДж} = 1\,000\,000 \text{ Дж}.$$

Для виявлення, від яких фізичних величин залежить кількість теплоти і яким чином, проаналізуємо результати таких дослідів.

Дослід 1. На однакові нагрівники поставимо однакові посудини, в одну наллємо 100 г води (мал. 50, а), а в другу — 300 г води (мал. 50, б). Упевнимся за допомогою термометра, що початкові температури



Мал. 50. Потрібна кількість теплоти пропорційна масі речовини

в обох посудинах однакові. Увімкнемо одночасно обидва нагрівачі і дочекаємося, коли вода в обох посудинах закипить (мал. 50).

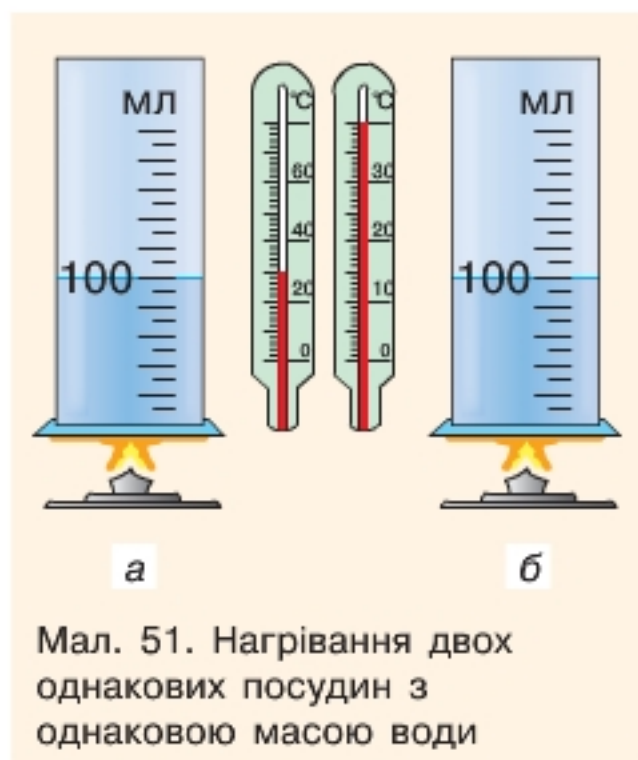
Виявилося, що посудину, де маса води була 300 г, довелося нагрівати втричі довше, ніж посудину з водою масою 100 г. Отже, їй довелося надати утричі більшу кількість теплоти. Це означає, що кількість теплоти, потрібна для нагрівання тіла до певної температури, пропорційна масі цього тіла, тобто $Q \sim m$.

Що більша маса тіла, то більшу кількість теплоти треба йому надати, щоб нагріти до певної температури.

Дослід 2. На однакові нагрівники поставимо однакові посудини. У кожну наллємо 100 г води температурою 20 °С. Поставимо завдання: у першій посудині нагріти воду до 30 °С (мал. 51, а), а в другій — до 40 °С (мал. 51, б). Різниця кінцевої і початкової температур у другому випадку удвічі більша (20 °С), ніж у першому (10 °С). Увімкнемо одночасно обидва нагрівачі і, коли температура води у першій посудині становитиме 30 °С, вимкнемо перший нагрівач. Другий нагрівач вимкнемо, коли температура води у другій посудині становитиме 40 °С (мал. 51).

Виявилося, що для нагрівання однакової маси води на 20 °С потрібно вдвічі більше часу, ніж нагрівання на 10 °С. Отже, кількість теплоти, потрібна для нагрівання тіла, прямопропорційно залежить від різниці його кінцевої і початкової температур, тобто $Q \sim \Delta t = t_2 - t_1$. Пам'ятаємо, що велика грецька літера Δ — це знак зміни фізичної величини.

Що більша різниця кінцевої і початкової температур тіла, то більшу кількість теплоти йому треба надати під час нагрівання.

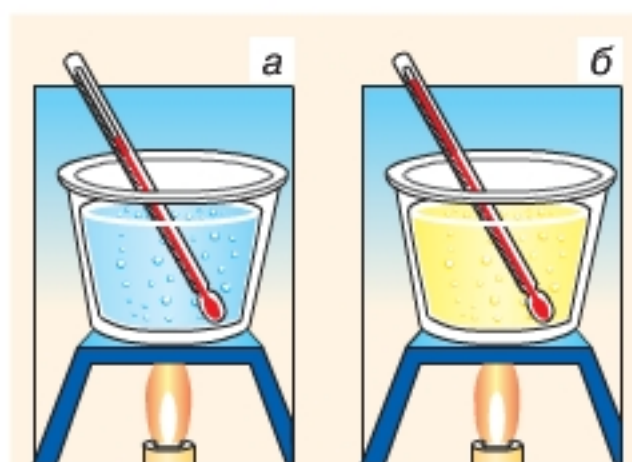


Дослід 3. В одну з однакових посудин наллємо 300 г води (мал. 52, а), а в другу — 300 г олії (мал. 52, б). Обидві посудини з рідинами кімнатної температури встановимо на однакові нагрівачі. Ввімкнемо нагрівачі і поставимо завдання нагріти воду та олію до температури 50 °С. Для контролю температури рідини у кожну посудину занурено термометр.

Першою досягла температури 50 °С олія, тому її нагрівач було вимкнено, а воду продовжили нагрівати до заданої температури,

надаючи їй додаткової кількості теплоти. Виявилося, що для нагрівання води й олії до однакової температури довелося передати воді значно більшу кількість теплоти, ніж олії.

Кількість теплоти, потрібної для нагрівання тіла до певної температури, залежить від речовини, з якої воно складається.



Мал. 52. Кількість теплоти залежить від речовини

Загальний висновок з результатів дослідів

Кількість теплоти, передана тілу під час нагрівання, залежить від роду речовини, з якої воно складається, а також прямо пропорційна масі цього тіла і зміні його температури.



Підсумки

- Кількість теплоти — це фізична величина, що визначає енергію, яку тіло отримує або віддає під час теплопередачі (позначають літерою Q).
- Дослідно визначено, що кількість теплоти, передана тілу під час нагрівання, залежить від його маси, від різниці кінцевої і початкової температур та від роду речовини, із якої воно складається.



Перевір свої знання

- 1*. Яку фізичну величину називають кількістю теплоти?
- 2*. У яких одиницях вимірюють кількість теплоти?
- 3*. Від чого залежить кількість теплоти? Якими дослідami можна довести цю залежність?
- 4**. Переведи у джоулі: 50 кДж; 0,2 кДж; 3 МДж; 10 МДж.
- 5**. Скільки кілоджоулів в 1 МДж? В 100 МДж? В 0,1 МДж?
- 6***. На нагрівання певного тіла від 0 до 80 °C витратили 40 МДж тепла. Яка кількість теплоти потрібна для нагрівання цього самого тіла від 0 до 20 °C? Відповідь запиши в джоулях.



Для тих, хто хоче знати більше

Раніше для вимірювання кількості теплоти користувалися одиницею, яка називалася «калорія» (латиною *calor* — тепло). 1 калорія дорівнює кількості теплоти, потрібної для нагрівання 1 г води на 1 °C:

$$1 \text{ кал} = 4,19 \text{ Дж.}$$

§ 11. Питома теплоємність речовин



Думки вголос

Я вивчу фізичну величину, яка буде характеризувати теплову властивість різних речовин.

У попередньому параграфі ми з'ясували, що кількість теплоти, передана тілу під час його нагрівання, прямо пропорційна масі цього тіла m і зміні його температури $\Delta t = t_2 - t_1$, де t_1 і t_2 — відповідно початкова і кінцева температури тіла, тобто:

$$Q \sim m\Delta t \text{ або } Q \sim m(t_2 - t_1).$$

У цьому математичному виразі не вистачає коефіцієнта пропорційності, який враховував би залежність від роду речовини, щоб стати формулою для обчислення кількості теплоти, наданої тілу під час нагрівання.

Ми також пересвідчилися на досліді, що різним речовинам однакової маси для однакової зміни температури під час нагрівання треба надати різну кількість теплоти. Тому для кожної речовини виміряли кількість теплоти, потрібну для нагрівання одиниці маси речовини на одиницю температури. Тим самим отримали одну з характеристик теплових властивостей для кожної речовини, значення якої внесли в таблиці і назвали *питомою теплоємністю речовини*.

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

Зазначимо, що таку саму кількість теплоти виділить речовина масою 1 кг під час її охолодження на 1 °С.

Позначають питому теплоємність речовини малою латинською літерою c . Для кожної речовини питома теплоємність є сталою характеристикою в певному діапазоні температур. Підставимо величину c як коефіцієнт у математичний вираз на початку параграфа і отримаємо формулу для обчислення кількості теплоти, потрібної для нагрівання тіла:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta t \text{ або } Q = c \cdot m \cdot (t_2 - t_1).$$

Детальніше про цю формулу йдеться у наступному параграфі, а зараз визначимо з неї c :

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

З отриманої формули, зокрема, видно, як треба діяти, щоб визначити питому теплоємність експериментальним шляхом відповідно до її означення: треба виміряну кількість теплоти Q , передану тілу, поділити на масу тіла m і на зміну температури Δt . Якщо в цій формулі покласти $Q = 1$ Дж, $m = 1$ кг, $\Delta t = 1$ °С, то отримаємо одиницю питомої теплоємності джоуль на кілограм-градус Цельсія:

$$\frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ кг} \cdot 1 \text{ °С}} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°С}}.$$

Приклад. Для нагрівання 1 кг води від 19 до 20 °С, тобто на 1 °С, витратили 4200 Дж теплоти. Така сама кількість теплоти виділяється, якщо вода охолоне на 1 °С (наприклад від 9 до 8 °С).

Звідси питома теплоємність води дорівнює: $c = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°С}}.$

Тепер нагріли залізну гирю масою 1 кг на 1 °С. Для цього знадобилося 460 Дж теплоти. Отже, для заліза: $c = 460 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°С}}.$

У таблиці 8 наведено значення питомої теплоємності для деяких із вживаних у промисловості й побуті речовин.

Таблиця 8

Питома теплоємність речовин

Речовина	Питома теплоємність c , $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°С}}$	Речовина	Питома теплоємність c , $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°С}}$
Вода	4 200	Чавун	540
Спирт	2 500	Сталь	500
Ефір	2 350	Залізо	460
Водяна пара	2130	Мідь	400
Гас	2100	Латунь	380
Лід	2100	Цинк	380
Повітря	1 000	Срібло	250
Алюміній	920	Олово	250
Пісок	880	Свинець	140
Цегла	880	Ртуть	130
Скло	840	Золото	130

З наведених у таблиці даних видно, що речовина в різних агрегатних станах (лід, вода, водяна пара) має відмінні значення питомої теплоємності.

Вода має велике значення питомої теплоємності. Тому моря і океани пом'якшують клімат на прилеглих територіях: нагріваючись улітку, вода вбирає велику кількість теплоти, і в місцях поблизу великих водойм улітку не буває так жарко, як у місцях, віддалених від води. Взимку вода охолоджується й віддає значну кількість теплоти, через те зима в цих місцях менш сувора. Завдяки великій питомій теплоємності воду широко використовують у системах водяного опалення, для охолодження двигунів тощо.

Фізичний зміст питомої теплоємності полягає в тому, що вона визначає, як впливає теплопередача на тепловий стан тіла, зокрема, на його внутрішню енергію. Числове значення питомої теплоємності речовини визначає зміну внутрішньої енергії тіла масою 1 кг при зміні його температури на 1°C .

Наприклад, значення питомої теплоємності міді $380 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C}}$ показує, що підвищення температури мідної деталі масою 1 кг на 1°C приводить до зростання її внутрішньої енергії на 380 Дж, а зниження температури на 1°C — до зменшення її внутрішньої енергії на 380 Дж.

Фізичну величину, яка дорівнює добутку питомої теплоємності речовини тіла на його масу, називають *теплоємністю тіла* (позначають великою латинською літерою C).

$$C = c \cdot m.$$

Теплоємність тіла — це фізична величина, що характеризує теплові властивості даного тіла і дорівнює кількості теплоти, що треба надати тілу для зміни його температури на 1°C .

Одиницею теплоємності тіла є джоуль на градус Цельсія ($1 \frac{\text{Дж}}{^{\circ}\text{C}}$).



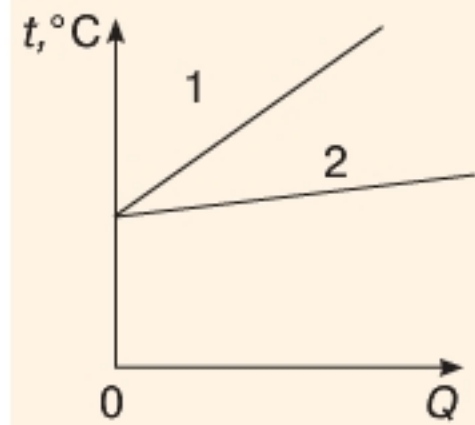
Підсумки

- Теплові властивості речовини характеризуються фізичною величиною, яку називають теплоємністю.
- Питому теплоємність речовини позначають буквою c і вимірюють в джоулях на кілограм-градус Цельсія ($1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C}}$).
- Значення питомої теплоємності певної речовини можна знайти в таблиці, яка є в підручнику, у збірнику задач з фізики, у довідниках з фізики і техніки.



Перевір свої знання

- 1*. Які метали, вказані у таблиці 8, мають найменшу і найбільшу питому теплоємність?
- 2*. Чому в системах опалення в будинках використовують воду?
- 3*. Чому воду використовують для охолодження двигунів?
- 4**. Яка кількість теплоти виділяється під час охолодження 1 кг води від 40 до 39 °C?
- 5**. Яку кількість теплоти буде поглинати мідне тіло масою 1 кг під час нагрівання від 40 до 41 °C?
- 6***. Дано графік залежності температури двох тіл від кількості теплоти, яку їм передають (мал. 53). У якого тіла теплоємність більша? У якого тіла питома теплоємність більша, якщо маси тіл однакові? У якого тіла більша маса, якщо питомі теплоємності тіл рівні?



Мал. 53. Графік залежності температури двох тіл від кількості теплоти

Хвилинка здоров'я

Одягайся по погоді!

У спекотний день одяг має бути світлим, оскільки він якнайменше поглинає теплову енергію сонячного випромінювання. Голову необхідно захищати від перегріву, тому необхідно мати легкий світлий капелюх.

Взимку, в морозні дні, слід одягати хутряні речі, оскільки повітряні проміжки між волокнами хутра мають низьку теплопровідність, тому зберігають тепло.



§ 12. Розрахунок кількості теплоти, що потрібна для нагрівання тіла, та що виділяється ним під час його охолодження



Думки вголос

Я навчуся застосовувати для розв'язання задач формулу розрахунку кількості теплоти, що потрібна для нагрівання тіла та виділяється ним під час його охолодження.

Не досить знати, треба й застосовувати. Не досить хотіти, треба й робити.
Й. Гете

У попередньому параграфі ми ознайомилися з формулою для розрахунку кількості теплоти, що надається тілу під час його нагрівання:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta t \text{ або } Q = c \cdot m \cdot (t_2 - t_1),$$

де Q — кількість теплоти, що надається тілу під час його нагрівання; c — питома теплоємність речовини; m — маса тіла; $\Delta t = (t_2 - t_1)$ — зміна температури тіла; t_1 і t_2 — відповідно початкова і кінцева температури тіла.

Приклад. Питома теплоємність міді: $c = 400 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$. Отже, щоб нагріти шматок міді масою 1 кг на 1°C потрібно надати йому 400 Дж енергії, а якщо нагріватимемо на 1°C 4 кг міді, енергії знадобиться в 4 рази більше: $400 \text{ Дж} \cdot 4 = 1600 \text{ Дж}$. А якщо нам треба ці 4 кг міді нагріти на 200°C , то енергії знадобиться ще більше в 200 разів: $1600 \text{ Дж} \cdot 200 = 320\,000 \text{ Дж} = 320 \text{ кДж}$.

Щоб підрахувати кількість теплоти, що потрібна для нагрівання тіла та виділяється під час його охолодження, треба перемножити питому теплоємність тіла c , його масу m та різницю між більшою температурою t_2 і меншою температурою t_1 :

$$Q = c \cdot m \cdot (t_2 - t_1).$$

Із цієї формули можна вивести формули для визначення будь-якої величини, що може знадобитися під час розв'язування задач.

Щоб визначити масу тіла, яке нагрівається або охолоджується, потрібно кількість теплоти поділити на питому теплоємність речовини й на різницю більшої і меншої температур тіла:

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

Щоб визначити питому теплоємність речовини, з якої виготовлене тіло, потрібно кількість теплоти поділити на масу тіла й на різницю його більшої і меншої температур:

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

Щоб визначити, на скільки градусів змінилася температура тіла, потрібно кількість теплоти поділити на питому теплоємність речовини й на масу тіла:

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

Приклади розв'язування задач. Задача 1. В алюмінієву каструлю масою 6 кг налили воду масою 8 кг. Яку кількість теплоти треба передати каструлі з водою для зміни їх температури від 20 до 100 °С?

Під час розв'язування задачі потрібно врахувати, що нагріваються будуть два тіла: вода і каструля. У результаті теплообміну їх температури треба брати однаковими, тоді зміна температури води і каструлі буде $\Delta t = (100 - 20) \text{ °С} = 80 \text{ °С}$. Але кількості теплоти будуть різними, оскільки різні маси каструлі і води, а також різні їх питомі теплоємності.

Дано:

$$m_1 = 6 \text{ кг}$$

$$m_2 = 8 \text{ кг}$$

$$c_1 = 920 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°С}}$$

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

$$t_1 = 20 \text{ °С}$$

$$t_2 = 100 \text{ °С}$$

$$Q = ?$$

Розв'язання

Кількість теплоти, яку одержить каструля, дорівнює:

$$Q_1 = c_1 \cdot m_1 \cdot (t_2 - t_1).$$

$$Q_1 = 920 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°С}} \cdot 6 \text{ кг} \cdot 80 \text{ °С} = 441\,600 \text{ Дж}.$$

Кількість теплоти, яку одержить вода, дорівнює:

$$Q_2 = c_2 \cdot m_2 \cdot (t_2 - t_1).$$

$$Q_2 = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°С}} \cdot 8 \text{ кг} \cdot 80 \text{ °С} = 2\,688\,000 \text{ Дж}.$$

Для нагрівання каструлі і води потрібна кількість теплоти:

$$\begin{aligned} Q &= Q_1 + Q_2 = 441\,600 \text{ Дж} + 2\,688\,000 \text{ Дж} = \\ &= 3\,129\,600 \text{ Дж} = 3129,6 \text{ кДж}. \end{aligned}$$

Відповідь: $Q = 3129,6 \text{ кДж}$.

Задача 2. Змішали воду масою 0,8 кг, яка має температуру 25 °С, і кип'яток масою 0,2 кг. Температура суміші через деякий час вирівнялась і стала 40 °С. Обчислити, яку кількість теплоти віддав кип'яток під час охолодження і отримала холодна вода під час нагрівання. Порівняти ці кількості теплоти.

Дано:

$$m_1 = 0,2 \text{ кг}$$

$$m_2 = 0,8 \text{ кг}$$

$$c_1 = c_2 = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$t_1 = 25 ^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 100 ^\circ\text{C}$$

$$t_3 = 40 ^\circ\text{C}$$

$$Q_1 = ? \quad Q_2 = ?$$

Розв'язання

Кип'яток остиг на $60 ^\circ\text{C}$ (від 100 до $40 ^\circ\text{C}$) і при цьому віддав кількість теплоти:

$$Q_1 = c_1 \cdot m_1 \cdot (t_2 - t_3);$$

$$Q_1 = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 0,2 \text{ кг} \cdot 60 ^\circ\text{C} = 50\,400 \text{ Дж.}$$

Вода, в яку налили кип'яток, нагрілася від 25 до $40 ^\circ\text{C}$ і отримала кількість теплоти:

$$Q_2 = c_2 \cdot m_2 \cdot (t_3 - t_1);$$

$$Q_2 = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 0,8 \text{ кг} \cdot (40 - 25) ^\circ\text{C} = 50\,400 \text{ Дж.}$$

Відповідь: $Q_1 = 50\,400 \text{ Дж}$; $Q_2 = 50\,400 \text{ Дж}$.

Результат розв'язання показує, що кількість теплоти, віддана кип'ятком, і кількість теплоти, яку отримала холодна вода, рівні між собою. Цей результат задачі не випадковий.

Досліди показують, що під час теплообміну між тілами внутрішня енергія всіх тіл, які нагріваються, збільшується настільки, наскільки зменшується внутрішня енергія тіл, які охолоджуються.



Підсумки

Щоб підрахувати кількість теплоти, що потрібна для нагрівання тіла та що виділяється під час його охолодження, треба перемножити питому теплоємність тіла c , його масу m та різницю між більшою температурою t_2 і меншою температурою t_1 :

$$Q = c \cdot m \cdot (t_2 - t_1).$$



Перевір свої знання

- 1*. Яка кількість теплоти необхідна для нагрівання 1 кг сталі на $2 ^\circ\text{C}$? на $5 ^\circ\text{C}$? на $10 ^\circ\text{C}$?
- 2*. Яка кількість теплоти необхідна для нагрівання на $1 ^\circ\text{C}$ мідного тіла масою 5 кг ? 10 кг ? 20 кг ?
- 3**. Розрахувати кількість теплоти, потрібну для нагрівання:
 - а) чавунної деталі масою 2 кг для нагрівання на $200 ^\circ\text{C}$;
 - б) алюмінієвої деталі масою 50 кг від 20 до $100 ^\circ\text{C}$.
- 4**. Яка кількість теплоти виділиться під час охолодження води об'ємом 20 л від 100 до $50 ^\circ\text{C}$?
- 5***. Щоб охолодити 2 л води температурою $80 ^\circ\text{C}$ до $60 ^\circ\text{C}$, до неї долили холодну воду температурою $10 ^\circ\text{C}$. Яку кількість холодної води долили?
- 6*. При вмиканні опалення повітря в кімнаті об'ємом 60 м^3 нагрілося від $10 ^\circ\text{C}$ до $20 ^\circ\text{C}$. Яка маса води пройшла через труби опалювальної системи, якщо вода в них охолоне від $60 ^\circ\text{C}$ до $58 ^\circ\text{C}$?

**Інструкція з охорони праці під час підготовки
і проведення лабораторних та практичних робіт з фізики**

1. Вимоги безпеки перед початком роботи

1.1. Усі положення щодо захисту від механічних, теплових та інших травмувальних факторів, що викладені в інструкції під час підготовки і проведення демонстраційних дослідів, поширюються на підготовку й проведення лабораторних та практичних робіт.

1.2. Перед тим, як вмикати в електромережу електро- та радіоприлади, необхідно переконаватися, що положення перемикача напруги мережі відповідає номінальному значенню, а також у справності запобіжників.

2. Вимоги безпеки під час виконання роботи

2.1. Під час виконання робіт на встановлення теплового балансу воду треба нагрівати не вище 70 °С.

2.2. Під час виконання лабораторних та практичних робіт учням не дозволено користуватися приладами з написом на панелях (корпусі): «Тільки для проведення дослідів учителем».

2.3. Навчальні прилади й вироби, призначені для лабораторних та практичних робіт учнів, за способом захисту людини від ураження електричним струмом повинні задовольняти вимоги II класу (мати подвійну або посилену ізоляцію) або III класу (бути приєднані безпосередньо до джерел живлення з напругою не вище 42 В).

2.4. Будьте уважні й дисципліновані, точно виконуйте вказівки вчителя.

2.5. Під час проведення дослідів не допускайте граничних навантажень вимірювальних приладів. Працюючи з приладами зі скла, будьте особливо обережні. Не виймайте термометрів із пробірок із затверділою речовиною.

2.6. Стежте за справністю усіх кріплень у приладах і пристроях. Не доторкайтеся до обертових частин обладнання і не нахиляйтеся над ними.

2.7. Для складання експериментальних установок користуйтеся проводами (із наконечниками і запобіжними частинами) з міцною ізоляцією, без видимих пошкоджень.

2.8. Складаючи електричне коло, уникайте перетину проводів, заборонено користуватися провідниками зі спрацьованою ізоляцією і вимикачами відкритого типу (за напруги понад 42 В).

2.9. Джерело струму вмикайте в електричне коло в останню чергу. Складене коло вмикайте тільки після перевірки і з дозволу вчителя. Наявність напруги в колі перевіряйте тільки приладами або покажчиками напруги.

2.10. Не торкайтесь елементів кола, що не мають ізоляції і перебувають під напругою. Не виконуйте повторно з'єднань у колах до вимикання джерела електроживлення.

2.11. Стежте за тим, щоб під час роботи випадково не доторкнутися до обертових частин електричних машин. Не виконуйте повторно з'єднань в електричних колах машин до повної зупинки якоря або ротора машини.

2.12. Не торкайтесь корпусів спеціального електрообладнання, до затискачів увімкнених конденсаторів.

2.13. Користуйтеся інструментом з ізольованими ручками.

2.14. Для приєднання споживачів до електромережі користуйтеся штепсельними з'єднаннями.

3. Вимоги безпеки після закінчення роботи

3.1. Вимкніть усі прилади з електромережі.

3.2. Розрядіть конденсатори.

3.3. Приберіть свої робочі місця.

3.4. Прилади здайте вчителю.

4. Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

4.1. Якщо помічено несправності в електромережі кабінету фізики, зокрема й вихід з ладу електроламп, необхідно повідомити про це електрика або відповідального за електрогосподарство у школі.

4.2. У випадку виявлення несправності в електричних приладах, що перебувають під напругою, негайно вимкніть джерело електроживлення.

4.3. У випадку одержання травми повідомте вчителя, за потреби викличте швидку медичну допомогу за тел. 103.

4.4. У випадку виникнення пожежі ліквідуйте осередок пожежі, за потреби викличте пожежну службу за тел. 101, а дітей виведіть у безпечне місце.



ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1 ВИЗНАЧЕННЯ ПИТОМОЇ ТЕПЛОЄМНОСТІ РЕЧОВИНИ

Мета. Визначити калориметричним методом питому теплоємність речовини.

Обладнання: склянка з водою, калориметр, термометр, терези з важками, досліджуване тіло (важок), посудина з гарячою водою.

Вказівки до роботи

Для дослідження теплообмінних процесів застосовують прилади, які називають *калориметрами* (латиною *calor* — тепло і грецькою *metreo* — вимірюю).

Найпростіший калориметр (мал. 54) складається з тонкостінного циліндра 3, зовнішньої посудини 1, теплоізоляційної підставки 4 і термометра 2.

Такий пристрій дає змогу максимально зменшити втрати теплоти назовні, які важко врахувати у вимірюваннях. Він є основним засобом у калориметричному методі вимірювання. Цей метод базується на припущенні рівності кількості теплоти $Q_{\text{т}}$, яку досліджуване тіло віддає, і кількості теплоти $Q_{\text{к}}$, яку отримують калориметр і вода:

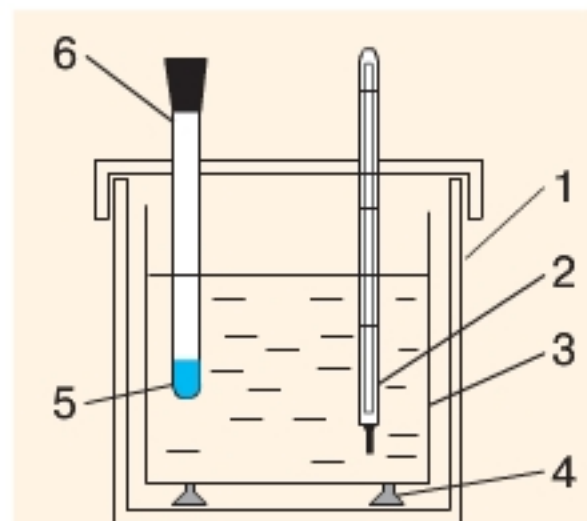
$$Q_{\text{т}} = Q_{\text{к}}.$$

Основною характеристикою калориметра з водою є його теплоємність C , яку визначають заздалегідь. Наближено це можна зробити за допомогою обчислень, якщо відомі маса води $m_{\text{в}}$, маса тонкостінного циліндра $m_{\text{ц}}$ і матеріал, з якого він виготовлений:

$$C = c_{\text{в}}m_{\text{в}} + c_{\text{ц}}m_{\text{ц}},$$

де $c_{\text{в}}$ — питома теплоємність води, $c_{\text{ц}}$ — питома теплоємність матеріалу циліндра. Якщо вважати, що питома теплоємність циліндра і його маса будуть набагато меншими за масу і питому теплоємність води, то другим доданком можна знехтувати, оскільки він несуттєво впливатиме на результат. За таких умов кількість теплоти, що віддає тіло внаслідок теплопередачі, дорівнює кількості теплоти, яку отримує вода в калориметрі. Для того щоб її обчислити, треба виміряти зміну температури води:

$$Q_{\text{к}} = C\Delta t = c_{\text{в}}m_{\text{в}}\Delta t.$$



Мал. 54. Конструкція калориметра

Виконання роботи

1. Налийте в калориметр холодної води приблизно на три чверті (щоб під час занурення досліджуваного тіла вона не виливалася) і визначте її масу m_1 .

2. Визначте початкову температуру води в калориметрі t_1 .

3. Виміряйте за допомогою важільних терезів масу тіла m_2 , питому теплоємність якого ви будете визначати.

4. Занурте досліджуване тіло в гарячу воду на кілька хвилин, виміряйте її температуру t_2 (це буде початкова температура тіла), а потім перенесіть тіло в калориметр.

5. Після встановлення теплової рівноваги знову виміряйте температуру води в калориметрі t_3 (це буде кінцева температура тіла).

6. Дані досліду занесіть до таблиці:

Маса холодної води m_1 , кг	Температура холодної води t_1 , °C	Маса тіла m_2 , кг	Початкова температура тіла t_2 , °C	Температура стану рівноваги t_3 , °C

7. Обчисліть кількість теплоти Q_1 , яку отримала вода в калориметрі:

$$Q_1 = c_1 m_1 (t_3 - t_1).$$

8. Обчисліть питому теплоємність досліджуваного тіла c_2 , узявши до уваги, що кількість теплоти, яку віддало тіло Q_2 , дорівнює кількості теплоти Q_1 , яку отримав калориметр:

$$c_2 = \frac{Q_1}{m_2 (t_2 - t_1)}.$$

9. За отриманим значенням питомої теплоємності за допомогою таблиці визначте, з якої речовини виготовлене досліджуване тіло, і зробіть висновок.

Дайте відповіді на запитання

1. Яка роль калориметра в цій лабораторній роботі?

2. Поясніть, чому в калориметрі підставка виготовлена із теплоізоляційного матеріалу.

3. Оцініть витрати теплової енергії на нагрівання навколишнього середовища в цій роботі.

§ 13. Тепловий баланс. Рівняння теплового балансу

**Думки вголос**

Я вчуся розв'язувати задачі, які характеризують теплообмінні процеси, використовуючи рівняння теплового балансу.

На початку розділу вже відзначалося, що за результатами багатьох експериментальних досліджень було сформульовано фізичний закон збереження енергії, справедливий і для теплових явищ:

Енергія у природі не виникає з нічого і не зникає. Вона лише переходить з одного виду в інший або переходить від одного тіла до іншого.

На практиці доволі часто виникає потреба розв'язати задачі, які характеризують теплообмінні процеси, що протікають за умови встановлення теплового балансу, який є наслідком закону збереження енергії.

Наведемо кілька прикладів таких процесів.

- Під час змішування гарячої і холодної води іноді треба узнати температуру суміші.
- У разі контакту тіл з різною температурою потрібно знати, яку кількість теплоти віддають одні тіла і поглинають інші.
- Часто виникає завдання підрахувати кількість теплоти, яку треба надати одним тілам або забрати в інших тіл, щоб досягти заданої температури.

Під час вирішення таких проблем треба складати і розв'язувати рівняння, в яких невідомими величинами будуть згадані величини із наведених вище прикладів процесів. Такі рівняння називають *рівняннями теплового балансу*. Складати ці рівняння зовсім неважко, якщо вивчити і запам'ятати такі правила:

- усі тіла, що беруть участь у теплообміні, з часом переходять у стан теплової рівноваги, який характеризується встановленням у них однакової температури;
- згідно із законом збереження і перетворення енергії (загальний закон природи) теплота не може зникнути безслідно або з'явитися з нічого. Тому під час теплообміну кількість теплоти $Q_{\text{від}}$, яку віддають одні тіла, дорівнює кількості теплоти $Q_{\text{пр}}$, яку приймають інші тіла. Математично цю умову записують у вигляді рівняння теплового балансу:

$$Q_{\text{від}} = Q_{\text{пр}}$$

Число тіл, які беруть участь в теплообміні, а також процеси теплообміну в конкретних задачах можуть бути різними, тому обидві частини рівняння теплового балансу можуть складатися із суми формул, що відповідають різним процесам. Розглянемо це на прикладі.

Приклад розв'язування задач. В алюмінієвій каструлі масою 1,5 кг міститься 800 г води кімнатної температури (20 °С). Скільки кип'ятку потрібно долити в каструлю, щоб одержати воду з температурою 45 °С?

Дано:

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

$$t_2 = t_3 = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t = 45\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$m_2 = 800\text{ г} = 0,8\text{ кг}$$

$$m_3 = 1,5\text{ кг}$$

$$c_1 = 4200\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C}}$$

$$c_2 = 900\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C}}$$

$$m_1 = ?$$

Розв'язання

Алгоритм розв'язання задач на тепловий баланс

Крок 1. З'ясуємо, що в теплообміні беруть участь такі тіла: каструля, холодна вода і тепла вода.

Крок 2. Визначаємо, що в стані теплової рівноваги для всіх тіл буде сталою температура 45 °С (її можна назвати температурою суміші).

Крок 3. Визначаємо, що гаряча вода віддає тепло, а каструля і холодна вода отримують це тепло.

Записуємо формулу кількості теплоти для всіх цих процесів. При цьому завжди від більшого значення температури віднімаємо менше:

$$Q_1 = c_1 \cdot m_1(t_3 - t) \text{ — кількість теплоти, що віддає кип'яток.}$$

$$Q_2 = c_1 \cdot m_2(t - t_2) \text{ — кількість теплоти, що одержує холодна вода.}$$

$$Q_3 = c_1 \cdot m_3(t - t_3) \text{ — кількість теплоти, що одержує каструля.}$$

Крок 4. Складаємо рівняння теплового балансу:

$$Q_1 = Q_2 + Q_3.$$

Підставляючи в рівняння всі формули, одержуємо розширене рівняння теплового балансу:

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

Крок 5. Розв'язуємо рівняння теплового балансу відносно невідомої величини m_1 .

$$Q_1 = 4200\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C}} \cdot m_1 \cdot (100 - 45)\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

$$Q_2 + Q_3 = 4200\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C}} \cdot 0,8\text{ кг} \cdot (45 - 20)\text{ }^{\circ}\text{C} + \\ + 900\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C}} \cdot 1,5\text{ кг} \cdot (45 - 20)\text{ }^{\circ}\text{C}.$$

Підставивши ці вирази у рівняння теплового балансу, отримаємо значення $m_1 = 0,5$ кг.

Відповідь: в каструлю треба влити 0,5 кг кип'ятку для досягнення температури води 45 °С.



Підсумки

- Потрібно вивчити алгоритм розв'язання задач на тепловий баланс.
- Знати рівняння теплового балансу:

$$Q_{\text{від}} = Q_{\text{пр.}}$$



Перевір свої знання

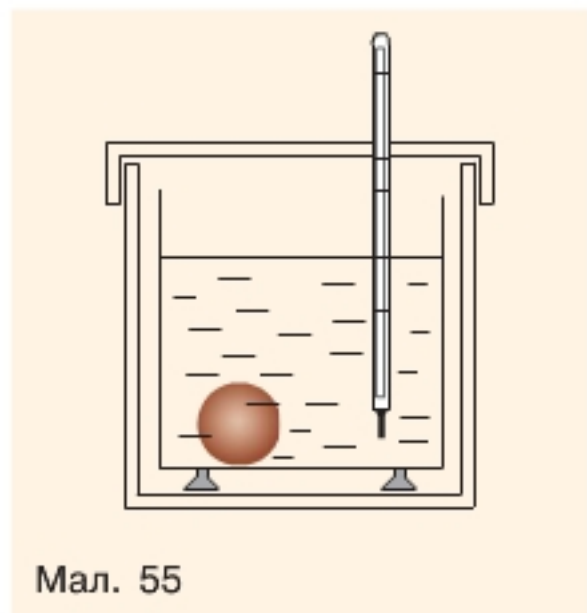
1.** У мідний котел масою 20 кг наливо 50 л води температурою 10 °С. Яку кількість теплоти потрібно віддати котлу з водою, щоб вона закипіла?

2.** Змішали 0,8 кг води температурою 35 °С і 0,3 кг кип'ятку. Яка температура суміші? Яку кількість теплоти віддав кип'яток? Яку кількість теплоти отримала вода?

3.** У калориметр, в якому було 1 л води температурою 20 °С, налили воду температурою 100 °С. Через деякий час у калориметрі встановилася температура 30 °С. Скільки гарячої води долили в калориметр?

4*.** У калориметр (мал. 55), в якому знаходиться 200 г води за $t = 10$ °С, поклали мідне тіло масою 50 г температурою $t = 100$ °С. Визнач, яка температура встановилася в калориметрі.

5*.** Для приготування ванни треба змішати холодну воду за температури 11 °С і гарячу за температури 66 °С. Яку кількість холодної і гарячої води потрібно взяти для одержання 110 л води за температури 36 °С?



Мал. 55

6*.** В калориметр вливають ложку теплої води. При цьому його температура збільшилась на 5 °С. Після влиття ще однієї ложки теплої води температура збільшилась ще на 3 °С. На скільки збільшиться температура в калориметрі (порівняно з початковою), якщо в нього влити ще три ложки теплої води? Скільки ложок води було спочатку в калориметрі? Теплообмін з навколишнім середовищем не враховувати.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

ПОРІВНЯННЯ КІЛЬКОСТІ ТЕПЛОТИ

ПІД ЧАС ЗМІШУВАННЯ ВОДИ РІЗНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ

Мета. Дослідним шляхом переконатися, чи справджується рівняння теплового балансу під час змішування води різної температури.

Обладнання: калориметр, термометр, мірний циліндр чи мензурка, склянка, посудини з водою.

Теоретичні відомості

Як відомо, рівняння теплового балансу передбачає врахування у теплообмінному процесі всіх тіл, що взаємодіють. Проте на практиці це вдається зробити не завжди, оскільки можливі втрати теплоти в навколишнє середовище або інші процеси, тепловий ефект яких важко врахувати. Через це, досліджуючи теплообмінні процеси, зокрема, під час змішування води різної температури, важливо якомога зменшити такі втрати теплоти, тоді й результат буде надійнішим, і дослід більш досконалим.

Для цього найчастіше використовують калориметр, у якого подвійні стінки з повітряним прошарком, його теплопровідність мала порівняно з іншими тілами. Це зменшує обмін теплотою між калориметром і навколишнім середовищем, що дає змогу спростити рівняння, оскільки можна знехтувати одним із доданків. Крім того, виконувати дослід треба чітко, не гаючи часу на підготовчу роботу. Головне — це зафіксувати стан теплової рівноваги, про що свідчать сталі показання термометра.

Оскільки в шкільних умовах важко забезпечити високу точність вимірювань калориметричним методом, обчислення краще робити з двома значущими цифрами.

Виконання роботи

1. За допомогою мірного циліндра чи мензурки відміряйте в склянку приблизно 100 мл холодної води і виміряйте її температуру (бажано мати воду кімнатної температури).
2. Налийте в калориметр приблизно таку саму кількість гарячої води і виміряйте її температуру.
3. Обережно влийте зі склянки в калориметр холодну воду і після встановлення теплової рівноваги виміряйте температуру суміші.
4. Результати вимірювань запишіть у таблицю.

Маса холодної води m_1 , г	Початкова температура холодної води t_1 , °C	Маса гарячої води m_2 , г	Початкова температура гарячої води t_2 , °C	Температура суміші t , °C

5. Обчисліть кількість теплоти Q_1 , яку отримала холодна вода:

$$Q_1 = cm_1(t - t_1).$$

6. Обчисліть кількість теплоти Q_2 , яку віддала гаряча вода:

$$Q_2 = cm_2(t_2 - t).$$

7. Порівняйте одержані значення і зробіть висновок.

Дайте відповіді на запитання

1. Яка роль повітряного прошарку в будові калориметра в цій лабораторній роботі?

2. Чому бажано холодну воду мати кімнатної температури?

3. Оцініть витрати теплової енергії на нагрівання навколишнього середовища в цій роботі. Поясніть результат.

Додаткові завдання

Розв'яжіть задачі

1. В калориметр налили 0,5 кг води при 20 °C. Скільки кип'ятка треба долити в калориметр, щоб в ньому встановилася температура 80 °C?

2. У порожній стальний чайник масою 400 г, температура якого 20 °C, налили 100 г окропу. Яка температура встановиться в чайнику?

3. Скільки треба змішати холодної води $t_1 = 10$ °C і гарячої $t_2 = 90$ °C води, щоб отримати $m = 60$ кг води з температурою $t = 50$ °C?

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ I**Конспект теоретичного матеріалу**

- Теплові явища в природі пояснюються внутрішньою будовою речовин і змінами в тепловому русі хаотичного руху мікрочастинок речовини. Енергію руху і взаємодії частинок, із якої складається тіло, називають внутрішньою енергією.
- Внутрішня енергія може передаватися від більш нагрітого тіла до менш нагрітого до встановлення теплової рівноваги. Стан теплової рівноваги тіл характеризується температурою. Температура (t) — фізична величина.
- Температура — фізична величина, яка є мірою середньої кінетичної енергії хаотичного руху молекул і атомів даного тіла та характеризує інтенсивність їх теплового руху.
- У стані теплової рівноваги у всіх тіл системи температура однакова.
- Термометри — прилади, що вимірюють температуру тіл, які знаходяться в стані теплової рівноваги. Для вимірювання температури існують різні шкали, найбільш поширена шкала Цельсія. У цій шкалі визначено дві реперні точки: за $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ прийнято температуру танення льоду або замерзання води, за $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ — температуру кипіння води при нормальному тиску.
- Речовина може перебувати в трьох агрегатних станах: твердому, рідкому, газовому. Речовина в кожному агрегатному стані має фізичні властивості, які пояснюють внутрішньою будовою речовини.
- Тверді тіла, рідини і гази під час нагрівання розширюються і скорочуються під час охолодження.
- Внутрішню енергію тіла можна змінити двома способами: виконанням роботи і теплопередачею. Якщо механічну роботу виконує саме тіло, то його внутрішня енергія зменшується, а якщо зовнішні сили виконують роботу над тілом — його внутрішня енергія збільшується. Теплопередача може здійснюватися трьома шляхами: теплопровідністю, конвекцією, випромінюванням.
- Теплопровідність — перенос енергії від більш нагрітих ділянок тіла до менш нагрітих в результаті руху і взаємодії мікрочастинок тіла. Під час теплопровідності речовина не переноситься.
- Конвекція — перенесення енергії струменями газу або рідини. Конвекція буває природна і вимушена.
- Випромінювання — вид передачі енергії тепловим промінням. Будь-яке тіло за температури, більшої від абсолютного нуля, випускає теплове проміння, це випромінювання то сильніше, що вища температура тіла.
- Зміну внутрішньої енергії можна обчислити, знаючи, від чого ця зміна залежить. Кількість теплоти Q — це величина, на яку змінюється внутрішня енергія тіла під час теплопередачі. Одиниця кількості теплоти — 1 Дж .
- Питома теплоємність речовини — фізична величина, яка показує кількість теплоти, яку потрібно надати речовині масою 1 кг для зміни її температури на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ (за нагрівання або охолодження тіла).
- $Q = cm\Delta t$ — формула для розрахунку кількості теплоти, що потрібна для нагрівання або охолодження тіла масою m на зміну температури Δt .

ВПРАВИ ДО РОЗДІЛУ I

Дай відповіді на запитання.

1. Чому ріки і озера нагріваються сонячним промінням повільніше, ніж суша?
2. Чому залізні печі швидше нагрівають приміщення, ніж цегляні, але не так довго залишаються теплими?
3. Чому брудний сніг весною розтає швидше, ніж чистий?

Вибери правильну відповідь.

1. Який вид теплопередачі не супроводжується переносом речовини?
 - Тільки випромінювання.
 - Тільки теплопровідність.
 - Випромінювання і конвекція.
 - Випромінювання і теплопровідність.
2. Яким способом передається енергія від Сонця до Землі?
 - Тільки випромінюванням.
 - Тільки конвекцією.
 - Тільки теплопровідністю.
 - Випромінюванням і теплопровідністю.

3. Питома теплоємність міді дорівнює $400 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$. Що це значить?

- Для нагрівання 400 кг міді на 1°C треба витратити кількість теплоти 1 Дж.
- Для нагрівання 1 кг міді на 1°C треба витратити кількість теплоти 400 Дж.
- Для нагрівання 1 кг міді на 400°C треба витратити кількість теплоти 1 Дж.
- Для нагрівання 400 кг міді на 1°C треба витратити кількість теплоти 400 Дж.

4. Яка кількість теплоти виділяється при остиганні шматка сталі масою 200 г від 30°C до 10°C ? Питома теплоємність сталі дорівнює $500 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$.

- 200 Дж.
- 200 кДж.
- 2 кДж.
- 20 кДж.



Розв'язування задач

- 1**. Яку кількість теплоти необхідно передати латунній деталі масою 500 г, щоб нагріти її від 20°C до 120°C ? Питома теплоємність латуні $400 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$.
- 2**. У сталій каструлі масою 0,4 кг нагрівають 3 л води від 10°C до кипіння. Яку кількість теплоти треба передати каструлі з водою? (Значення питомої теплоємності сталі і води візьми із таблиці 8 у підручнику.)
- 3***. У мідному казанку масою 200 г знаходиться 1,5 л води за температури 20°C . До якої температури нагріється казан з водою, якщо йому передали кількість теплоти 447 кДж? (Значення питомої теплоємності міді і води візьми із таблиці 8 у підручнику.)

Орієнтовні теми навчальних проектів до розділу 1

1. Унікальні властивості води
2. Енергозберігаючі технології
3. Екологічні проблеми теплоенергетики та теплокористування

Розділ

2.

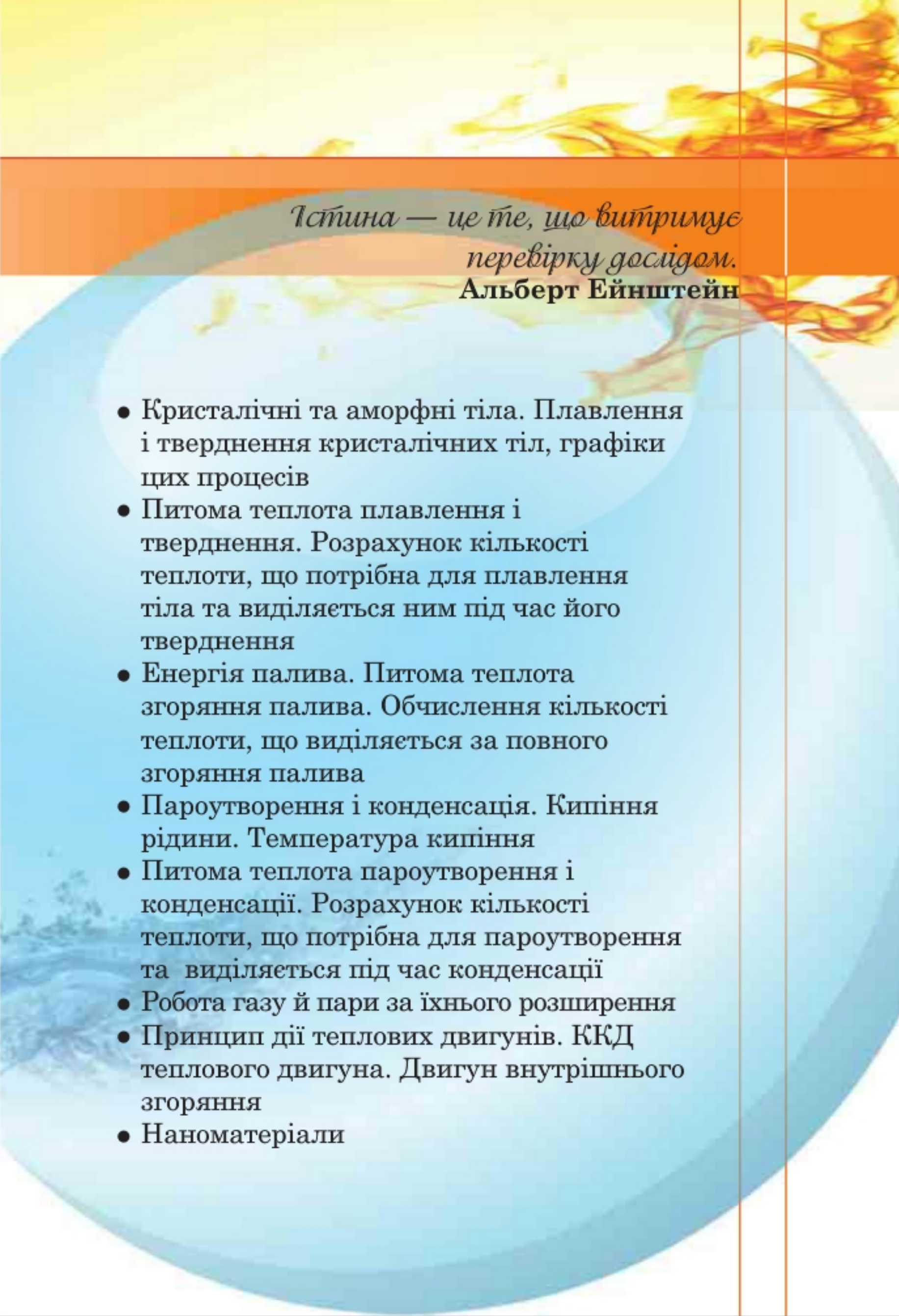
Зміна агрегатних станів речовини

ЧАСТИНА І. ТЕПЛОВІ ЯВИЩА

А з чого утворилася сніжинка?

*Чому одні тіла тверді, інші –
рідкі або в газівому стані?*

*Чи може залізо перебувати
в газівому стані?*



*Істина — це те, що витримує
перевірку дослідом.*
Альберт Ейнштейн

- Кристалічні та аморфні тіла. Плавлення і тверднення кристалічних тіл, графіки цих процесів
- Питома теплота плавлення і тверднення. Розрахунок кількості теплоти, що потрібна для плавлення тіла та виділяється ним під час його тверднення
- Енергія палива. Питома теплота згоряння палива. Обчислення кількості теплоти, що виділяється за повного згоряння палива
- Пароутворення і конденсація. Кипіння рідини. Температура кипіння
- Питома теплота пароутворення і конденсації. Розрахунок кількості теплоти, що потрібна для пароутворення та виділяється під час конденсації
- Робота газу й пари за їхнього розширення
- Принцип дії теплових двигунів. ККД теплового двигуна. Двигун внутрішнього згоряння
- Наноматеріали

§ 14. Кристалічні та аморфні тіла. Плавлення і тверднення кристалічних тіл, графіки цих процесів



Думки вголос

Я вивчу, що відбувається з агрегатним станом твердих речовин за зміни температур.

З § 4 вам уже відомо, що речовина може перебувати в трьох агрегатних станах: твердому, рідкому, газоподібному і за певних умов переходить із одного стану в інший. Наведемо кілька прикладів спостереження зміни агрегатного стану речовини в природі, а також використання цього явища на практиці:

- З поверхонь водоймищ вода випаровується, вода в річках і озерах взимку замерзає, а навесні лід тоне (мал. 56, а).
- У металургії метали виплавляють із руди, а тверді метали плавлять для отримання сплавів (мал. 56, б).
- У парових котлах на електростанціях вода переходить в пару, а відпрацьована пара знов перетворюється на рідину (мал. 56, в).
- У холодильних установках використовують зріджені газ (мал. 56, г).



а — плавлення металів



б — парові котли на електростанціях



в — холодильні установки



г — хмари, вода у водоймах

Мал. 56. Приклади зміни агрегатного стану речовини у природі та техніці

Розглянемо тіла у твердому агрегатному стані. Ви вже знаєте, що вони мають полікристалічну будову, а іноді — монокристалічну. Монокристали трапляються в природі доволі великих розмірів, геологи знаходять монокристали кам'яної солі, кришталю, кварцу. У лабораторних умовах вирощують монокристали для багатьох промислових цілей (мал. 57).

У монокристалах мікрочастинки розміщені в строго визначених місцях — вузлах кристалічних ґрат. Це доведено за допомогою електронних мікроскопів і рентгенівських досліджень. Полікристали складаються із великої кількості монокристалів.

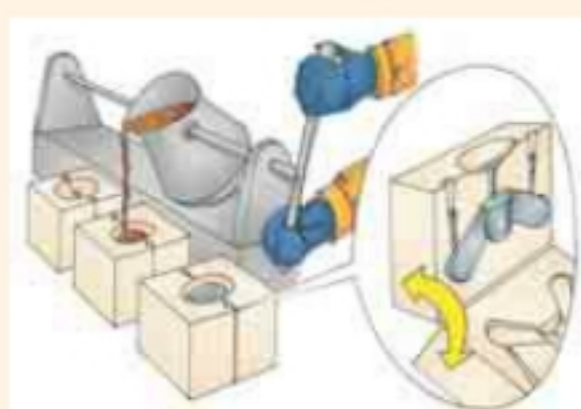
Якщо кристалічному тілу передавати енергію, наприклад, нагріванням, то його можна перетворити на рідину.

Перехід речовини із твердого стану в рідкий називають *плавленням*.

Плавлення кристалічного тіла розпочинається і відбувається за певної температури.

Температуру, за якої тверде кристалічне тіло переходить у рідкий стан, називають *температурою плавлення*.

На ливарному виробництві розплавлений метал, наприклад, чавун, розливають у спеціальні форми. Під час остигання металу він твердне, і з форми забирають готовий виріб-відливочок (мал. 58).



Мал. 58. Розливання і тверднення рідкого металу

Перехід речовини з рідкого стану в твердий називають *кристалізацією, або твердненням*.

Температуру, за якої рідина переходить у твердий стан, називають *температурою кристалізації (тверднення)*.

Із досвіду відомо, що кристалічні тіла плавляться і кристалізуються за однією і тією самою температурою. Наприклад, вода



Мал. 57.
Вирощені монокристали:
а — кварц;
б — кухонна сіль

кристалізується, а лід плавиться за температури $0\text{ }^{\circ}\text{C}$; чисте залізо плавиться і кристалізується за температури $1539\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Температура плавлення (кристалізації) твердого тіла залежить від речовини, з якої воно складається.

Температура плавлення (кристалізації) є одною з характеристик кожної речовини. Їх визначають дослідним шляхом і вміщують у таблиці, якими користуються під час розрахунків теплових процесів (див. таблицю 9).

Таблиця 9

**Температура плавлення (кристалізації) деяких речовин
(за нормального атмосферного тиску)**

Речовина	$t_{\text{плав}},\text{ }^{\circ}\text{C}$	Речовина	$t_{\text{плав}},\text{ }^{\circ}\text{C}$	Речовина	$t_{\text{плав}},\text{ }^{\circ}\text{C}$
Водень	-259	Натрій	98	Мідь	1 085
Кисень	-219	Олово	232	Чавун	1 200
Азот	-210	Свинець	327	Сталь	1 500
Спирт	-114	Янтар	360	Залізо	1 539
Ртуть	-39	Цинк	420	Платина	1 772
Лід	0	Алюміній	660	Осмій	3 045
Цезій	29	Срібло	962	Вольфрам	3 387
Калій	63	Золото	1064		

Із таблиці 9 видно, що азот, кисень, водень, які за нормальних умов є газами, можуть переходити в рідкий стан і мають дуже низькі температури плавлення (тверднення). Виявляється, що ртутний термометр не може виміряти температуру, нижчу за $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$, оскільки саме за цієї температури ртуть перетвориться на тверде тіло, і термометр, напевно, вийде з ладу. Метал цезій розплавиться у долоні. А нитку розжарення в електричних лампах роблять із вольфрама, тому що він плавиться за температури $3387\text{ }^{\circ}\text{C}$ (його відносять до тугоплавких металів).

Аморфні тіла за своїми фізичними властивостями займають проміжне положення між кристалами і рідинами. Це, наприклад, пластилін, стеарин, скло.

Особливості теплових процесів за зміни температури кристалічних і аморфних тіл вивчають на дослідах.

Дослід 1. Нагріватимемо стеаринову свічку або пластилін. Пластилін стає м'яким, свічка «пливе». Аморфні тіла не мають строго визначеної температури плавлення, вони м'якшають поступово з підвищенням температури.





Мал. 59. Приклади аморфних тіл

Аморфні тіла (мал. 59) з часом (кілька місяців або років) можуть самовільно перейти в кристалічний стан. Наприклад, прозоре скло через багато років стає мутним — кристалізується; прозорий мед через деякий час стає непрозорим; цукерка-льодяник через кілька тижнів стає непрозорою.

Теорія МКТ пояснює це явище тим, що з часом мікрочастинки аморфного тіла розміщуються в певному порядку, що є характерним для кристалів.

Дослід 2. За кімнатної температури поставимо закорковану колбу зі шматочками льоду на шальку терезів і врівноважимо їх. Зачекаємо, доки весь лід не розтане, тобто вода перейде з твердого в рідкий стан. Пересвідчуємося, що рівновага терезів не порушилася.

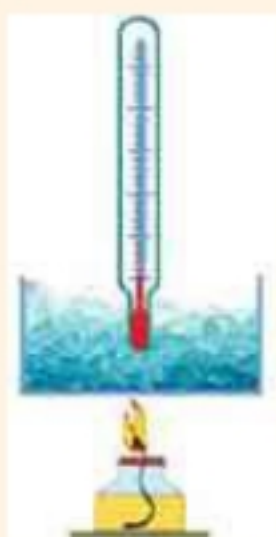
Під час переходу речовини з одного агрегатного стану в інший її маса не змінюється.

Дослід 3. Наповнимо водою скляну пляшку і щільно її закоркуємо. Покладемо пляшку в цупкий пластиковий пакет, обгорнемо його і покладемо на ніч до морозильної камери холодильника. На ранок витягнемо його, розгорнемо і побачимо, що з води утворився лід, який виштовхнув корок із пляшки, яка при цьому розтріскалася, як це показано на малюнку 60. Тепер, побачивши результат досліду, обережно (щоб не поранитися гострими скляними уламками) згорніть пакет і винесіть на смітник.



Мал. 60. Лід, що утворився з води, розірвав пляшку

Під час переходу речовини певної маси з одного агрегатного стану в інший її об'єм, а отже, і густина змінюються.



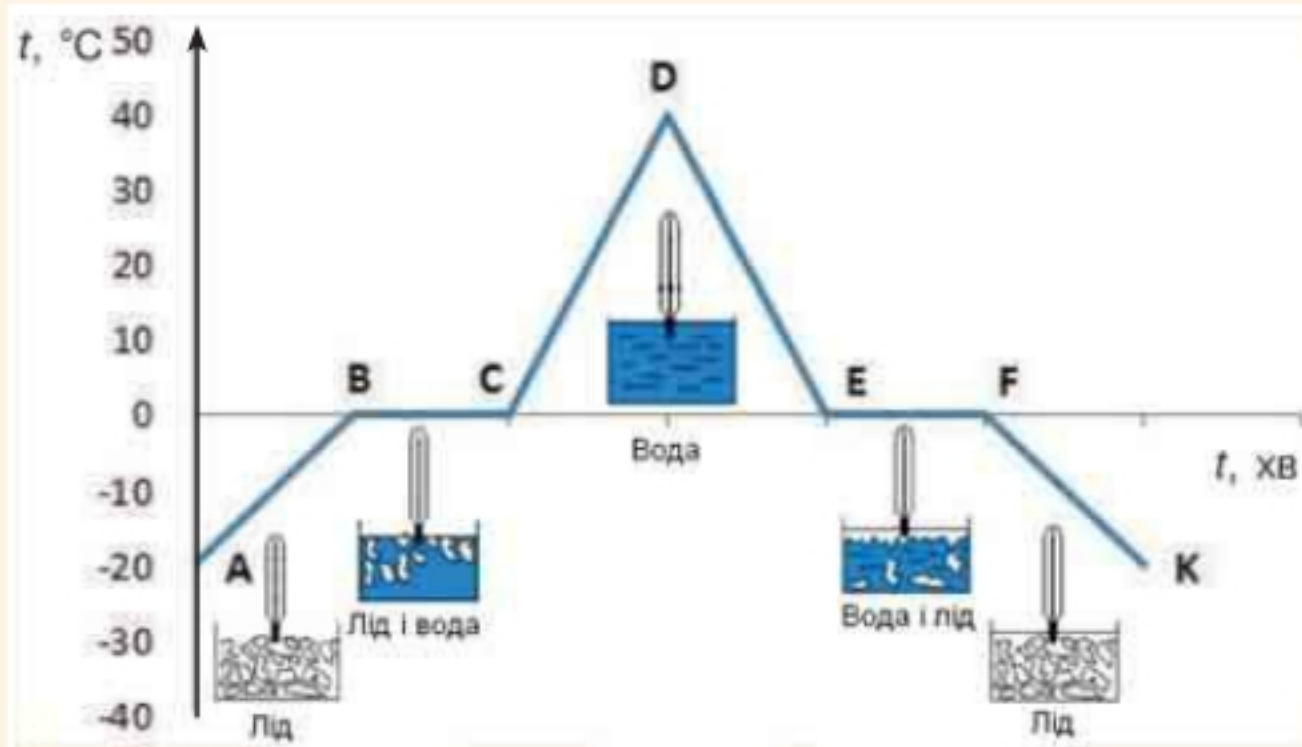
Мал. 61.
Схема досліду
з нагрівання
льоду

З цієї причини, зокрема, не можна, щоб заповнені водою водогінні труби перебували на морозі, інакше станеться аварія системи внаслідок розриву труб.

Треба зазначити, що збільшення об'єму води внаслідок кристалізації є винятком, решта речовин у рідкому стані зменшує свій об'єм під час тверднення.

Дослід 4. Нагріватимемо посудину з льодом, який взяли за температури -20°C . За допомогою термометра і годинника стежитимемо, як при цьому з часом змінюватиметься температура речовини в посудині. Схему досліду показано на малюнку 61.

Одночасно побудуємо графік залежності температури речовини від переданої їй кількості теплоти від нагрівача. Для цього в системі координат уздовж вертикальної осі відкладемо показання термометра у градусах Цельсія, а вздовж горизонтальної осі — час нагрівання у хвиликах, адже передана тілу кількість теплоти прямо пропорційна часу нагрівання (мал. 62).



Мал. 62. Графік плавлення й тверднення льоду

На початку досліду температура льоду становила -20°C , упродовж нагрівання температура його зростає пропорційно часу нагрівання, доки не досягне значення 0°C (ділянка АВ графіка). При цьому лід почав плавитися, у посудині міститься суміш льоду і

води. На диво стовпчик термометра зупиняється на позначці $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ і не рухається, доки весь лід не перетворився на воду, хоча теплота справно надходить від нагрівача до посудини (ділянка BC графіка).

Як це може бути: тіло гріють, а температура його не змінюється?

Коли в посудині міститься саме вода, стовпчик нарешті знову рушає з місця: почався процес нагрівання води, її температура змінюється прямо пропорційно часу нагрівання (ділянка CD графіка).

Як ти гадаєш, чому кути нахилів до осі часу ділянок AB і CD різні?

За температури $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ припинимо нагрівання води, а посудину вмістимо до морозильника, тобто почнемо охолоджувати воду. Припустимо, що охолоджувач забирає теплоту від води з такою самою швидкістю, з якою нагрівач її надавав у першій частині досліду. В цьому разі побудуємо симетричну ділянку DE , що відповідає охолодженню води. Температура води спадає пропорційно часу охолодження, доки не знизиться до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. І знову стовпчик зупиняється на цій позначці: почалося тверднення води, утворюється лід, у посудині міститься суміш води і льоду. Стовпчик не рухається, доки вся вода не перетвориться на лід (ділянка EF графіка).

Чому тіло охолоджують, а його температура не змінюється?

Стовпчик рушає донизу, коли в посудині міститься саме лід, починається процес його охолодження. Будуємо ділянку FK графіка, симетричну ділянці AB нагрівання льоду.

Як відповісти на запитання, що виникли під час виконання цього досліду, ви дізнаєтесь, засвоївши матеріал наступного параграфа.



Підсумки

- Будову кристалічних і аморфних тіл пояснюють теорією МКТ.
- Кристалічні тіла можуть переходити в рідкий стан — процес плавлення і твердіти — процес кристалізації.
- Температура, за якої кристалічні тіла плавляться, називають температурою плавлення.
- Кристали плавляться і кристалізуються за однакової температури, яка залишається сталою протягом цих процесів.
- Аморфні тіла не мають визначеної температури плавлення.



Перевір свої знання

- 1*. Запиши температури кристалізації: рідке олово, рідке залізо, рідка сталь (дані взяти в табл. 9).
- 2*. Який із металів, записаних в таблиці, легкоплавкий і тугоплавкий?
- 3**. Поясни процес плавлення тіла на основі МКТ.
- 4**. Чи можна в алюмінієвій посудині розплавити цинк? Чому?
- 5***. Запиши температури кристалізації рідкого олова, рідкого заліза, рідкої сталі (дані взяти в табл. 9).

§ 15. Питома теплота плавлення і тверднення.

Розрахунок кількості теплоти, що потрібна для плавлення тіла та виділяється ним під час його тверднення



Думки вголос

Я зможу розраховувати кількість теплоти, потрібної для плавлення, а також ту, що виділяється тілом під час його тверднення.

Продовжимо аналізувати результати дослідів із вивчення процесів плавлення і тверднення речовин, щоб з'ясувати залежність потрібної для зміни агрегатного стану кількості теплоти від характеристик речовини. Це допоможе зрозуміти математичну формулу, за якою виконують кількісні розрахунки зміни внутрішньої енергії тіла за його плавлення і кристалізації.

Із графіка плавлення і кристалізації кристалічного тіла (мал. 62) видно, що поки лід плавився, його температура не змінювалася. Лише після того, як весь лід розплавився, температура утвореної води почала зростати. Але під час плавлення нагрівач надавав енергію льоду. За законом збереження енергії вона мала на щось витрачатися.

На що витрачається енергія палива під час плавлення тіла?

За молекулярно-кінетичною теорією будови речовини у кристалах мікрочастинки щільно розміщені у вузлах кристалічних ґрат, вони лише коливаються і не можуть вільно рухатися по кристалу. Отримуючи енергію ззовні за нагрівання тіла, мікрочастинки починають коливатися інтенсивніше. Коли тіло нагрівається до температури плавлення, порядок в кристалі порушується, кристал втрачає форму, речовина переходить із твердого агрегатного стану в рідкий. Отже, вся енергія, яку отримує кристал від нагрівача, після досягнення температури плавлення витрачається на руйнування кристалічних ґрат тіла. При цьому збільшується потенціальна енергія взаємодії між частинками, а їх середня кінетична енергія лишається сталою, доки не зруйнуються кристалічні ґрати. Тому й температура тіла, що є мірою середньої кінетичної енергії мікрочастинок, не підвищується.

Тепер стає зрозумілим, чому не змінювалася температура суміші води і льоду під час кристалізації, хоча при цьому теплота речовини віддавалася охолоджувачу. Під час тверднення з розплаву знов відновлюються кристалічні ґрати, що супроводжується зменшенням потенціальної енергії взаємодії мікрочастинок і перетворенням її на кінетичну енергію їх коливального руху. За

рахунок цього температура речовини в процесі тверднення підтримується сталою.

Під час плавлення і кристалізації температура речовини не змінюється. У процесі плавлення енергія поглинається речовиною, а в разі тверднення — виділяється.

Дослід 1. Візьмемо посудину із 100 г колотого льоду за температури 0 °С і розплавимо його на нагрівачі, відмітивши час, який для цього знадобиться. Потім повторимо цей дослід, розплавивши 200 г такого самого льоду. Виявилось, що для цього знадобилося удвічі більше часу, тобто удвічі більша кількість теплоти.

Кількість теплоти Q , яка потрібна для плавлення тіла, прямо пропорційно залежить від його маси m :
$$Q \sim m.$$

Дослід 2. На одному й тому самому нагрівнику спочатку розплавимо 100 г свинцю, а потім 100 г льоду. Виявилось, що в другому випадку процес плавлення тривав значно довше, тобто для розплавлення льоду знадобилася більша кількість теплоти, ніж для розплавлення свинцю однакової маси.

Кількість теплоти, яка потрібна для перетворення в рідину твердого тіла певної маси за температури плавлення, залежить від роду речовини, з якої виготовлене тіло.

Кожна кристалічна речовина характеризується *питомою теплою* плавлення — фізичною величиною, яка їй визначає кількість теплоти, яка знадобиться для переведення її у рідкий стан за температури плавлення.

Кількість теплоти, яку потрібно надати речовині масою 1 кг, щоб перетворити її з твердого стану в рідкий за температури плавлення, називають *питомою теплою плавлення*.

Питому теплоту плавлення позначають малою грецькою літерою λ . З означення питомої теплоти плавлення випливає, що кількість теплоти, що потрібна для розплавлення тіла із певної речовини довільної маси, визначатиметься добутком питомої теплоти плавлення цієї речовини на масу тіла:

$$Q = \lambda m.$$

За цією самою формулою також обчислюють кількість теплоти, що виділяється під час кристалізації тіла масою m .

Якщо відома кількість теплоти Q , що витрачена на розплавлення тіла масою m , то питому теплоту плавлення можна розрахувати за формулою:

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

Саме цією формулою користуються, коли визначають питому теплоту плавлення експериментальним шляхом. З неї також видно, що одиницею питомої теплоти плавлення є *джоуль на кілограм* ($1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$). Використовують також кратну одиницю *кілоджоуль на кілограм*: $1 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} = 1000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} = 10^3 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$.

У таблиці 10 вміщено визначені експериментально значення питомої теплоти плавлення деяких речовин.

Таблиця 10

**Питома теплота плавлення деяких речовин
(за температури плавлення і нормального атмосферного тиску)**

Речовина	Питома теплота плавлення, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	Речовина	Питома теплота плавлення, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$
Алюміній	390	Платина	101
Залізо	277	Ртуть	12
Золото	66,2	Свинець	25
Лід	335	Срібло	105
Мідь	213	Цинк	102
Нафталін	151	Чавун (білий)	14
Олово	60,7	Чавун (сірий)	100
Кисень	14	Водень	59
Спирт	110	Олово	590

Приклад. З таблиці 10 видно, що значення питомої теплоти плавлення для льоду $\lambda_{\text{л}} = 3,35 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$. Це означає, що льоду масою 1 кг

за 0°C потрібно передати ззовні енергію $3,35 \cdot 10^5$ Дж, тоді він весь розтане і перейде в рідкий агрегатний стан. А під час заморожування 1 кг води за 0°C виділиться енергія $3,35 \cdot 10^5$ Дж (тобто для заморожування у води потрібно забрати таку кількість теплоти).

Значення питомої теплоти плавлення алюмінію $\lambda_{\text{ал}} = 3,9 \times 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$. Це означає, що для розплавлення 1 кг цього металу,

за температури 660°C , потрібно витратити $3,9 \cdot 10^5$ Дж.

Узагальнюючи викладені дослідні дані, можна зробити такі висновки:

- За температури плавлення внутрішня енергія речовини в рідкому стані більша за внутрішню енергію речовини такої самої маси у твердому стані.
- Під час кристалізації виділяється така сама кількість теплоти, як і під час плавлення кристалічного тіла з тієї самої речовини такої самої маси.
- За кристалізації зменшуються середня кінетична енергія і швидкість руху мікрочастинок речовини.

Якщо відома кількість теплоти Q , що витрачена на розплавлення речовини з питомою теплотою плавлення λ , то можна визначити масу цієї речовини за формулою:

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

За цією формулою також обчислюють теплоту, що виділяється за кристалізації тіла масою m .

Приклад розв'язування задач

Задача. В піч металургійного заводу завантажили 120 т залізного брухту за температури 20 °С (мал. 63). Яку кількість теплоти потрібно передати брухту для його повного розплавлення?



Мал. 63. Піч металургійного заводу

Дано:

$$m = 120 \text{ т}$$

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

$$t_2 = 1539 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$\lambda = 2,7 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

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

 $Q = ?$ **Розв'язання**

Залізний брухт спочатку треба нагріти від $20 \text{ }^\circ\text{C}$ до $1539 \text{ }^\circ\text{C}$. Для цього потрібна кількість теплоти:

$$Q_1 = c_{\text{зал}} \cdot m \cdot (t_2 - t_1).$$

$$\begin{aligned} Q_1 &= 460 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 1,2 \cdot 10^5 \text{ кг} \cdot (1539 - 20)^\circ\text{C} = \\ &= 460 \cdot 1,2 \cdot 1519 \cdot 10^5 \text{ Дж} = \\ &= 83848,8 \text{ МДж} \approx 83,85 \text{ ГДж}. \end{aligned}$$

За температури плавлення метал буде плавитися. Для цього знадобиться кількість теплоти:

$$Q_2 = \lambda \cdot m = 2,7 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot 1,2 \cdot 10^5 \text{ кг} = 3,24 \cdot 10^{10} \text{ Дж} = 32,4 \text{ ГДж}.$$

Загальна кількість теплоти: $Q = Q_1 + Q_2$;

$$Q = 83,85 \text{ ГДж} + 32,4 \text{ ГДж} = 116,25 \text{ ГДж}.$$

Відповідь: $Q = 116,25 \text{ ГДж}$, таку кількість теплоти потрібно передати залізному брухту для повного розплавлення.



Підсумки

- Питоме тепло плавлення і тверднення — це фізична величина, яка показує енергію, що поглинається 1 кг кристалічного тіла під час плавлення за температури плавлення або виділяється за його тверднення.
- Питоме тепло плавлення і тверднення кристалічних тіл знаходиться дослідним шляхом і заноситься до таблиці.

$$\lambda = \frac{Q}{m}; \quad m = \frac{Q}{\lambda}; \quad Q = \lambda \cdot m.$$



Перевір свої знання

- 1*. Скільки енергії потрібно витратити, щоб розплавити лід масою 6 кг за температури $0 \text{ }^\circ\text{C}$?
2. У якого із тіл внутрішня енергія більше: мідного бруска масою 1 кг при температурі плавлення чи 1 кг розплавленої міді при цій самій температурі?
- 3**. Яка необхідна кількість теплоти, щоб в мідному казані масою 2 кг розплавити 3 кг льоду за $0 \text{ }^\circ\text{C}$?
- 4**. Залізна деталь, охолоджуючись від $800 \text{ }^\circ\text{C}$ до $0 \text{ }^\circ\text{C}$, розтопила лід масою 3 кг, взятий за $0 \text{ }^\circ\text{C}$. Яка маса деталі, якщо вся енергія, що виділилась за її остигання, пішла на плавлення льоду?
- 5***. Срібло масою 120 г охолоджують до кристалізації і перетворюють у твердий стан. Скільки тепла при цьому виділиться, якщо початкова температура срібла була $1050 \text{ }^\circ\text{C}$? (Температура плавлення срібла $962 \text{ }^\circ\text{C}$, питома теплоємність срібла $250 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$, питома теплота плавлення $105 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$).

§ 16. Енергія палива. Питома теплота згоряння палива. Обчислення кількості теплоти, що виділяється під час повного згоряння палива



Думки вголос

Я зможу обчислювати кількість теплоти, що виділяється при повному згорянні палива.

Теплову енергію часто отримують шляхом спалювання різних речовин. Приклади таких речовин: природний газ, вугілля, дрова, торф, горючі сланці, порох. Найчастіше використовують такі речовини, які під час горіння дають найбільший тепловий ефект. Такі речовини називають *паливом*. Горіння відбувається обов'язково з доступом кисню. Якість палива залежить від вмісту в ньому вуглецю (мал. 64).



Мал. 64. Процес горіння

Хімічна реакція горіння метану (природного газу):



Природний газ на 90 % складається з метану (CH_4). Під час згоряння 1 м^3 природного газу виділяється приблизно 40 МДж тепла. Під час горіння відбуваються хімічні реакції з'єднання молекул деяких речовин і утворення молекул інших речовин. Такі реакції супроводжуються виділенням певної кількості теплоти. Під час згоряння різних видів палива однакової маси виділяється різна кількість теплоти. Теплотворну здатність палива характеризують фізичною величиною, яку називають *питомою теплотою згоряння палива*.

Питома теплота згоряння палива показує, яка кількість теплоти виділяється під час згоряння 1 кг палива.

Питому теплоту згоряння палива позначають малою латинською літерою q . Одиницею питомої теплоти згоряння палива є джоуль на кілограм ($1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$). Використовують також кратні одиниці:

$$1 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} = 1000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}; 1 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}} = 1\,000\,000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$

Значення питомої теплоти згоряння різних видів палива визначають експериментальним шляхом і вміщують у таблиці (табл. 11).

Таблиця 11

Питома теплота згоряння палива

Паливо	$q, \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$	Паливо	$q, \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$	Паливо	$q, \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$
Деревне вугілля	34,0	Бензин	46,0	Водень	120,0
Антрацит	30,0	Гас	46,0	Метан	50,0
Кам'яне вугілля	27,0	Нафта	44,0	Ацетилен	48,1
Буре вугілля	17,0	Дизельне паливо	42,7	Природний газ	44,0
Торф	14,0	Мазут	41,0	Пропан	42,4
Тротил	15,0	Етер	34,0	Аміак	18,4
Дрова сухі	11,0	Спирт етиловий	27,0	Карбон (II) оксид	10,1
Дрова сирі	8,0	Спирт	25,0		
Порох	3,8	Спирт метиловий	19,5		
Умовне паливо	30,0				

Приклад. Для кам'яного вугілля $q = 27 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$. Це означає, що за повного згоряння 1 кг кам'яного вугілля виділяється 27 МДж теплової енергії.

Пристрої, у яких відбувається згоряння палива, називають *нагрівачами* (печі, топки, горілки тощо).

Щоб підрахувати кількість теплоти, яка виділяється при повному згорянні палива масою m , потрібно питому теплоту згоряння палива помножити на його масу: $Q = q \cdot m$.

Під час згоряння палива, унаслідок неминучих втрат, до тіла, яке нагрівають, вдається передати лише частину кількості теплоти, яка виділяється під час згоряння палива. Для оцінки ефективності нагрівача використовують його коефіцієнт корисної дії (ККД), який позначають малою грецькою літерою η (ета).

Коефіцієнтом корисної дії (ККД) нагрівача η називають виражене у відсотках відношення кількості теплоти, витраченої на нагрівання $Q_{\text{нагр}}$, до кількості теплоти $Q_{\text{згор}}$, виділеної під час згоряння палива.

$$\eta = \frac{Q_{\text{нагр}}}{Q_{\text{згор}}} \cdot 100 \% = \frac{Q_{\text{нагр}}}{q \cdot m} \cdot 100 \%$$

Приклад розв'язування задач

Яка кількість теплоти виділиться при повному згорянні 40 кг палива кам'яного вугілля? Скільки води можна нагріти від 10 °С

до 50 °С цією кількістю теплоти? (Для даного сорту кам'яного вугілля $q = 25,2 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$.)

Дано:

$$m_1 = 40 \text{ кг}$$

$$q = 25,2 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

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

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

$$t_2 = 50 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q_2 = ?, m_2 = ?$$

Розв'язання

За повного згоряння кам'яного вугілля виділяється кількість теплоти:

$$Q_1 = q \cdot m;$$

$$Q = 25,2 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot 40 \text{ кг} \approx$$

$$\approx 1000 \cdot 10^6 \text{ Дж} = 1000 \text{ МДж.}$$

Ця кількість теплоти пішла на нагрівання води: $Q_1 = Q_2$.

$$Q_2 = c \cdot m_2 \cdot (t_2 - t_1) \rightarrow m_2 = \frac{Q_2}{c \cdot (t_2 - t_1)} = \text{кг.}$$

$$[m_2] = \frac{\text{Дж} \cdot \text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Дж} \cdot ^\circ\text{C}}; m_2 = \frac{1000 \cdot 10^6 \text{ Дж}}{4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 40 \text{ }^\circ\text{C}} \approx 5952 \text{ кг.}$$

Відповідь: за повного згоряння виділиться 1000 МДж теплоти, якою можна нагріти приблизно 5952 кг води на 40 °С.



Підсумки

- Питомою теплотою згоряння палива називають фізичну величину, яку вимірюють кількістю теплоти, що виділяється за повного згоряння 1 кг палива: $q = \frac{Q}{m}$.
- Одиницею питомої температури згоряння палива є «джоуль на кілограм»: $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$.
- Кількість теплоти, яка виділяється за повного згоряння палива, знаходять за формулою $Q = q \cdot m$.
- Паливо згоряє в нагрівачах, які характеризуються коефіцієнтом корисної дії $\frac{Q_{\text{нагр}}}{q \cdot m}$.



Перевір свої знання

- 1*. Що таке горіння?
- 2*. Поясни виділення тепла під час горіння палива на основі МКТ.
- 3*. Який фізичний зміст питомої теплоти згоряння палива?



Завдання

- 1**. За повного згоряння бензину виділилось $1,63 \cdot 10^7$ КДж тепла. Скільки бензину згоріло?
- 2**. Скільки соснових дров потрібно спалити, щоб отримати таку саму кількість теплоти, як за згоряння 1,5 кг бензину?
- 3***. Яку масу газу необхідно спалити, щоб нагріти 3 л води від 20 °С до 100 °С, якщо на її нагрівання пішло 60 % енергії?

§ 17. Пароутворення і конденсація. Кипіння рідини. Температура кипіння



Думки вголос

Я детальніше вивчу відомі мені теплові процеси: пароутворення і конденсація рідини.

Під час дощу утворюються калюжі, але з часом вони висихають. Куди зникає вода? Вона випаровується (мал. 62). Це приклад того, що рідини можуть набувати газоподібного стану.

Пароутворення — це явище переходу рідини в газоподібний стан (в пару).

Є два види пароутворення: *випаровування* і *кипіння*.

Випаровування — це пароутворення, яке відбувається з вільної поверхні рідини.

За молекулярно-кінетичною теорією будови речовини молекули рідини перебувають у безперервному хаотичному русі. Частина молекул рухається відносно повільно, а частина має велику швидкість. Якщо такі молекули перебувають поблизу від поверхні рідини, то їх кінетичної енергії вистачає, щоб подолати сили міжмолекулярного притягання сусідніх молекул. Вони вириваються з рідини у повітря, утворюючи пару у просторі над рідиною. Такий процес і є випаровуванням, тобто переходом рідини в газоподібний стан.

Відбувається і зворотний процес: частина молекул пари внаслідок зіткнень між собою та молекулами повітря повертається назад у рідину.

Конденсація — це явище переходу речовини з газоподібного стану в рідкий.

Випаровування рідини є завжди, але його швидкість може бути різною.

Від чого залежить швидкість випаровування?

Дослід 1. На дно тарілки накапаємо по краплі води, спирту, ефіру та олії. Побачимо, що спершу випарується ефір, потім — спирт, далі — вода, олія висихне за кілька днів.

Швидкість випаровування залежить від роду рідини.

Дослід 2. Наллємо однакову кількість води у склянку і широку тарілку. Вода спочатку випарується з тарілки, а потім — зі склянки.

Швидкість випаровування залежить від площі поверхні рідини: чим більша площа вільної поверхні рідини, тим більша швидкість випаровування.

Дослід 3. Візьмемо дві однакові посудини з однаковою кількістю води. Вже знаємо, що в кімнаті є зони з різною температурою. Одну з посудин поставимо на столі, а другу в якесь тепле місце, наприклад, на батарею водяного опалення. Першою випарується вода, що стояла в теплішому місці.

Швидкість випаровування залежить від температури рідини: чим вища температура, тим більша швидкість випаровування.

Завдання. Подумай, як можна пояснити результати розглянутих дослідів, виходячи з молекулярно-кінетичної теорії будови речовини.

Ви вже знаєте, що разом з випаровуванням рідини відбувається одночасно й зворотний процес конденсації. Він сповільнює процес випаровування, адже частина молекул знов повертається у рідину. Якщо над поверхнею рідини виникає потік повітря, причиною якого може бути вітер, протяг або вентилятор у приміщенні, то він зносить молекули пари від поверхні рідини, конденсація припиняється, а швидкість випаровування збільшується.

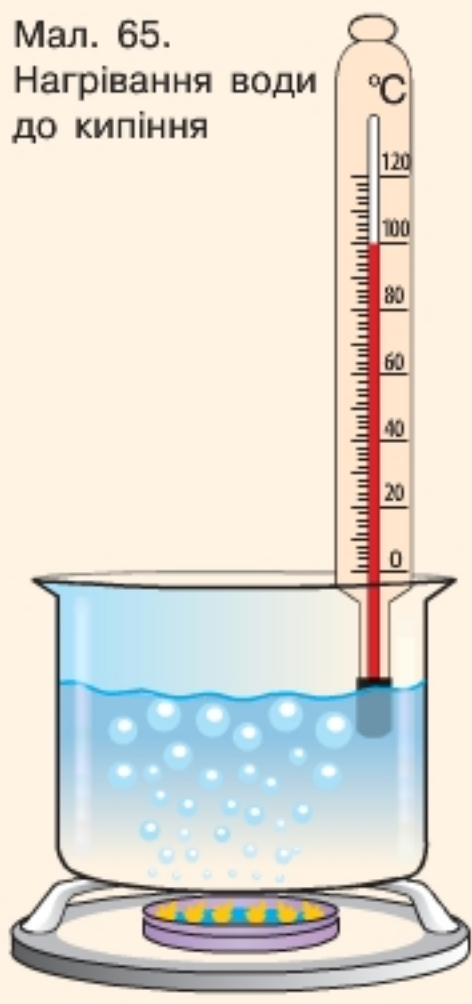
Швидкість випаровування залежить від наявності потоків повітря над рідиною.

Тепер стає зрозумілим, чому феном швидко висушують мокре волосся (тут і температура, і потік повітря), а волога білизна швидше висушується у вітряну погоду, ніж у тиху.

В умовах, коли до рідини в посудині немає притоку тепла ззовні або він дуже повільний, а випаровування досить інтенсивне, то рідина внаслідок випаровування охолоджується. Це відбувається тому, що під час випаровування рідину покидають насамперед «швидкі» молекули, а залишаються молекули, які мають меншу середню кінетичну енергію. Отже, температура рідини знижується. Пригадайте, як ви відчували прохолоду на шкірі, коли влітку виходили після купання з річки і вас обдував вітер.

Розглянемо другий вид пароутворення — *кипіння*.

Мал. 65.
Нагрівання води
до кипіння



Дослід 4. Нагріватимемо воду у відкритій посудині від кімнатної температури 20°C до кипіння (мал. 65). Спостерігатимемо зміни, що відбуваються з водою у посудині упродовж нагрівання, а також відмічатимемо значення температури води залежно від часу нагрівання, тобто від кількості теплоти, що передається воді від нагрівача.

Уже знаємо, що із нагріванням рідини зростає швидкість її випаровування. Водяна пара, що виникає у просторі над водою, невидима, але внаслідок її охолодження в повітрі вона конденсується, утворюючи маленькі краплі, — спостерігатимемо над посудиною легкий туман. Якщо потримати над посудиною холодну кришку від каструлі, побачимо на ній результат конденсації пари — утворення крупних крапель води, що поступово стікають з краю кришки.

Тим часом із подальшим нагріванням води побачимо, що на дні та стінках посудини у воді починають утворюватися сріблясті бульбашки, які поступово збільшуються в об'ємі. Це — бульбашки повітря, яке завжди є розчиненим у воді. Чим холодніша вода, тим більше в ній розчинено повітря. З підвищенням температури розчинене повітря виділяється з неї, утворюючи бульбашки. При цьому всередину кожної бульбашки з усього об'єму води йде випаровування. Із збільшенням об'єму бульбашок зростає сила Архімеда, яка виштовхує їх із води. Досягаючи поверхні води, бульбашки розриваються, пара виходить із них назовні, у цей час чуємо знайомий нам шум, який передуює закипанню. Слідом за цим настає власне *кипіння*.

Кипіння — процес інтенсивного випаровування рідини не тільки з її поверхні, а й з усього об'єму всередину бульбашок пари, що при цьому виникають.

Якщо за отриманими упродовж дослідів даними побудувати графік залежності температури води від часу, то він матиме вигляд ламаної *ABC* (мал. 66).

Нахилений відрізок *AB* — це вже відомий нам графік нагрівання води. Він означає, що температура води зростає прямо пропорційно часу нагрівання. На 25-й хвилині температура води досягла 100°C , і почалося кипіння води.

Температура, за якої рідина кипить, називають температурою кипіння.

Горизонтальна ділянка *BC* на графіку відповідає нагріванню води під час її кипіння. Бачимо, що ця температура залишається сталою, доки не википить уся вода в посудині, хоча весь цей час нагрівач продовжує передавати воді теплоту. Знов, як під час плавлення льоду, спостерігаємо явище, коли тіло нагрівають, а його температура при цьому не підвищується.

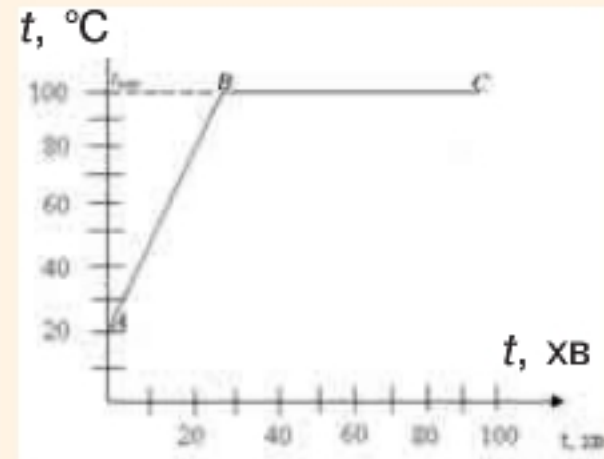
Під час кипіння температура рідини не змінюється.

Чому не змінюється температура киплячої рідини під час її нагрівання?

Під час нагрівання рідини до температури кипіння її температура зростає, при цьому зростає внутрішня енергія рідини внаслідок зростання середньої швидкості молекул рідини. Під час кипіння енергія нагрівача витрачається на процес випаровування. Коли молекули вилітають із рідини, відстань між ними збільшується, а отже, зростає потенціальна енергія міжмолекулярної взаємодії. Середня кінетична енергія молекул при цьому залишається сталою, тому й температура киплячої рідини не змінюється.

Під час охолодження води і пари спостерігається процес конденсації пари в рідину, при цьому «швидкі» молекули повертаються до рідини, і середня кінетична енергія молекул рідини збільшується, за рахунок чого температура рідини підтримується сталою. При цьому кількість теплоти, що була витрачена на випаровування рідини під час її нагрівання, повертається в процесі конденсації у рідину.

Температура кипіння рідини залежить від зовнішнього атмосферного тиску: при збільшенні тиску температура кипіння збільшується, і навпаки, при зменшенні тиску — зменшується. Наприклад, вода за нормального атмосферного тиску (680 мм рт. ст. або приблизно 101 кПа) має температуру кипіння 100 °С. Якщо вода перебуває під тиском 200 кПа (наприклад, у скороварці), то вона кипить за температури 120 °С. У горах на висоті 3 км атмосферний тиск становить 70 кПа, при цьому температура кипіння води дорівнює 90 °С. У такому «окропі» куряче яйце зварити не можна.



Мал. 66. Графік залежності температури води від часу нагрівання

Кожна рідина за нормальних умов має певну, властиву їй температуру кипіння. У таблиці 12 наведено значення температури кипіння для деяких рідин, знайдені експериментальним шляхом.

Таблиця 12

Температура кипіння деяких речовин
(за нормального атмосферного тиску)

Речовина	t кип, °С	Речовина	t кип, °С
Гелій	-268,92	Натрій	882,9
Водень	-252,87	Цинк	906
Азот	-195,80	Магній	1095
Повітря	≈ -193	Свинець	1745
Кисень	-182,962	Срібло	2170
Ефір	34,6	Алюміній	2467
Бензин	70–205	Мідь	2540
Спирт	78,3	Олово	2620
Вода	100	Нікель	2900
Молоко	100	Золото	2947
Водний розчин солі	108,8	Залізо	3200
Гас	150–300	Платина	≈ 3900
Гліцерин	290	Уран	≈ 4200
Олія	310	Графіт	4200
Парафін	350–450	Молібден	4600
Ртуть	356,66	Осмій	≈ 5000
Сірка	444,67	Тантал	≈ 5500
Сіль кухонна	770	Вольфрам	≈ 5700

З таблиці бачимо, що речовини, які у звичайних умовах бувають газами (водень, кисень), за великого охолодження перетворюються на рідини, що киплять за низьких температур. А речовини, які нам трапляються зазвичай у твердому стані (залізо, мідь), під час плавлення стають рідинами і киплять за дуже високих температур.



Для тих, хто хоче знати більше

Випаровування характерне не тільки для рідин, але й для твердих тіл. Процес випаровування твердих тіл називають сублімацією. Приклади сублімації: вимерзання на вулиці взимку білизни після прання, випаровування снігу, льоду. Зворотний сублімації процес, тобто безпосереднє перетворення пари на тверде тіло, називають десублімацією. Прикладами десублімації є утворення льодяних візерунків на віконному склі (мал. 67), а також атмосферні явища — іній та паморозь.



Мал. 67. Льодяні візерунки на склі

Явища конденсації застосовують у холодильниках (мал. 68), під час добування прісної води, у різних хімічних і технологічних процесах.

Явища кипіння застосовують у каstrулях-скороварках (мал. 69), у яких кришка міцно і щільно закрита, і вода нагрівається до 120–150 °С за рахунок збільшення тиску в каstrулі до $(2-5) \cdot 10^2$ кПа. У спеціальних котлах і автоклавах (мал. 70), у яких тиск досягає 104 кПа, воду можна нагріти до 300 °С.



Мал. 68. Холодильник



Мал. 69. Скороварка



Мал. 70. Автоклав



Підсумки

- Процес пароутворення — перехід рідини в пару.
- Види пароутворення: випаровування і кипіння.
- Сублімація — перехід твердого тіла в газоподібний.
- Конденсація — перехід пари в рідину.
- Рідини киплять при визначеній температурі, яку називають температурою кипіння.
- Температура кипіння залежить від зовнішнього атмосферного тиску, залишається незмінною під час кипіння рідини.



Перевір свої знання

- 1*. Що таке кипіння?
- 2*. Що називають температурою кипіння рідини?
- 3*. Чому в горах на приготування їжі потрібно витратити більше гасу, ніж на рівнинах?
- 4**. Скільки сухих дров треба спалити, щоб 5 кг льоду, взятого при температурі -10 °С, повністю розплавити, а утворену воду довести до кипіння?
- 5***. На електроплитці з ККД 78 % нагрівалась мідна каstrуля з водою. Маса каstrулі 800 г, маса води — 2,1 кг. Яка потужність електроплитки, якщо процес нагрівання до кипіння тривав 40 хв? Початкова температура води — 15 °С.
- 6***. Легковий автомобіль масою 1 т витрачає 7 л бензину на 100 км шляху. На яку висоту можна було б підняти цей автомобіль, використовуючи всю виділену енергію?
- 7***. В калориметрі знаходиться окріп масою 2 кг. Скільки льоду, взятого при 0 °С, треба помістити в калориметр, щоб його температура знизилась до 20 °С? Теплоємність калориметра $600 \frac{\text{Дж}}{^\circ\text{C}}$.

§ 18. Питома теплота пароутворення і конденсації.

Розрахунок кількості теплоти, що потрібна для пароутворення та виділяється під час конденсації



Думки вголос

Я зможу розв'язувати задачі на розрахунок кількості теплоти, потрібної для пароутворення та виділяється під час конденсації.

Важливе явище природи — колообіг води у природі — охоплює всі теплові процеси, які відбуваються під час зміни агрегатного стану речовини (мал. 71).



Мал. 71. Зміни агрегатного стану речовини

Нагадаємо, що плавлення і тверднення кристалічної речовини відбувається за сталої температури плавлення (тверднення), а рідина випаровується за будь-якої температури. Оскільки внутрішня енергія пари більша, ніж у рідини, то випаровування потребує безперервної передачі енергії від нагрівача або від навколишнього середовища. Досліди свідчать, що за різних температур рідині для випаровування потрібно додавати різну кількість теплоти: чим вища температура, за якої відбувається випаровування, тим менше потрібно теплоти. Найменша додаткова кількість теплоти потрібна за температури кипіння.

Фізичну величину, що показує, яка кількість теплоти потрібна для перетворення 1 кг рідини на пару за певної сталої температури, називають питомою теплотою пароутворення.

Питому теплоту пароутворення позначають великою латинською літерою L . Одиницею питомої теплоти пароутворення є джоуль на кілограм (1 Дж/кг).

Для розрахунків кількості теплоти, потрібної для випаровування рідини, експериментальним шляхом визначають питому теплоту пароутворення для кожної рідини за різних температур. У таблиці 13 наведено значення питомої теплоти пароутворення деяких рідин за температури кипіння і нормального атмосферного тиску.

Приклад. За таблицею 13 питома теплота пароутворення води:

$$L = 2260 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}.$$

Це означає, що за температури 100 °С потрібно $\approx 2,3 \cdot 10^6$ Дж тепла для повного випаровування 1 кг води.

Під час конденсації пара віддає таку саму кількість теплоти, яка пішла на її утворення. Це доволі велика енергія, тому явище конденсації використовують у паровому опаленні приміщень. Його особливістю є комбіноване віддавання тепла парю, яка не тільки знижує свою температуру, проходячи всередині опалювального приладу, а й конденсується на його внутрішніх поверхнях. При цьому за конденсації 1 кг пари виділяється близько 2300 кДж тепла, а внаслідок остигання 1 кг пари на 50 °С — лише 100 кДж.

Для випаровування 2 кг води за температури 100 °С знадобиться вдвічі більша кількість теплоти від нагрівача, а для випаровування m кг — в m разів більша.

Щоб обчислити кількість теплоти Q , потрібну для перетворення рідини маси m за температури кипіння на пару, слід питому теплоту пароутворення помножити на масу рідини:

$$Q = L \cdot m.$$

Якщо відома кількість теплоти Q , що пішла на повне випаровування за температури кипіння m кг рідини, для визначення питомої теплоти пароутворення L треба Q поділити на m :

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

Таблиця 13

**Питома теплота
пароутворення деяких
речовин**

(за температури кипіння і нормального атмосферного тиску)

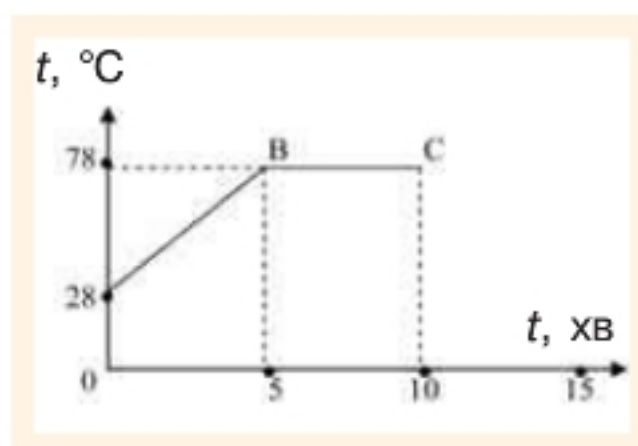
Речовина	Питома теплота пароутворення, кДж/кг
Азот	199
Аміак	1370
Ацетон	520
Бензин	300
Вода	2260
Гліцерин	830
Гас	209–230
Ефір	355
Залізо	6120
Мідь	4820
Ртуть	293
Свинець	855
Спирт	906–1101

Саме за цією формулою визначають питому теплоту пароутворення за результатами дослідів.

Знаючи кількість теплоти Q , що пішла на повне випаровування за температури кипіння, і питому теплоту пароутворення L , для визначення маси m випарованої рідини або утвореної пари треба Q поділити на L :

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

У випадку конденсації пари питому теплоту конденсації, кількість теплоти, що при цьому виділяється, а також масу утвореної рідини або сконденсованої пари обчислюють за такими самими формулами.



Приклад розв'язування задач

Задача. Дано графік залежності температури від часу нагрівання для 500 г рідини. Яка це рідина? Яку кількість теплоти потрібно витратити для здійснення процесів АВ і ВС? Усі необхідні дані візьміть з таблиць 8, 12 і 13.

Дано:

$$t_1 = 28\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_2 = 78\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$m = 500\text{ г}$$

$$c_{\text{сп}} = 2500 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}}$$

$$L_{\text{сп}} = 900 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

$$Q_{\text{AB}} = ?$$

$$Q_{\text{BC}} = ?$$

Розв'язання

1. Початкова температура рідини $t_1 = 28\text{ }^{\circ}\text{C}$. Цю рідину за 5 хв нагріли до $t_2 = 78\text{ }^{\circ}\text{C}$. Від 5 до 10 хв температура рідини не змінювалась — отже, вона кипіла і за цей час уся википіла. У таблиці 13 знаходимо, що $t_2 = 78\text{ }^{\circ}\text{C}$ є температурою кипіння спирту. Отже, рідина, яку нагрівали, є спиртом.

2. Нахилений відрізок АВ графіка відповідає нагріванню спирту від 28 до 78 $^{\circ}\text{C}$. Потрібну для цього кількість теплоти обчислюємо за формулою:

$$Q_{\text{AB}} = cm(t_2 - t_1).$$

Питому теплоємність спирту знаходимо в таблиці 8.

$$Q_{\text{AB}} = 2500 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}} \cdot 0,5\text{ кг} (78 - 28)\text{ }^{\circ}\text{C} = 62500\text{ Дж}.$$

3. Горизонтальний відрізок графіка ВС відповідає кипінню спирту до повного його википання. Кількість теплоти, потрібну для виконання цього процесу, обчислюємо за формулою $Q_{\text{BC}} = L \cdot m$.

Скористаємось найменшим значенням питомої теплоти пароутворення спирту $L_{\text{сп}} = 9 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$. Тоді:

$$Q_{BC} = 9 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot 0,5 \text{ кг} = 4,5 \cdot 10^5 \text{ Дж.}$$

Відповідь:

1. Рідина, яку нагрівали, є спиртом.
2. $Q_{AB} = 6,25 \cdot 10^4 \text{ Дж}$ теплоти.
3. $Q_{BC} = 4,5 \cdot 10^5 \text{ Дж}$ теплоти.



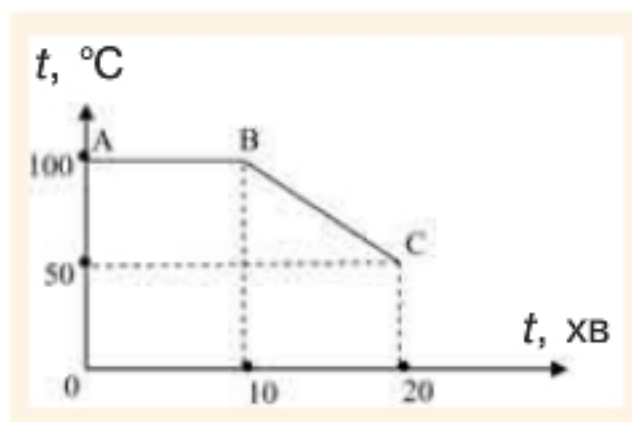
Підсумки

- Кількість теплоти, потрібну для пароутворення, або ту, що виділяється під час конденсації, розраховують за формулою $Q = L \cdot m$. Звичайно такі розрахунки виконують для випадку, коли рідина або пара перебувають за температури кипіння.
- L — питома теплота пароутворення. L показує, яка кількість теплоти необхідна, щоб 1 кг рідини, взятої при $t_{\text{кип}}$, повністю перевести в пару (або 1 кг пари перевести в рідину).



Перевір свої знання

- 1*. При якій температурі відбувається випаровування води?
- 2*. Що однакове в процесах випаровування і кипіння? У чому різниця між ними?
- 3*. Чому при кипінні рідина перетворюється в пару набагато швидше, ніж при випаровуванні?
- 4*. Чи випаровуються тверді тіла?
- 5*. Чому рідина при випаровуванні охолоджується?
- 6*. Чому ми відчуваємо холод, коли виходимо із річки?
- 7*. Чому чай остигає, коли ми на нього дуємо?
- 8*. Дано графік залежності температури від часу для 2 кг води. Назви процеси, які відповідають ділянкам графіка AB , BC . Яка енергія виділяється в результаті процесів AB і BC ?
- 9**. У залізну каструлю масою 1,5 кг налили 2,5 л води температурою 20°C . Яка кількість теплоти необхідна для нагрівання води до кипіння і подальшому повному перетворенню її в пару?
- 10**. Яка кількість теплоти виділиться водою масою 2 кг за охолодження від 100 до 0°C ? Яка кількість теплоти виділиться, якщо замість води взяти стільки ж пари за 100°C ?
- 11***. Латунний калориметр масою 145 г містить 280 г води за 0°C . У нього поклали 40 г льоду за -10°C і впустили водяну пару за 100°C . Температура суміші стає 20°C . Визнач масу пари, яку впустили в калориметр.



§ 19. Робота газу й пари за їх розширення.

Принцип дії теплових двигунів.

ККД теплового двигуна. Двигун внутрішнього згоряння



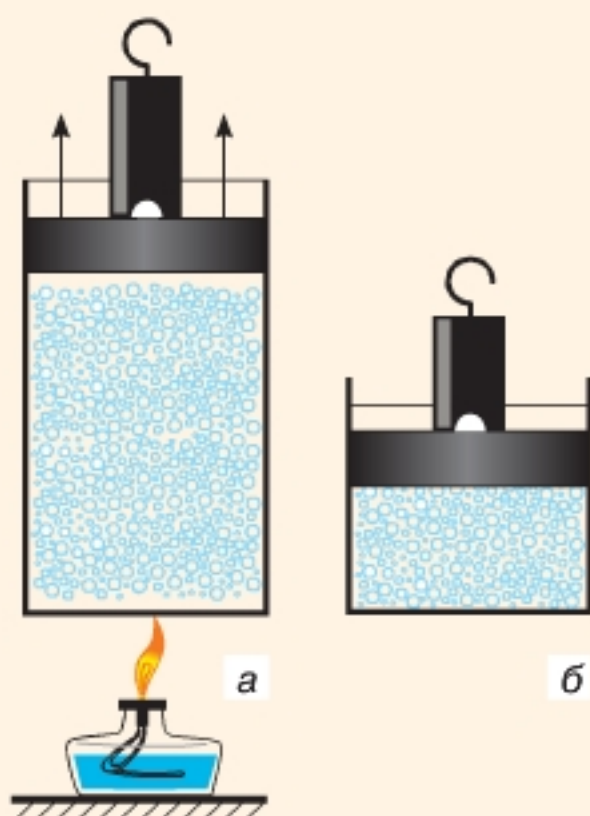
Думки вголос

Я вивчу фізичні основи роботи теплових двигунів. Я зможу дати відповіді на такі запитання:

- Як використати запаси внутрішньої енергії на користь людині?
- Як за рахунок внутрішньої енергії виконати механічну роботу?



Мал. 72. Виконання механічної роботи парою



Мал. 73. Унаслідок нагрівання газ у циліндрі виконує механічну роботу

Відповідь на ці запитання можна отримати з результатів таких фізичних дослідів.

Дослід 1. Наллємо трохи води в пробірку, закоркуємо її і нагріватимемо її у полум'ї спиртівки. З часом вода закипить, і сила тиску утвореної пари виштовхне пробку (мал. 72).

Висновок. Унаслідок розширення пари була виконана механічна робота з переміщення пробки на деяку відстань.

Дослід 2. Візьмемо циліндр із добре припасованим поршнем, на якому встановлено гирю (мал. 73, а). Нагріватимемо газ під поршнем. Через деякий час сила тиску газу на поршень переважить вагу гирі й внаслідок розширення нагрітого газу поршень підніметься і перемістить гирю вгору.

Висновок. Унаслідок нагрівання газ виконує механічну роботу з переміщення вантажу на певну висоту.

Якщо припинити нагрівання, газ під поршнем охолоне, сила тиску газу стане меншою за вагу гирі, поршень буде опускатися, механічну роботу при цьому виконує сила ваги (мал. 73, б).

Такий спосіб перетворення теплової енергії в механічну шляхом виконання роботи покладено в основу дії теплових двигунів.

Тепловий двигун — це машина, що частково перетворює внутрішню енергію палива на механічну енергію.

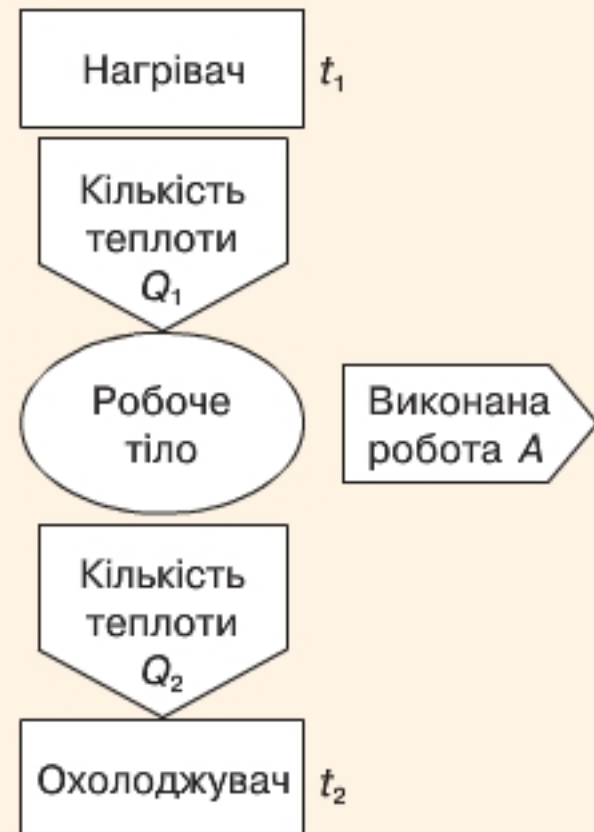
1824 року французький вчений Саді Карно встановив, що тепловий двигун повинен складатися із таких частин (мал. 74): нагрівач (джерело тепла), робоче тіло (газ або пара), охолоджувач (зокрема, зовнішнє середовище).

Від нагрівача передається кількість теплоти Q_1 робочому тілу, завдяки чому воно нагрівається до температури t_1 і розширюється. При цьому робоче тіло, наприклад, рухає поршень у циліндрі і виконує механічну роботу.

Щоб тепловий двигун виконував роботу тривалий час, він має працювати періодично, повертаючи робоче тіло у вихідний стан. Для повертання поршня в циліндрі у вихідне положення використовується частина вже одержаної механічної енергії. При цьому вона витрачається на переміщення поршня і стискання робочого тіла. Чим нижча температура робочого тіла, тим менші ці витрати. Для зниження температури робочого тіла до t_2 й потрібний охолоджувач, якому робоче тіло віддає кількість теплоти Q_2 . У результаті виконана за повний цикл дії теплового двигуна корисна робота буде більша за нуль: $A > 0$.

Виконана двигуном механічна робота A завжди менша від кількості теплоти Q , що виділяється під час згоряння палива. По-перше, як вказано вище, робоче тіло принципово має передати охолоджувачу певну кількість теплоти, по-друге, завжди є неминучі теплові та механічні втрати енергії (неідеальна теплоізоляція частин машини, подолання сил тертя тощо).

Чим більшу частку від кількості теплоти, що виділилася під час згоряння палива, тепловий двигун перетворює на корисну механічну роботу, тим він ефективніший. Ефективність теплового двигуна визначають фізичною величиною, яку називають коефі-

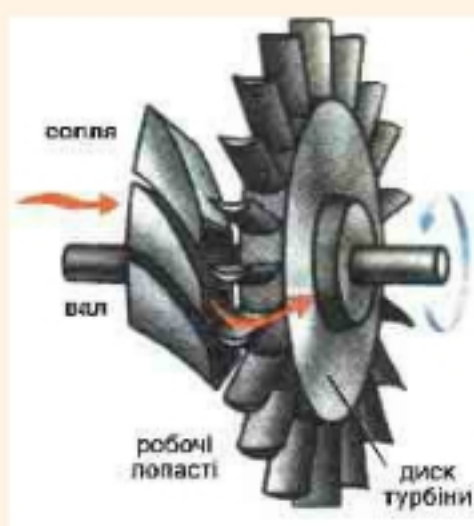


Мал. 74. Складові теплового двигуна

цієнтом корисної дії (ККД). Коефіцієнт корисної дії теплового двигуна позначають малою грецькою літерою η (ета).

Коефіцієнтом корисної дії η теплового двигуна називають виражене у відсотках відношення корисної роботи A , виконаної двигуном, до кількості теплоти Q , що виділилася під час згоряння палива:

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



Мал. 75. Турбіна

Оскільки A менше Q , то коефіцієнт корисної дії будь-якого теплового двигуна завжди менше за 100 %. ККД перших парових машин становив лише 1 %, ККД двигунів паровозів — 5–7 %, сучасні двигуни внутрішнього згоряння мають ККД 35–40 %.

Більша частина двигунів на Землі є тепловими. Саме вони дають електроенергію, є серцем майже всіх видів швидкісного транспорту. Сучасна людина не може обходитися без них.

Види теплових двигунів

Парова і газова турбіна (мал. 75). Застосовують на теплових і атомних електростанціях, у газотурбінних двигунах, в авіації для перетворення теплової енергії в механічну.

Реактивний двигун (мал. 76). Застосовують в ракетах, реактивних літаках.



Мал. 76. Сучасний реактивний двигун літака

Двигун внутрішнього згоряння. Одною з найпоширеніших теплових машин є *двигун внутрішнього згоряння*, який застосовують в автомобілях, тепловозах, теплоходах, літаках та інших транспортних засобах. У такому двигуні паливо згоряє не ззовні двигуна, а всередині, що дає змогу значно зменшити теплові втрати енергії і підвищити ККД (у сучасних двигунів 20–40 %).

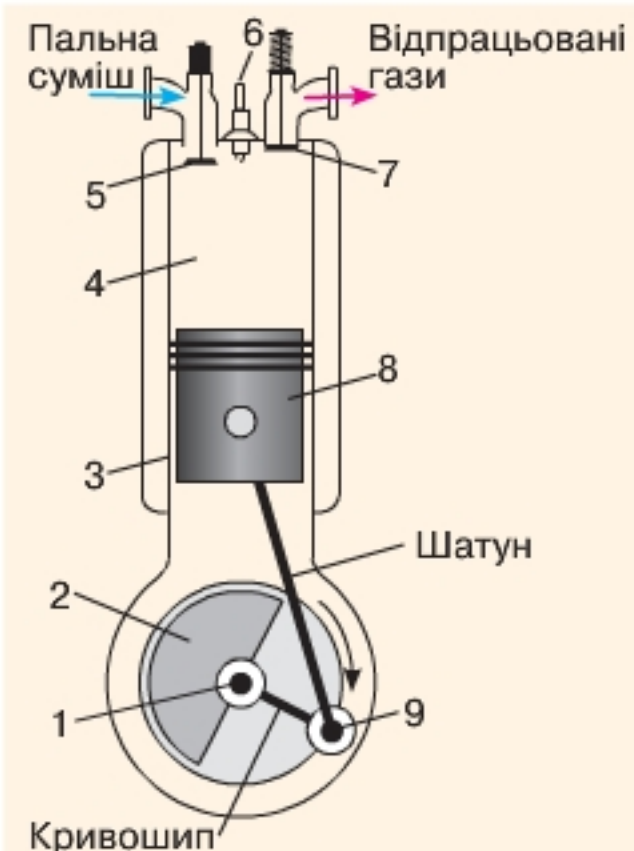
Двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ) — теплова машина циклічної дії, у якій паливо згоряє в робочій камері двигуна.

Розглянемо будову найпростішого чотиритактного двигуна внутрішнього згоряння (мал. 77). Серцем двигуна є *циліндр 3*, у якому рухається *поршень 8*, зворотно-поступальний рух якого за допомогою *кривошипно-шатунного механізму 9* перетворюється на обертовий рух *колінчастого вала 1*, на якому встановлено масивний *маховик 2*. *Впускний клапан 5* автоматично відкривається розподільним механізмом у потрібний момент і через нього в циліндр поступає *пальна суміш* (пара бензину та повітря або горючий газ), яка запалюється *свічкою 6* за допомогою електричної іскри. Через автоматичний *випускний клапан 7* викидаються в атмосферу *відпрацьовані гази*.

За температури продуктів згоряння пальної суміші 1600–1800 °С тиск газу в камері згоряння різко підвищується, внаслідок чого поршень рухається вниз, його рух передається валу й далі — колесам автомобіля.

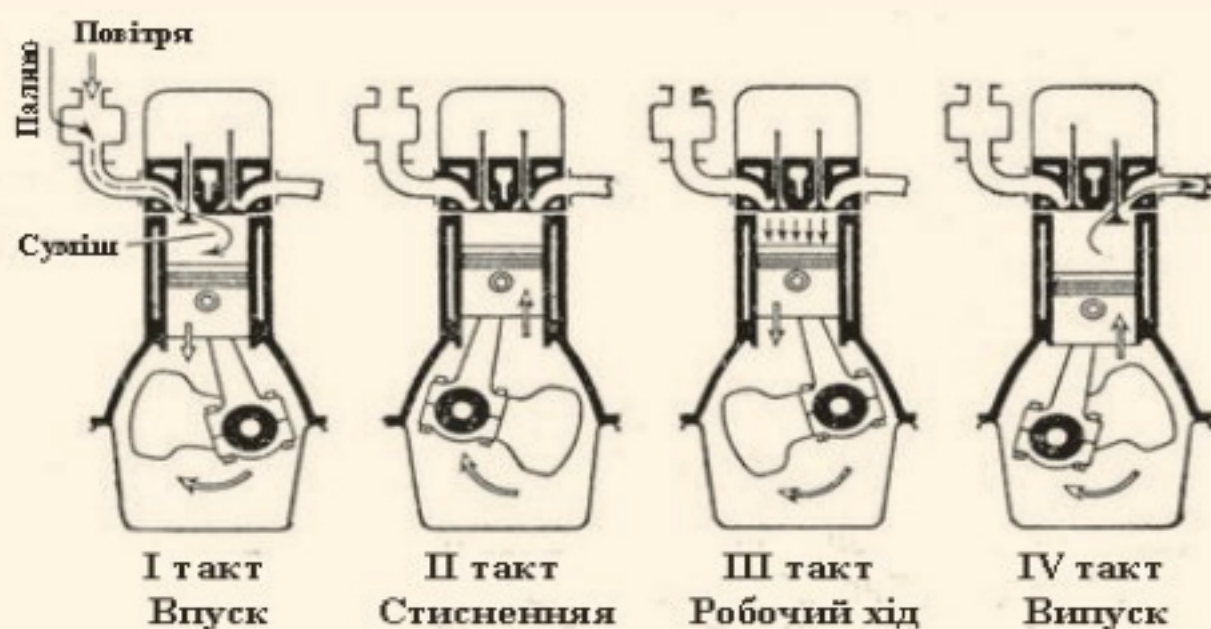
Кожний цикл роботи двигуна внутрішнього згоряння відбувається за два оберти колінчастого вала і складається з чотирьох послідовних процесів — *тактів* (мал. 78).

- **I такт — впуск.** Внаслідок руху поршня вниз відбувається всмоктування пальної суміші через відкритий впускний клапан, випускний клапан при цьому закритий.



Мал. 77. Будова двигуна внутрішнього згоряння:

- 1 — вісь колінчастого вала;
- 2 — маховик; 3 — циліндр;
- 4 — камера згоряння;
- 5 — впускний клапан;
- 6 — свічка запалювання;
- 7 — випускний клапан;
- 8 — поршень; 9 — кривошипно-шатунний механізм



Мал. 78. Робота двигуна внутрішнього згоряння

- **II такт — стиснення.** Обидва клапани закриті. Під час зворотного руху поршня суміш стискається, її температура підвищується. У верхній точці поршня стиснута суміш запалюється електричною іскрою від свічки запалювання.
- **III такт — робочий хід.** Обидва клапани закриті. Суміш миттєво спалахує, розширюється і тисне на поршень. За допомогою кривошипно-шатунного механізму рух поршня передається колінчастому валу, з'єднаному з колесами автомобіля. Під час робочого ходу поршня за рахунок внутрішньої енергії продуктів згоряння палива виконується механічна робота.
- **IV такт — випуск.** Поршень повертається у крайнє верхнє положення, виштовхуючи відпрацьовані гази через відкритий випускний клапан. Впускний клапан при цьому закритий.

Рух поршня під час «неробочих» тактів, а також стиснення пальної суміші відбувається за рахунок накопиченої упродовж робочого ходу кінетичної енергії масивного маховика.

В автомобільних двигунах звичайно встановлюють 4–8 циліндрів, при цьому під час кожного такту в одному чи двох циліндрах відбувається робочий хід, і колінчастий вал по черзі отримує енергію від поршнів. Такі двигуни краще забезпечують рівномірність обертання вала й мають велику потужність (мал. 79).



Мал. 79. Сучасний багаточиліндровий автомобільний двигун

Теплові двигуни і проблеми екології

Використання теплових двигунів пов'язане з великими екологічними проблемами. Під час роботи теплових двигунів найбільшому забрудненню піддається повітря. Тверді частинки пилу і сажі запилюють атмосферу. Це є причиною помітних змін погоди (похолодання, часті тумани і дощі, смог). Викиди сірчистого газу й оксидів азоту є причиною утворення кислотних дощів. Під час роботи теплових двигунів виділяється вуглекислий газ, який разом з парами води призводить до парникового ефекту, підвищення температури на поверхні Землі.

Шляхи зниження забруднення навколишнього середовища:

- замість бензинових двигунів застосовувати електродвигуни, що працюють на акумуляторах, або двигуни, які використовують як паливо водень;
- на теплових електростанціях зменшувати шкідливі викиди;
- пошук чистого палива;
- використання енергії Сонця, річок, вітру, термальних джерел.

Приклад розв'язування задач

Задача. Автомобіль рухається зі швидкістю 72 км/год. Потужність двигуна внутрішнього згоряння 60 кВт, його ККД — 30 %. Визначте витрати бензину на 1 км шляху.

Дано:	СІ	Розв'язання:
$v = 72 \frac{\text{км}}{\text{год}}$	$20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$	Корисна механічна робота, виконана двигуном за рахунок енергії згоряння бензину:
$N = 60 \text{ кВт}$	$6 \cdot 10^4 \text{ Вт}$	$A = N \cdot t.$
$\eta = 30 \%$		За означенням ККД теплового двигуна $\eta = \frac{A}{Q} \cdot 100 \%$, де Q —
$s = 1 \text{ км}$	$1 \cdot 10^3 \text{ м}$	кількість теплоти, що виділилася в результаті згоряння бензину.
$q = 46 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$	$4,6 \cdot 10^7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	
$m — ?$		

$$\text{Звідси } Q = \frac{A}{\eta} \cdot 100 \% = \frac{N \cdot t}{\eta} \cdot 100 \%.$$

В результаті згоряння m кг бензину виділяється кількість теплоти $Q = m \cdot q$, де q — питома теплота згоряння бензину. З цих виразів випливає: $m \cdot q = \frac{A}{\eta} \cdot 100 \% = \frac{N \cdot t}{\eta} \cdot 100 \%$, звідки маса спаленого бензину $m = \frac{N \cdot t}{q \cdot \eta} \cdot 100 \%$. Час руху автомобіля $t = \frac{s}{v}$, тоді

$$m = \frac{N \cdot s}{q \cdot v \cdot \eta} \cdot 100 \%.$$

$$\text{З умов задачі } m = \frac{6 \cdot 10^4 \frac{\text{Дж}}{\text{с}} \cdot 1 \cdot 10^3 \text{ м} \cdot 100\%}{4,6 \cdot 10^7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot 20 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 30\%} = \frac{6 \cdot 10^4 \cdot 10^5}{4,6 \cdot 10^7 \cdot 6 \cdot 10^2} \text{ кг} =$$

$$= 0,217 \text{ кг.}$$

Відповідь: витрати бензину на 1 км шляху $m = 0,217 \text{ кг}$.



Підсумки

- Газ і пара за розширення можуть виконувати механічну роботу — це використовують у теплових двигунах.
- Будова теплового двигуна повинна відповідати схемі: нагрівач — робоче тіло — охолоджувач.
- Основні види теплових двигунів: парова (газова) турбіни, реактивні двигуни, двигуни внутрішнього згорання.
- ККД (коефіцієнт корисної дії) теплових двигунів знаходиться за формулою $\eta = \frac{A}{Q} \cdot 100\%$, де A — корисна робота, виконана тепловим двигуном в результаті перетворення ним кількості теплоти Q , що виділилася під час згорання палива.
- Теплові двигуни широко застосовують у машинобудуванні і на електростанціях.
- Використання теплових двигунів гостро пов'язане з екологічними проблемами.



Перевір свої знання

- 1*. У тепловому двигуні виділяється 800 Дж енергії, при цьому витрати становлять 480 Дж. Знайди коефіцієнт корисної дії двигуна.
- 2**. Знайди коефіцієнт корисної дії тракторного двигуна, що розвиває потужність 95 кВт і витрачає за 2 год 50 кг дизельного палива ($q_{\text{диз. палива}} = 42 \text{ МДж/кг}$).
- 3**. Знайди коефіцієнт корисної дії парової турбіни потужністю 500 МВт, що за 0,5 год витрачає 87 т дизельного палива.
- 4***. Яку середню потужність розвиває двигун мотоцикла, якщо при швидкості руху 108 км/год витрата бензину складає 3,7 л на 100 км шляху, а коефіцієнт корисної дії 25 %?



Для тих, хто хоче знати більше

У розвиток світової ракетно-космічної й авіаційної науки і техніки свій чималий внесок зробили представники українського народу.



Мал. 80. Ракета в польоті

Реактивні двигуни широко застосовують у літальних апаратах: в ракетах, реактивних літаках. Ракета рухається у просторі завдяки дії реактивного двигуна, у якому сила тяги виникає внаслідок відкидання частини власної маси (робочого тіла) без використання речовини з довкілля. Політ ракети не потребує обов'язкової наявності повітряного середовища, тому він можливий також у космічному просторі. Ракети використовують у космічних, метеорологічних дослідженнях, а також у військовій справі (мал. 80).

Одним із піонерів використання ракет у військових цілях був уродженець Полтавщини генерал-лейтенант **Олександр Дмитрович Засядько** (1779–1837). Розроблені ним військові ракети мали дальність польоту 6 тис. метрів, він підраховував, скільки пороху знадобиться для польоту такої ракети на Місяць, уперше побудував пускову установку для одночасного залпу одразу шістьма ракетами.

Автором першого в світі проекту реактивного літального апарата для польоту людей був уродженець Чернігівщини **Микола Іванович Кибальчич** (1853–1881). Йому належить ідея застосування реактивного двигуна з рухомою камерою згоряння для керування напрямом польоту. Він розробив проект реактивного апарата для космічних перельотів.

Український учений-інженер **Архип Люлька** 1938 року з групою інженерів, якою він керував, сконструював двигун РГД1 (повітряно-реактивний), що вперше дав змогу літаку розвинути швидкість до 900 км/год (надзвукова).



Олександр
Засядько



Микола
Кибальчич



Архип
Люлька



Леонід
Каденюк

Першим космонавтом незалежної України став **Леонід Костянтинович Каденюк** (1951 р. народження). В період з 19 листопада по 5 грудня 1997 року він здійснив космічний політ на американському БТКК «Колумбія». Під час польоту виконував біологічні експерименти спільного українсько-американського дослідження з трьома видами рослин. Крім цього, в космічному польоті виконувалися експерименти Інституту системних досліджень людини за тематикою «Людина і стан невагомості».



Запуск
міжпланетної
космічної станції



Міжпланетна космічна
станція на орбіті
Венери

§ 20. Наноматеріали

**Думки вголос**

Я вивчатиму деякі питання сучасної фізики. Дізнаюся, що таке наноматеріали, нанотехнології.

Розвиток фізики як науки і пізнання матерії тісно пов'язані. Молекулярна будова речовини має багато різноманітних доказів, найяскравішим із яких стали фотографії дискретної будови речовини, зроблені електронними мікроскопами.

Електронні мікроскопи стали першим кроком до наносвіту. За їх допомогою люди побачили окремі атоми в кристалах у вигляді точок, розміри яких — близько 0,17 нм. Префікс «нано» — це 10^{-9} м (від латинського слова *нанус* — карлик). Нано — це мільярдна частинка метра.

Дуже велике значення у нанотехнологіях мають сканувальні зондові мікроскопи, які винайшли німецькі вчені Г. Біннінг і Г. Рорер 1981 року. Цей мікроскоп увесь час удосконалювався. За його допомогою люди навчилися маніпулювати окремими атомами і молекулами. Відтоді настала ера нанотехнологій, а префікс «нано» набув широкого застосування.

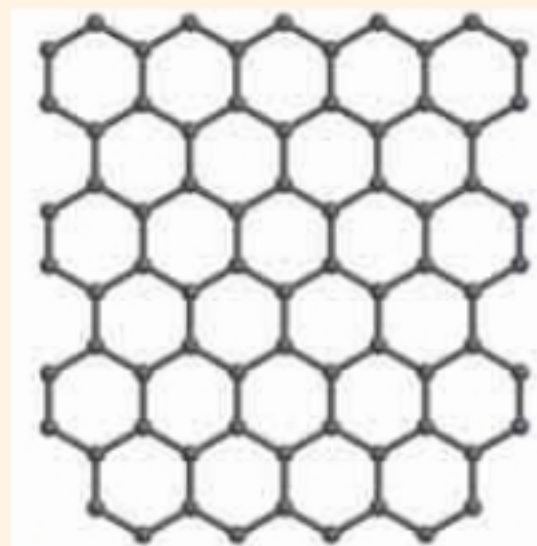
Якщо раніше простір ділився на мега-, макро- і мікросвіт, то тепер цей поділ передбачає і наносвіт, який вивчає об'єкти, менші за 10^{-6} м. Для фізиків наносвіт цікавий тим, що в ньому можна із атомів і молекул створювати речовину з новими фізичними властивостями.

Які ж існують наноматеріали?

Графен — вуглецевий наноматеріал, шар атомів Карбону за-втовшки в один атом, з'єднаних у двовимірні кристалічні ґрати з правильних шестикутників (мал. 81).

Графен — найміцніший серед відомих кристалічних речовин (у 200 разів міцніший за сталь), прозорий (пропускає 97,7 % світла), має високу електричну провідність. Він є ідеальним матеріалом для виробництва мікросхем, може використовуватися як ефективне антикорозійне покриття.

Великий внесок у вивчення графену зробили й українські вчені. Ці дослідження проводять в Інституті теоретичної фізики імені М. М. Боголюбова НАН України (мал. 82).



Мал. 81. Графен



Мал. 82. Інститут теоретичної фізики імені М. М. Боголюбова НАН України



Мал. 83. Нанотрубки

Нанотрубки — згорнута в циліндр графітова площина (мал. 83). Вуглецеві нанотрубки мають механічну міцність у 100 разів більшу, ніж такі самі сталеві конструкції, а густину у 10 разів меншу. Мають дуже добрі електричні властивості. Вуглецеві нанотрубки можна використовувати в наноелектроніці.



А ти знаєш?

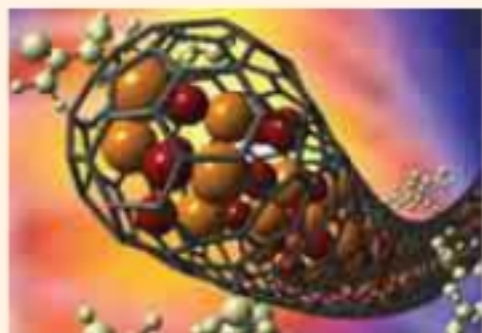
«Трос» з нанотрубок завтовшки з людську волосину здатний утримувати вантаж у сотні кілограмів!

Нанотехнології набувають широкого застосування на практиці:

- нанотехнологи розробили нову тканину, що не промокає навіть під час повного занурення у воду. Цю нанотканину виготовляють із ниток поліестеру, вкритого 40-нанометровим шаром нановолокон. Ця тканина ще й зменшує тертя у воді, що дає можливість виготовляти з неї спортивні купальники;
- в автомобільній галузі створюють лаки і фарби із самоочисним ефектом. Автомобіль Mercedes-Benz (2003 року) — автомобіль, який найлегше мити (мал. 84);
- створюють матеріали, здатні до самоочищення;
- використовують нанодріт, який має високу міцність;
- в медицині нанокапсули можуть доставляти ліки безпосередньо до клітин, які потребують цих препаратів (мал. 85);



Мал. 84. Автомобіль Mercedes-Benz



Мал. 85. Нанокапсули

- створені найчутливіші і найменші терези у світі — нанотерези. Вони утворені з вуглецевої нанотрубки завдовжки 4 мкм. За допомогою нанотерезів можна зважувати навіть бактерії і віруси ($m \approx 10^{-15}$ г).



Підсумки

- Наносвіт — світ об'єктів, менших за 10^{-6} м.
- Сканувальні зондові мікроскопи дають можливість «побачити» атоми, «доторкнутись» до них і перемістити.
- Наноматеріали — речовини з новими властивостями, створені з атомів і молекул.
- Нанотехнології — застосування наноматеріалів у практичних цілях.



Завдання (попрацюйте в групах)

Знайдіть відомості про нові наноматеріали і застосування їх на практиці. Підготуйте повідомлення.



Для тих, хто хоче знати більше

Інститут теоретичної фізики імені М. М. Боголюбова НАН України — провідний український науковий центр з фундаментальних проблем теоретичної, математичної і обчислювальної фізики.

Напрямки наукових досліджень:

- фізика й астрофізика високих енергій;
- квантова космологія;
- теорія ядерних систем;
- квантова теорія поля;
- теорія симетрій;
- наносистеми, плазма.

При інституті працює центр неперервної освіти для старшокласників.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 2

Конспект теоретичного матеріалу

- Залежно від умов, одна і та сама речовина може знаходитись в різних агрегатних станах: твердому, рідкому, газоподібному. Тверді тіла можуть бути кристалічними або аморфними. Перехід кристалічного тіла в рідину називають плавленням, а зворотний процес — кристалізацією. Плавлення і кристалізація відбуваються за незмінних температур.
- Кількість теплоти, необхідна для повного розплавлення 1 кг кристалічної речовини за незмінної температури, називають питомою теплотою плавлення і тверднення — λ ; одиниця питомої теплоти плавлення — **джоуль на кілограм** (1 Дж/кг). Для кристалічного тіла маси m , що плавиться (тверд-

не) за температури плавлення, можна підрахувати потрібну кількість теплоти: $Q = \lambda \cdot m$.

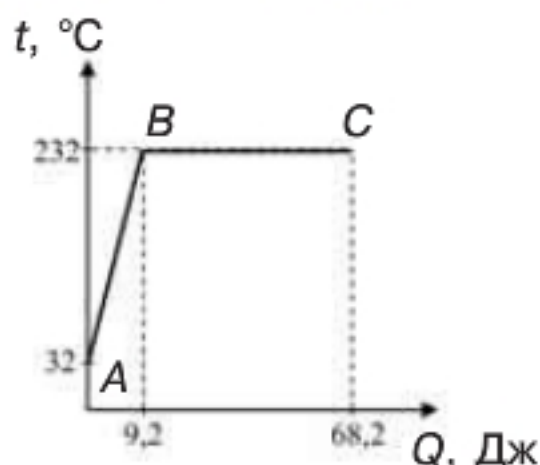
- За згоряння палива виділяється частина його внутрішньої енергії. Ефективність палива характеризується питомою теплотою згоряння палива q , одиниця питомої теплоти згоряння палива **джоуль на кілограм** (1 Дж/кг). Питома теплота згоряння палива чисельно дорівнює кількості теплоти, що виділяється за повного згоряння 1 кг палива. Кількість теплоти, що виділяється за повного згоряння палива масою m : $Q = q \cdot m$.
- Процес переходу рідини в пару називають пароутворенням, зворотний процес — конденсацією. Пароутворення з поверхні рідини — випаровуванням, пароутворення зі всього об'єму рідини — кипінням. Температура кипіння — величина незмінна на весь час кипіння.
- Кожна рідина має питому теплоту пароутворення (конденсації) — L . Кількість теплоти, необхідна для повного пароутворення за температури кипіння рідини, називають питомою теплотою пароутворення. Одиниця питомої теплоти пароутворення джоуль на кілограм (1 Дж/кг). Загальна кількість теплоти, потрібної для перетворення на пару рідини масою m , обчислюють за формулою: $Q = L \cdot m$.
- Газ або пара за розширення можуть виконати механічну роботу. Ця властивість використана в роботі теплових двигунів.

Ефективність теплового двигуна характеризують коефіцієнтом корисної дії η : $\eta = \frac{A}{Q}$, де A — корисна робота, виконана двигуном внаслідок виділення кількості теплоти Q під час згоряння палива.

ВПРАВИ ДО РОЗДІЛУ 2

- 1*. Є два тіла однакової маси і однакової температури, одне зі свинцю, друге зі сталі. Яке з них віддасть більше кількості теплоти за охолодження до однієї і тієї самої температури?
- 2*. Яка питома теплоємність льоду? Що це значить?
- 3*. Із кип'ятку витягли циліндри зі сталі і алюмінію однакової маси і поклали на парафін. Під яким тілом розплавиться більше парафіну?
- 4*. Назви процеси, які потрібно здійснити, щоб розплавити 3 кг льоду, взятого за температури -10°C . Яка кількість теплоти при цьому буде потрібна?
- 5*. Що більше охолодить воду: кусок льоду за 0°C чи вода такої самої маси за 0°C ? Відповідь обґрунтуй.

6*. За графіком залежності температури олова від кількості теплоти, одержаної від нагрівача, дай відповіді на запитання.



- Якому процесу відповідає відрізок AB на малюнку? Відрізок BC ?
 - Яка початкова температура олова?
 - Яка температура плавлення олова?
 - Яка температура олова в кінці плавлення?
 - Яка кількість теплоти пішла на нагрівання до температури плавлення?
 - Яка маса олова?
 - Яка кількість теплоти пішла на плавлення олова?
 - Скільки олова розпавили?
- 7**.** Яка кількість теплоти необхідна для нагріву 10 л води від $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ до кипіння і повного пароутворення?
- 8**.** Яка кількість стоградусної пари потрібна для нагріву 80 л води від $6\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $36\text{ }^{\circ}\text{C}$?
- 9**.** На скільки внутрішня енергія водяної пари масою 0,3 кг, взятої за температури $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, більша за внутрішню енергію такої самої маси води, взятої за температури $20\text{ }^{\circ}\text{C}$?
- 10***.** У посудину з водою, взятою за $t = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$, впустили стоградусну пару масою 1 кг. Через деякий час в посудині встановилась температура $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Скільки води було в посудині? (Теплообмін з навколишнім середовищем не відбувається.)
- 11***.** Двигун внутрішнього згоряння виконав корисну роботу, що дорівнює 29,1 МДж, і використав при цьому бензин масою 3 кг. Обчисли коефіцієнт корисної дії двигуна.
- 12***.** Автомобіль на шляху 100 км витратив 3 кг бензину і виконав при цьому роботу, що дорівнює 5,3 МДж. Який коефіцієнт корисної дії двигуна автомобіля?

Орієнтовні теми навчальних проектів до розділу 2

1. Наноматеріали
2. Холодильні машини
3. Кондиціонери
4. Теплові насоси
5. Роль видатних учених у розвитку знань про теплоту

Розділ

3.

Електричне поле



ЧАСТИНА II. ЕЛЕКТРИЧНІ ЯВИЩА



Що таке електризація?

Чому потрібна сорочка?

Чому кіт іскриться?

Чому в'єднієць може притягувати порошинки?



*Людина освічена тіа, яка знає, де знайти
те, чого вона не знає.*

Георг Зіммель

**Електрична енергія є універсальною:
вона перетворюється в інші види енергії —
механічну, теплову і хімічну. Як саме?
Розглянемо універсальність
електричної енергії.**

- Електричні явища
- Електризація тіл
- Два роди електричних зарядів
- Електроскоп. Провідники і
непровідники електрики
- Подільність електричного заряду
- Елементарний електричний заряд
- Взаємодія заряджених тіл
- Закон Кулона
- Закон збереження електричного заряду
- Електричне поле

§ 21. Електричні явища. Електризація тіл. Два роди електричних зарядів



Думки вголос

Я ознайомлюсь з дослідними доведеннями явища електризації тіл, зможу самостійно пояснювати це явище.

Електричні явища були відомі ще у VII ст. до нашої ери. Люди звернули увагу на те, що потертий вовною бурштин притягує до себе легкі предмети, наприклад сухі травинки. Тому слово «електрика» походить від грецької назви бурштину — «електрон». Явище притягання тіл бурштином назвали *електризацією*, а тіла — наелектризованими або ті, що набувають електричного заряду. В Україні бурштин видобувають в лісах із хвойними деревами в Черкаській, Житомирській і Рівненській областях. Після механічної обробки природний бурштин використовують в ювелірній справі (мал. 86).

Розглянемо приклади електризації тіл, які ми бачимо в побуті:

- якщо провести гребінцем по сухому волоссю, то гребінець і волосся наелектризуються (мал. 87);
- знімаючи в суху погоду нейлонову сорочку, чуємо характерне потріскування і у темряві бачимо іскринки;
- якщо волосся голови потерти повітряною кулькою, вона притягатиме легкі порошинки.

Явище електризації тіл вивчають дослідно. Розглянемо наочні досліди з ебонітовими і скляними паличками.

Дослід 1. Якщо наелектризувати (натерти вовною) ебонітову паличку, підвішену на нитці, і піднести до неї таку саму наелектризовану паличку, то вони відштовхнуться, оскільки отримали заряд однакового роду.



Мал. 86. Бурштин



Мал. 87. Наелектризоване волосся

Висновок. Заряди одного роду взаємно відштовхуються.

Дослід 2. Дві скляні палички, натерті шовком, відштовхуються.

Дослід 3. Якщо до ебонітової палички, підвішеної на нитці і натертої вовною, піднести скляну паличку, натерту шовком, вони притягнуться одна до одної. Отже, заряд, отриманий на склі, натертому шовком, іншого роду, ніж на ебоніті, натертому вовною.

Висновок. Існує інший рід електричних зарядів.

Спостереження в таких дослідах показують, що тіла, наелектризовані однаково, *відштовхуються*, а наелектризовані по-різному — *притягуються*. Можна припустити, що заряди, яких набуває ебонітова паличка, натерта вовною, і скляна паличка, натерта шовком, різні. Їх умовно поділили на позитивний і негативний.

Прийнято вважати, що заряд, якого набула скляна паличка, — позитивний, а ебонітова — негативний. Завжди електризуються обидва тіла що концентрують, вони набувають зарядів, протилежних за знаком. Отже, в природі існує два роди зарядів: *позитивний* $+q$ (або q), *негативний* $-q$.



А ти знаєш?

Ще в 1733 р. французький учений Шарль Франсуа Дюфе виявив, що існують два роди електрики — «скляна» і «смоляна». Уявлення про позитивний і негативний заряди увів у 1747 р. Б. Франклін. Досліди показали, що тіла з однаковим електричним зарядом взаємно відштовхуються, а тіла з протилежними електричними зарядами взаємно притягуються.

Проведемо інші досліди.

Дослід 4. Якщо зробити з металевої фольги гільзу, підвісити її на нитці і піднести до гільзи наелектризоване тіло (натерту повітряну кульку, пластмасову натерту лінійку тощо), то побачимо, що гільза притягується до тіла.

Дослід 5. Візьмемо обкладинку для зошита. Виріжемо з неї дві смужки, з'єднаємо їх і розгладимо декілька разів пальцями. Потім візьмемо ці смужки в різні руки і піднесемо одна до одної (пояснюємо явище відштовхування наелектризованих смужок).

Висновок. *Електризація* — це здійснення над тілами такої роботи, після якої вони набувають електричних зарядів і власності взаємодіяти одне з одним. У тому випадку, коли тіло не намагнічене, але притягує інші тіла, кажуть, що воно наелектризоване або заряджене.

Електричний заряд — це характеристика заряджених частинок і тіл вступати в електромагнітну взаємодію.



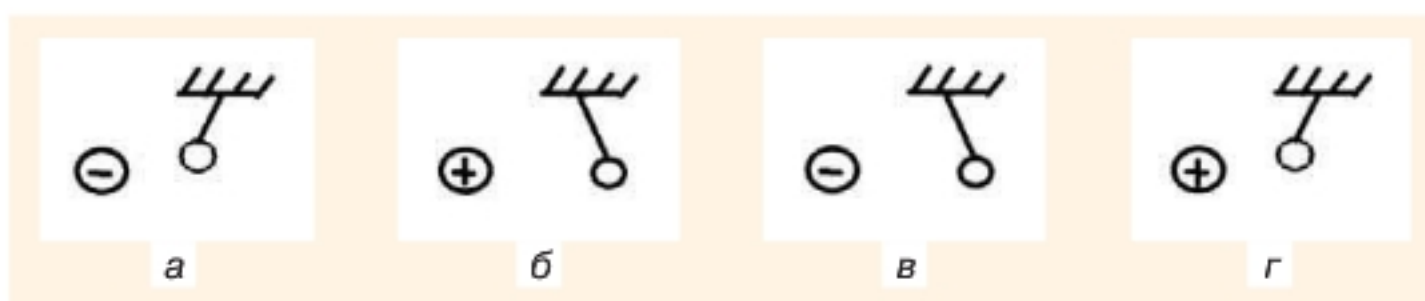
Підсумки

- Явище, у результаті якого тіла після контакту одне з одним отримують властивість притягувати інші тіла, називають електризацією тіл.
- За електризації тіла отримують електричний заряд.
- Електричні заряди бувають двох родів: позитивний і негативний.
- Електричні заряди взаємодіють один з одним — притягуються або відштовхуються. Однойменні заряди відштовхуються, а різноіменні — притягуються.
- Електризацію тіл можна вивчати дослідним шляхом.

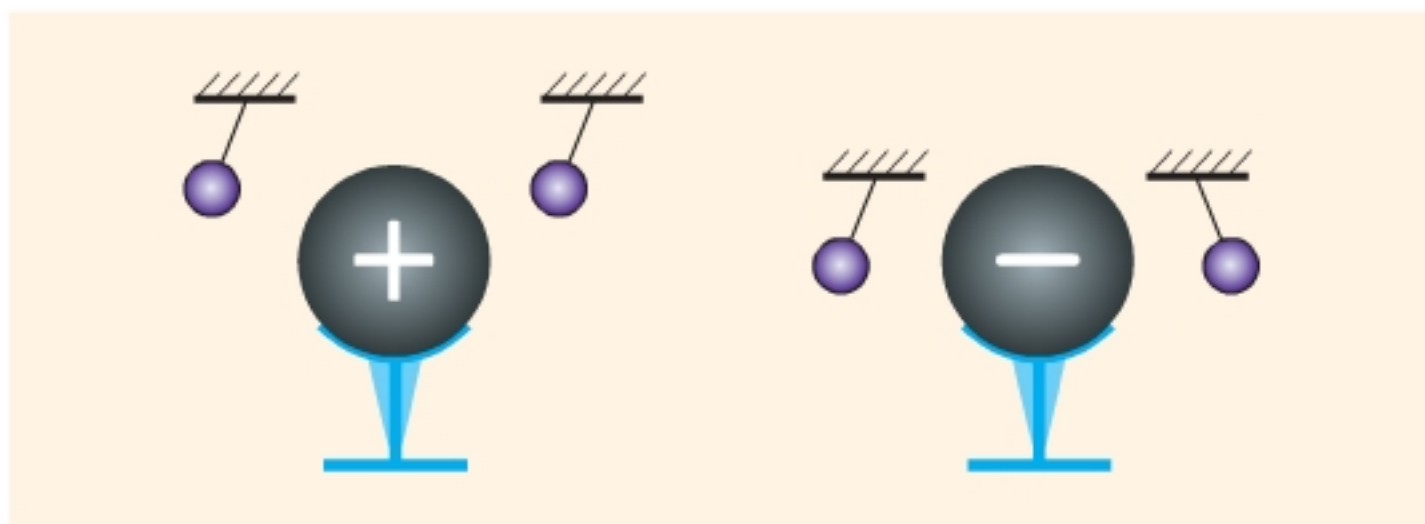


Завдання

1*. Який знак мають заряди зображених кульок?



2*. Визнач знак заряду кульок, підвішених на нитках.



- 3**. Чи може одне і те саме тіло під час тертя електризуватися то негативно, то позитивно?
- 4***. Чому тканина й ебонітова паличка наелектризуються сильніше, якщо їх потерти одна об одну, а не просто доторкнутися?
- 5***. Голка, що висить на нитці, буде притягуватися до зарядженої ебонітової палички. Чому ця сама голка, якщо її покласти на воду, відштовхуватиметься від зарядженої ебонітової палички?
- 6***. Чи можна наелектризувати ебонітову паличку тертям об ебонітову пластинку?
- 7***. Дві гільзи, підвішені на шовкових нитках, притягнулися одна до одної і після контакту відштовхнулися одна від одної. Поясни це явище.

§ 22. Електроскоп.

Провідники і непровідники електрики



Думки вголос

Я вивчу будову і дію приладу для проведення дослідів з електризації тіл. Зможу назвати речовини, які є провідниками і непровідниками електрики.

Для вивчення явища електризації тіл існує прилад, який називають *електроскоп* (мал. 88):

1. Металевий корпус.
2. Скло.
3. Металевий стрижень з кулькою на кінці.
4. Паперові смужки.
5. Ізолятор.

Чим більший заряд передається стрижню електроскопа, тим на більший кут розійдуться смужки (однойменні заряди відштовхуються). За кутом розходження смужок можна дізнатися, збільшився чи зменшився заряд.

Інший вид подібного приладу називається *електрометр* (мал. 89). У ньому смужки замінені металевою стрілкою, на склі є шкала з поділками, корпус металевий. За шкалою можна судити про величину електричного заряду.

Якщо до зарядженого електроскопа чи електрометра доторкнутися рукою, електричні заряди від електроскопа перейдуть на тіло людини, потім у землю — і електроскоп розрядиться. Отже, заряджене тіло розряджається, якщо його з'єднати з землею металевим дротом. Але якщо заряджене тіло з'єднати з землею скляною або ебонітовою паличкою, то розрядження не відбудеться.

Висновок. За властивістю проводити електричні заряди речовини умовно поділяють на *провідники і непровідники* (діелектрики або ізолятори) електрики.

Провідники електрики: всі метали, земля, водні розчини солей і кислот, тіло людини, розплави металів і деяких солей.

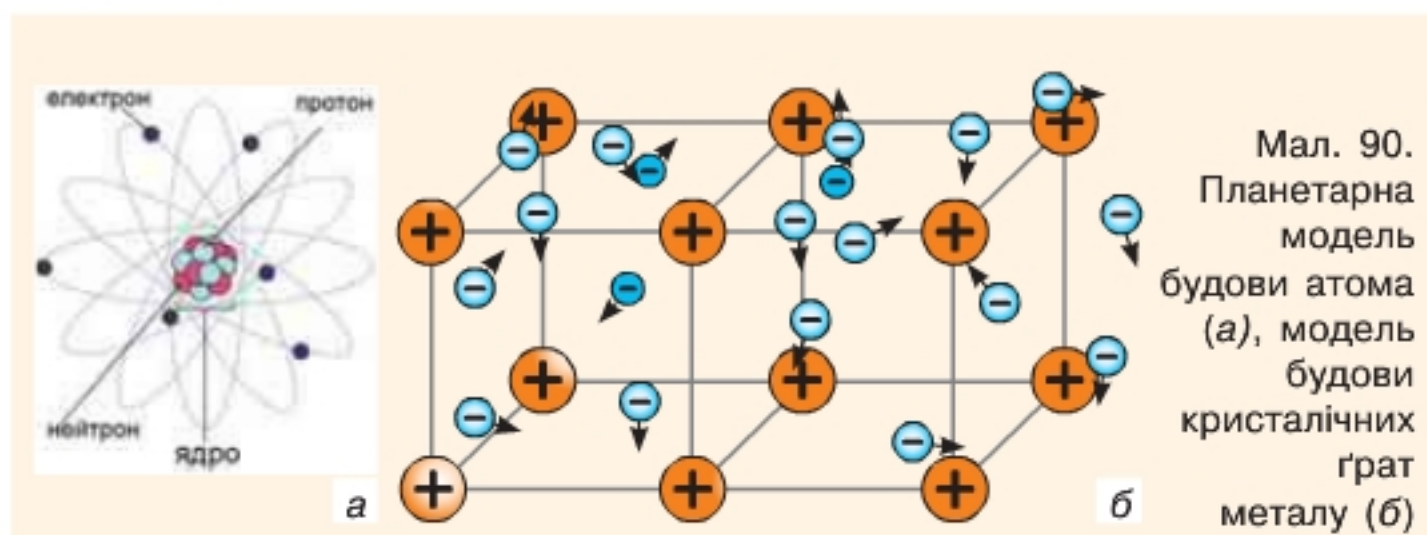
Непровідники електрики (діелектрики або ізолятори): гума, скло, ебоніт, фарфор, шовк, капрон, пластмаса, повітря.



Мал. 88. Шкільний електроскоп



Мал. 89. Електрометр



Більшість речовин у природі не є абсолютними провідниками або ізоляторами. Серед них є велика група речовин, які мають дуже важливі для науки і техніки властивості, їх називають *напівпровідниками* (кремній, германій, індій тощо).

Пояснення різної провідності електрики дають знання про будову атома (мал. 90, а, б). Ми знаємо, що до складу атома входять позитивно заряджені частинки — протони (у складі ядра) і негативно заряджені частинки — електрони. За звичайних умов в тілі кількість протонів і електронів однакова, тому сумарний заряд тіла дорівнює нулю.

У провідниках є велика кількість вільних заряджених частинок, які хаотично рухаються в тілі і за певних умов можуть рухатись спрямовано (у металах це вільні електрони).

У діелектриках (ізоляторах) електрони міцно зв'язані зі своїми атомами і не можуть вільно рухатись.



Підсумки

- Явище електризації тіл можна досліджувати за допомогою електроскопа і електрометра.
- Речовини за властивістю проводити електрику поділяють на провідники і діелектрики.
- У металах є вільні електрони. Цим пояснюється їх електропровідність.



Перевір свої знання

- 1*. Як показати на досліді, що одні тіла є провідниками, а інші — ні?
- 2*. Чому електроскоп розряджається, якщо до кульки стрижня доторкнутися пальцем?
- 3**. Чому стрижень електрометра роблять металічним?
- 4**. Чому ізольований заряджений електроскоп з часом розряджається?
- 5***. Для чого до корпусу автоцистерни, яка перевозить паливо, прикріплюють ланцюг, частина якого має тягнутися поверхнею землі?
- 6***. Є два заряджені електроскопи. Визнач, однойменно чи різнойменно вони заряджені, маючи металеву дrottину і пластмасову лінійку.

§ 23. Подільність електричного заряду. Елементарний електричний заряд



Думки вголос

За допомогою електрометрів я проведу досліди, щоб переконатися в подільності електричного заряду. Дізнаюсь про існування елементарного електричного заряду.

Електрометри дозволяють провести досліди, які дають відповіді на багато запитань, пов'язаних з електричними явищами.

- Як пояснити електризацію тіл?
- Чому при дотиканні двох тіл одне до одного виникають заряди протилежних знаків?
- Чи можна заряд розділити?

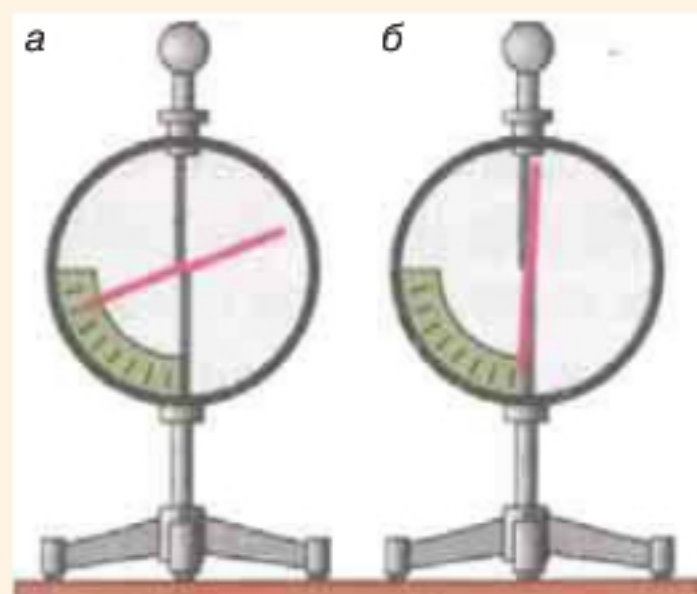
Щоб дати відповіді на ці запитання, проведемо досліди.

Дослід 1. Візьмемо два електрометри і металевий стрижень з ручкою із діелектрика. Зарядимо один електрометр, а металевий стрижень з'єднаємо з другим незарядженим електрометром.

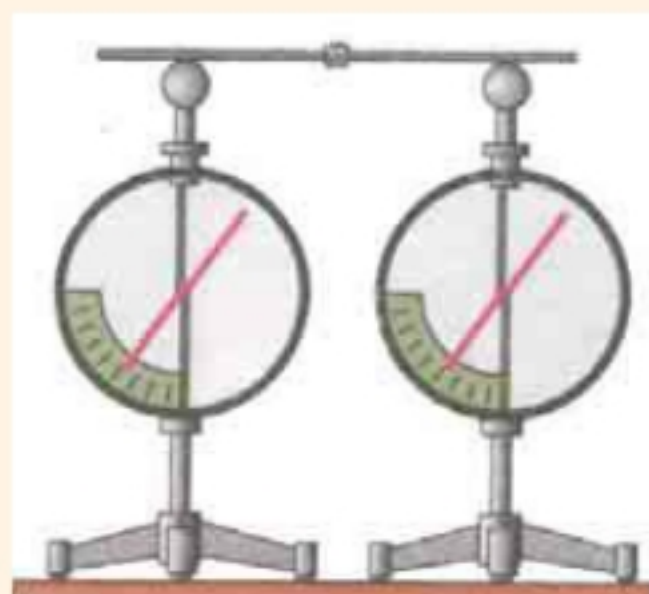
а) До з'єднання перший електрометр заряджений, за поділками зафіксуємо величину заряду. Другий електрометр незаряджений (мал. 91).

б) Після з'єднання металевим стрижнем заряд розподілився на два електрометри (мал. 92).

Дослід можна продовжити і побачити, що початковий заряд першого електрометра знову можна розділити на дві частини (якщо у другого електрометра рукою забрати заряд і приєднати до першого електрометра).



Мал. 91. Електрометри:
а — заряджений; б — незаряджений



Мал. 92. Заряд розподілився
на два електрометри

Отже, можна зробити висновок: якщо продовжувати дослід, то можна отримати $\frac{1}{2}$; $\frac{1}{4}$; $\frac{1}{8}$ і т. д. частину початкового заряду — *заряд може ділитися на частини.*

Електричний заряд — фізична величина, що визначає електричну взаємодію (притягання, відштовхування) заряджених частинок.

Фізики позначають електричний заряд буквою q і вимірюють його одиницею, яку на честь французького фізика Кулона названо *кулон* (1 Кл).



А ти знаєш?

Шарль Огюстен Кулон (1736–1806) — французький військовий інженер і вчений-фізик, дослідник електромагнітних і механічних явищ, член Паризької Академії наук. Його ім'ям названо одиницю електричного заряду і закон взаємодії електричних зарядів.



Шарль Кулон

Чи є межа поділу електричного заряду? Наскільки безмежний процес поділу?

Щоб дати відповіді на ці запитання, фізики провели більш складні і точні дослідження (досліди Р. Міллікена та А. Іоффе) і відкрили частинку, яка має найменший електричний заряд. Цю частинку назвали *електрон*. Американський фізик Р. Міллікен встановив заряд електрона ($-1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл). Електричний заряд — це одна з найважливіших властивостей електрона.



Роберт Міллікен



А ти знаєш?

Роберт Ендрюс Міллікен (1868–1953) — американський фізик, займався дослідженням властивостей електрона. Перший у світі виміряв значення заряду електрона, вивчав явища фотоефекту, ультрафіолетове випромінювання, космічне випромінювання, будову атома.

Міллікен отримав Нобелівську премію з фізики 1923 року за вимірювання заряду електрона та працю з дослідження фотоефекту.

Абрам Федорович Іоффе (1880–1960) — видатний фізик (народився в Ромнах Полтавської губернії), організатор науки, названий «батьком вітчизняної фізики», академік, творець наукової школи.



Абрам Іоффе

Згодом було визначено масу електрона $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг. Заряд електрона прийнято називати *елементарним зарядом*. Тепер ми можемо пояснити ряд електричних явищ.

- Електризацію тіл пояснюють переходом електронів із тіла, яке утримує їх слабкіше, у тіло, де електрони утримуються сильніше.
- При дотиканні двох тіл виникають електричні заряди протилежних знаків. Тіло, яке втратило електрони, зарядиться позитивно (у нього нестача електронів), інше тіло зарядиться негативно (у нього надлишок електронів).



Підсумки

- Електричний заряд тіла може ділитися.
- Найменший електричний заряд — заряд електрона.
- Електрон — елементарна частинка, яка має від'ємний заряд $-1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл і масу $9,1 \cdot 10^{-31}$ кг.
- Електричний заряд — фізична величина, яка є властивістю елементарних частинок, позначається буквою q , вимірюється в кулонах.



Перевір свої знання

Розв'яжи усно

1. Притягнуться чи відштовхнуться дві ебонітові налички, натерті шерстю? Відповідь обґрунтуй.
2. На шовковій нитці висить мідна кулька, заряджена негативно. Як зміниться її заряд після заземлення?
3. Вода із посудини витікає тонким струменем. Якщо воду в посудині зарядити від електрофорної машини, то струмінь розбризкуватиметься. Поясніть це явище.
- 4*. Чому в дослідах з електрометрами металевий дріт повинен мати керамічну ручку?
- 5*. Крапля масла, яка має заряд $+q$, розбилася на дві рівні частини. Який заряд кожної із утворених крапель?
- 6*. Є два електроскопи, один із яких має заряд. Яким стрижнем потрібно з'єднати електроскопи, щоб вони обидва були заряджені?
- 7*. Якщо скляною паличкою провести по металевому стрижню електроскопа, то електроскоп покаже заряд. Звідки він з'явився?



Завдання

- 1**. Дві краплі масла однакової маси, які мають відповідно заряди $+2q$ і $-q$, з'єднались. Який буде заряд утвореної краплі?
- 2***. На нейтральну кульку перейшло 2000 електронів. Який заряд став у кульки? На скільки змінилась її маса?
- 3***. Нейтральна кулька віддала 5000 електронів. Який заряд став у цієї кульки? На скільки змінилась її маса?

§ 24. Взаємодія заряджених тіл. Електричне поле. Закон Кулона



Думки вголос

Я буду знати основний закон взаємодії заряджених тіл, зможу його застосовувати для розв'язування задач.

Фізика — наука експериментальна. Якщо проводити досліди взаємодії заряджених тіл у вакуумі, то результат буде такий самий, як і в повітрі. Видатні вчені М. Фарадей і Д. Максвелл встановили, що в просторі навколо заряджених тіл (або заряджених частинок) існує *електричне поле*.



А ти знаєш?

Майкл Фарадей (1791–1867) — англійський фізик і хімік, засновник вчення про електромагнітне поле, член Лондонського королівського товариства. Він відіграв визначну роль у розвитку вчення про електромагнітні явища. Був одним із найвпливовіших вчених в історії науки.

Джеймс Клерк Максвелл (1831–1879) — шотландський вчений, який створив теорію електромагнітного поля і на її підставі зробив висновок, що змінні електричне і магнітне поля тісно пов'язані одне з одним. Вони утворюють єдине електромагнітне поле, яке поширюється у вигляді електромагнітних хвиль зі швидкістю світла. Ґрунтуючись на зв'язку електричних, магнітних та світлових явищ, Максвелл розробив теорію світла і таким чином об'єднав в єдине ціле раніше розрізнені галузі електрики, магнетизму і оптики. Крім цього, Максвеллу належать великі відкриття і в інших галузях фізики, зокрема в молекулярно-кінетичній теорії газів.



Майкл
Фарадей



Джеймс
Максвелл

Електричне поле — особливий вид матерії, на відміну від речовини. Воно виникає навколо будь-якого зарядженого тіла.

Речовину можна виявити за допомогою органів чуття: на дотик, на смак, на слух, а електричне поле не виявляється органами чуття, воно проявляє себе в різних діях. Електричне поле невидиме, але його можна вивчити за допомогою дослідів. Продемонструємо це.

Дослід 1. Підвісимо на нитці заряджену станіолеву гільзу і піднесемо на відстані заряджену паличку. Взаємодія між зарядженими тілами — гільзою і паличкою — буде тим сильнішою, чим меншою є відстань між ними.

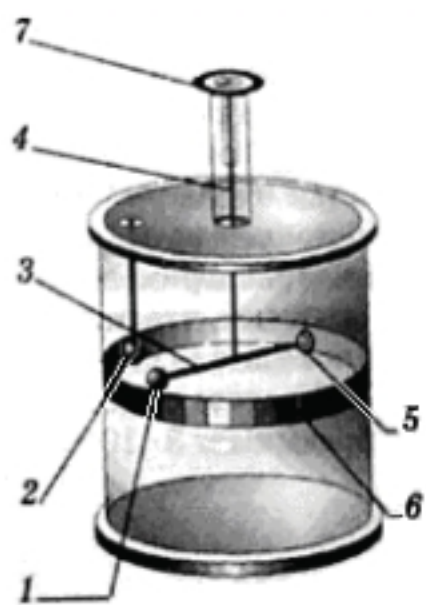
Висновок. Електричне поле сильніше біля зарядженого тіла, а при віддаленні від нього електричне поле слабшає. Отже, електричне поле залежить від відстані до зарядженого тіла.

Дослід 2. Два електрометри зарядили різними за величиною зарядами — їх стрілки відхилилися на різну кількість поділок. Піднесемо до стрижнів електрометрів незаряджену гільзу на нитці, не торкаючись стрижня. Побачимо, що навколо кульки електрометра з більшим зарядом електричне поле сильніше, а навколо кульки електрометра з меншим зарядом електричне поле слабше.

Висновок. Електричне поле залежить від величини електричного заряду: чим більший електричний заряд, тим сильніше електричне поле навколо нього.

Отже, на будь-яке заряджене тіло або заряджену частинку, внесену в електричне поле, діє електрична сила.

Дослідження відомого французького вченого Кулона привели до відкриття закону, за яким можна визначити величину електричної сили. Кулон провів велику кількість дослідів із взаємодії заряджених тіл за допомогою сконструйованого ним приладу. Цей прилад називався *крутильні терези* (мал. 93). У банці було розміщено легке коромисло, що могло обертатися навколо осі. На краю коромисла була прикріплена легка кулька (Кулон брав сухі ягоди бузини). Через отвір в банку на стрижні фізик опускав іншу кульку. Кульки електризувалися тертям, а за кутом закру-



Мал. 93. Крутильні терези Кулона:
 1 — маленька тонка незаряджена кулька;
 2 — нерухома заряджена кулька;
 3 — ізолюючий стрижень (коромисло);
 4 — пружна тонка срібна нитка;
 5 — урівноважуючий паперовий диск;
 6 — зовнішня шкала кута повороту;
 7 — шкала відстані між кулями

чування осі обертання Кулон оцінював електричну силу взаємодії між кульками.

При збільшенні відстані між зарядженими тілами (кульками) в 2 рази електрична сила їх взаємодії зменшилася в 4 рази. Якщо відстань між зарядженими тілами збільшити в 3 рази, то сила взаємодії зменшиться 9 разів і т. д.

Кулон зробив висновок, що сила взаємодії заряджених тіл обернено пропорційно залежить від квадрату відстані між ними і $F \sim \frac{1}{r^2}$, де r — відстань між зарядженими тілами дуже маленьких розмірів (точкові заряди).

Було доведено, що сила взаємодії заряджених тіл прямо пропорційна величинам цих зарядів: $F \sim q_1 \cdot q_2$, де q_1 — заряд одного тіла, q_2 — заряд другого тіла.

Після об'єднання всіх дослідних висновків Кулон встановив один із найважливіших законів електрики, цей закон назвали його ім'ям.

Сила взаємодії заряджених тіл, розмірами яких можна знехтувати, порівняно з відстанню між ними (точкові заряди), прямо пропорційна добутку значень цих зарядів і обернено пропорційна квадрату відстані між ними. Математично закон Кулона записують так:

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

де $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$ — коефіцієнт пропорційності, який чисельно дорівнює електричній силі ($9 \cdot 10^9 \text{ Н}$), що виникає під час взаємодії тіл малих розмірів із зарядами, по 1 Кл кожний, на відстані 1 м один від одного.

Різноманітні заряджені тіла і частинки притягуються, а одноіменно заряджені — відштовхуються. Закон Кулона дає можливість вирахувати модуль сили такої електростатичної взаємодії: у формулу закону входять значення модулів зарядів, тобто без врахування знаків. Для зручності математичні знаки модулів можна не писати.

Приклад розв'язування задач. З якою силою взаємодіють у вакуумі два точкові заряди по 10 нКл, що перебувають на відстані 3 см один від одного?

Дано:

$$q_1 = 10 \text{ нКл}$$

$$q_2 = 10 \text{ нКл}$$

$$r = 3 \text{ см}$$

$$F = ?$$

Розв'язання

Точкові заряди — це заряди, розмірами яких можна знехтувати порівняно з відстанню, на яких вони знаходяться. Переведемо фізичні величини в систему СІ:

$$3 \text{ см} = 0,03 \text{ м}$$

$$10 \text{ нКл} = 10 \cdot 10^{-9} \text{ Кл} = 1 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$$

Згідно із законом Кулона: $F = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$.

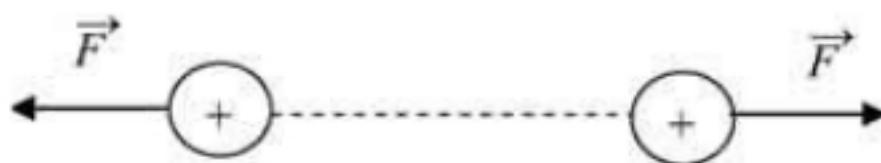
Одержимо:

$$F = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2} \cdot \frac{9 \cdot 10^9 \text{ Кл} \cdot 1 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}}{(0,03)^2 \text{ м}^2} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Н}.$$

$$\frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{Кл} \cdot \text{Кл}}{\text{Кл}^2 \cdot \text{м}^2} = \text{Н}.$$

$$F = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Н} = 1 \text{ мН}.$$

Відповідь: Заряди взаємодіють із силою 1 мН. Якщо ми знаємо знаки зарядів («+» чи «-»), то ми можемо зобразити взаємодію тіл графічно:



Ці тіла відштовхуються, оскільки вони однойменні.



Підсумки

- Навколо всіх заряджених тіл або частинок існує електричне поле.
- Електрична сила взаємодії точкових заряджених тіл або частинок прямо пропорційна величинам зарядів обох тіл і обернено пропорційна квадрату відстані між ними. Вона завжди напрямлена вздовж прямої, яка з'єднує ці заряди (електрична сила притягання або відштовхування). Цей закон називають законом Кулона.
- Формула закону Кулона $F = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$.



Перевір свої знання

- 1*. Як зміниться сила взаємодії між точковими зарядами, якщо відстань між ними збільшити у 5 разів? Зменшити у 6 разів?
- 2*. Як зміниться сила взаємодії між точковими зарядами, якщо величину кожного з них збільшити у 3 рази? Зменшити у 4 рази?
- 3**. Користуючись законом Кулона, заповни таблицю.

$F, \text{ Н}$	$q_1, \text{ Кл}$	$q_2, \text{ Кл}$	$r, \text{ м}$
$2 \cdot 10^{-5}$?	$5 \cdot 10^{-9}$	0,2
$8 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-8}$?	0,1
$8 \cdot 10^{-5}$	$4 \cdot 10^{-8}$	$5 \cdot 10^{-9}$?
?	$2 \cdot 10^{-8}$	$5 \cdot 10^{-9}$	0,2

- 4***. Дві кульки, розташовані на відстані 10 см одна від одної, мають однакові негативні заряди і взаємодіють із силою 0,23 мН. Знайди число надлишкових електронів на кожній кульці.

§ 25. Закон збереження електричного заряду



Думки вголос

Я вивчу дуже важливий закон — закон збереження електричного заряду. Буду його використовувати для розв'язування задач і пояснення електричних явищ.

За допомогою математичної формули закону Кулона можна розв'язувати фізичні задачі.

Задача. Дві однакові кульки із зарядами 40 нКл і -10 нКл знаходяться на відстані 10 см одна від одної. Кульки з'єднали і розвели на попередню відстань. Як змінилася сила взаємодії між зарядженими кульками?

Дано:

$$q_1 = 40 \text{ нКл}$$

$$q_2 = -10 \text{ нКл}$$

$$r = 10 \text{ см}$$

$$F_1 = ? \quad F_2 = ?$$

$$\frac{F_1}{F_2} = ?$$

$$F_2$$

Розв'язання

Переведемо фізичні величини в систему СІ:

$$q_1 = 4 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}; \quad q_2 = -1 \cdot 10^{-8} \text{ Кл};$$

$$r = 0,1 \text{ м}$$

Знайдемо силу взаємодії (притягання) між зарядженими кульками до їх дотику:

$$F_1 = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}.$$

$$F_1 = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{4 \cdot 10^{-8} \cdot 1 \cdot 10^{-8}}{(0,1)^2} = 3,6 \cdot 10^{-6} \text{ (Н)}.$$

$$\frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{Кл} \cdot \text{Кл}}{\text{Кл}^2 \cdot \text{м}^2} = \text{Н}.$$

З'єднаємо заряджені кульки — відбудеться нейтралізація зарядів: -10 нКл і +10 нКл, а залишений заряд +30 нКл розділиться порівну між кульками:

$$q_1' = q_2' = 15 \text{ нКл} = 1,5 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}.$$

Знайдемо силу взаємодії між кульками після їх дотику:

$$F_2 = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{1,5 \cdot 10^{-8} \cdot 1,5 \cdot 10^{-8}}{(0,1)^2} = 2,025 \cdot 10^{-6} \text{ Н}.$$

$$\frac{F_1}{F_2} \approx 1,8.$$

Відповідь: Сила взаємодії кульок до дотику була $F_1 = 3,6 \cdot 10^{-6} \text{ Н}$, після дотику $F_2 = 2,025 \cdot 10^{-6} \text{ Н}$. Значить, сила взаємодії зменшилася в 1,8 рази.

При розв'язуванні цієї задачі було розглянуто процес перерозподілу електричних зарядів. Електрони з однієї кульки при

дотику з іншою перейшли на іншу кульку. У таких задачах використовують закон збереження електричних зарядів.

Закон говорить, що заряди не створюються і не зникають, вони лише перерозподіляються між тілами або частинами одного і того самого тіла.

Закон збереження електричного заряду формулюється так:

Алгебраїчна сума зарядів усіх тіл ізольованої системи залишається незмінною (сталою).

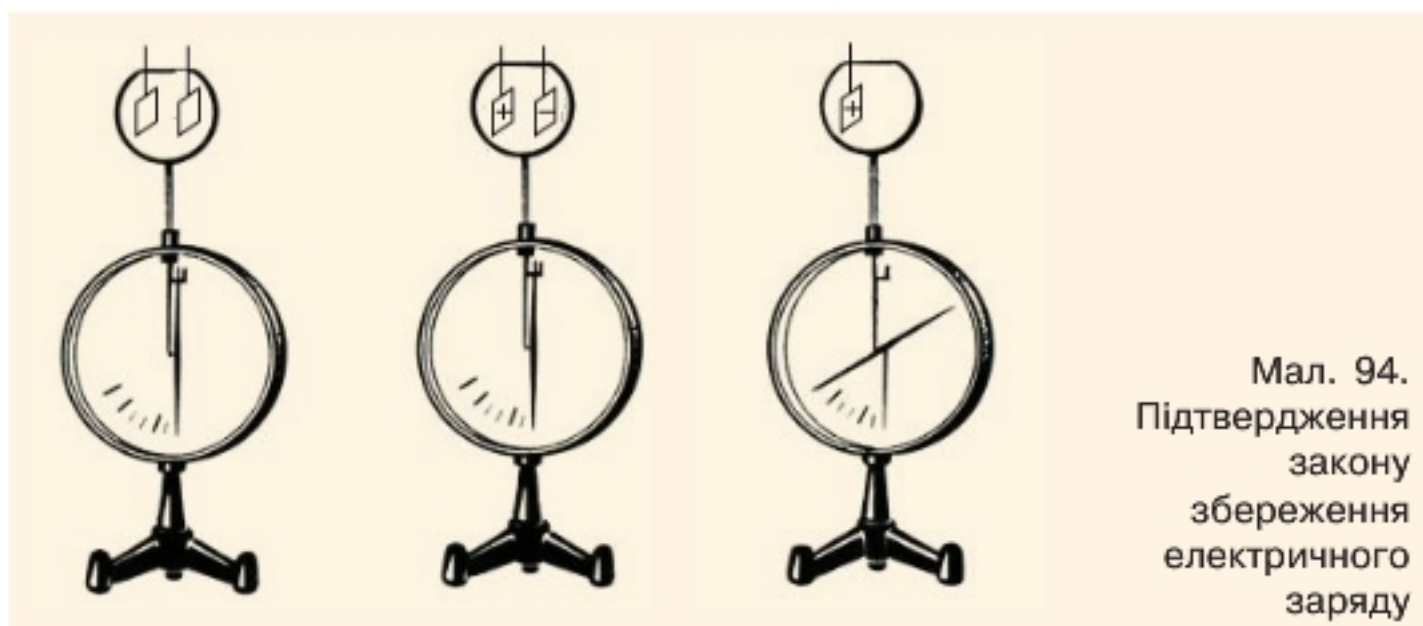
$$q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n = \text{const},$$

де const — стала величина; q_1, q_2, q_3, q_n — заряди тіл.

Приклад. Ебонітова паличка і вовна до контакту не мали електричних зарядів, а під час тертя паличка отримала негативний заряд, а вовна — позитивний. За величиною ці заряди однакові, а за знаком — протилежні («+» і «-»). Таким чином, алгебраїчна сума зарядів палички і вовни не змінилася, вона дорівнює нулю.

Закон збереження електричного заряду можна підтвердити дослідним шляхом. Візьмемо дві незаряджені пластинки (ебоніт і скло) на ізольованих ручках, внесемо їх у глибину металевої порожнистої кулі, яку, встановлено на стрижень електрометра (мал. 94). Стрілка електрометра не відхилилась — заряду на пластинках немає. Наелектризуємо пластини і опустимо в кулю електрометра. Знову ми не виявляємо відхилення стрілки електрометра — сумарний електричний заряд дорівнює нулю. Перевірити наявність заряду на кожній пластині можна, по черзі витягнувши їх із кулі.

Закон збереження електричних зарядів діє в різноманітних перетвореннях елементарних частинок одна в одну. За «народження» нові елементарні частинки обов'язково виникають парами з однаковими за величиною і протилежними за знаком зарядами.



Мал. 94.
Підтвердження
закону
збереження
електричного
заряду

**Підсумки**

- Закон збереження електричного заряду належить до фундаментальних законів природи.
- Для ізольованої системи алгебраїчна сума електричних зарядів залишається незмінною.
- Закон збереження електричних зарядів можна підтвердити дослідним шляхом.

**Завдання**

- 1*. Скільки електронів у процесі електризації шовком скляної палички перейшло в шовк, якщо заряд палички став дорівнювати $4,8 \cdot 10^{-9}$ Кл?
2. Електричні заряди $q_1 = 2 \cdot 10^{-9}$ Кл і $q_2 = 4 \cdot 10^{-8}$ Кл розташовані у вакуумі на відстані 2 см.
 - ** а) З якою силою взаємодіють ці заряди?
 - *** б) Чи зміниться сила взаємодії між зарядами, якщо їх спочатку з'єднати, а потім розвести на попередню відстань (2 см)? Знайди силу взаємодії між зарядами до і після дотику.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 3**Конспект теоретичного матеріалу**

- За контакту двох тіл можливе явище електризації, в результаті якого тіла можуть притягувати до себе інші легші тіла.
- За електризації електричний заряд отримують обидва тіла: одне — негативний заряд, а друге — позитивний.
- Електричний заряд — це фізична величина, яка визначає інтенсивність електричної взаємодії: притягувати або відштовхувати від себе інші заряди. Електричний заряд позначається буквою q . Одиниця електричного заряду *кулон* (1 Кл).
- Однойменні заряди відштовхуються, а протилежні заряди притягуються.
- Електризацію тіл можна вивчати дослідно за допомогою електроскопа та електрометра.
- Речовини, які проводять електричні заряди, називають провідниками електрики, а речовини, які не проводять електричні заряди, — ізоляторами (діелектриками).
- Електричний заряд тіла може ділитися. Межа подільності електричного заряду — елементарний заряд, який має елементарна частинка, що входить до складу атома; називається електрон. Величина заряду електрона: $q = -1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.
- Простір навколо електричного заряду — електричне поле. Електричне поле — особливий вид матерії, який не виявляється органами чуття, а може бути вивчений за допомогою дослідів.

- На будь-який заряд, внесений в електричне поле, діє електрична сила. Якщо два заряди взаємодіють між собою (відштовхуються або притягуються), то це значить, що вони взаємодіють через електричне поле.
- Величина електричної сили, з якою взаємодіють два заряди, визначається за законом Кулона. Закон Кулона був відкритий експериментально. Він математично записується так: $F = k \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$.
- Закон збереження електричного заряду належить до важливих законів природи:

$$q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n = \text{const.}$$

Алгебраїчна сума зарядів усіх тіл ізольованої системи є величиною незмінною.

ВПРАВИ ДО РОЗДІЛУ 3

- 1*. Є заряджений електроскоп. Як визначити знак його заряду? Які додаткові предмети потрібні для цього?
- 2*. Є скляна паличка і шовкова тканина. Що потрібно зробити, щоб ними позитивно зарядити електроскоп? А негативно?
- 3*. Чому порошинки і нитки липнуть до одягу, коли його чистиш щіткою?
- 4**. Металевій кульці надали позитивного заряду. Що відбулося з масою цієї кульки?
- 5**. Якщо покласти на стіл дрібні клптики паперу і піднести до них наелектризований предмет, то клптики спочатку притягнуться до предмета, а потім відштовхнуться. Чому?
- 6**. Проведи дослід: підвісь гребінець на шовковій нитці. Наелектризуй його тертям вовняною тканиною. Піднеси до гребінця руку — гребінець рухатиметься за рукою. Чому?
- 7***. На якій відстані один від одного заряди 1 мкКл і 10 нКл взаємодіють із силою 9 мН?
- 8***. У скільки разів треба змінити відстань між зарядами при збільшенні одного з них у 4 рази, щоб сила взаємодії залишилася незмінною?
- 9***. Дві кульки розташовані на відстані 10 см одна від одної. Вони мають однакові негативні заряди і взаємодіють із силою 0,23 мН. Знайди число надлишкових електронів на кожній кульці.

Орієнтовні теми навчальних проєктів до розділу 3

1. Електростатична індукція
2. Електростатичний захист
3. Електричне поле як особливий вид матерії
4. Матеріальність світу
5. Речовина і поле — два види матерії

Розділ

4.

Електричний струм

ЧАСТИНА II. ЕЛЕКТРИЧНІ ЯВИЩА



*Чому виникає
електричний струм?*

Як діє струм?

Що таке блискавка?

Струм вбиває чи оживляє?

*Які тварини виробляють
електричний струм?*

*Фізика – це щось набагато більше,
ніж набір законів. Фізика насамперед
жива творчість рук та мозку.*

А. Б. Піппард

**Щоб керувати електричним струмом,
потрібно знати його закони.**

Розглянемо закони електричного струму.

- Електричний струм. Дії електричного струму
- Провідники, діелектрики, напівпровідники
- Електричний струм у металевих провідниках
- Джерела електричного струму
- Електричне коло та його основні елементи
- Напрямок електричного струму
- Сила струму та її вимірювання. Амперметр
- Електрична напруга та її вимірювання.
Вольтметр
- Електричний опір. Резистори. Реостати.
Потенціометри
- Закон Ома для ділянки кола
- Послідовне та паралельне з'єднання
провідників
- Робота й потужність електричного струму.
Закон Джоуля – Ленца. Теплова дія
електричного струму
- Електричний струм у розчинах і розплавах
електролітів. Закон Фарадея для електролізу
- Електричний струм у газах. Види газових
розрядів
- Заходи безпеки під час роботи
з електричними приладами й пристроями

§ 26. Електричний струм



Думки вголос

Я ознайомлюсь з умовами виникнення й існування електричного струму, зможу проводити досліди та пояснювати їх.

Що таке електричний струм? Які умови необхідні для виникнення й протікання струму протягом певного часу?

Слово «струм» означає потік чогось. Якщо електростанцію з'єднати дротами зі споживачем, то в цих дротах почнеться рух заряджених частинок. Ми знаємо, що в металах є вільні частинки — вільні електрони, які можуть напрямлено рухатись. У звичайних умовах вільні електрони в металах рухаються хаотично, і електричний струм відсутній. Коли ж на електрони подіє електрична сила, вони рухатимуться напрямлено. Це і буде електричний струм.



Спрямований рух вільних електронів в металі являє собою електричний струм провідності.

Але спрямований рух вільних електронів у металах можна отримати іншим способом. Наприклад, якщо металевий стрижень падає на землю вертикально, то його вільні електрони після падіння стрижня на землю за інерцією продовжують рухатись спрямовано — створюють електричний струм, який називають *інерційний струм*.

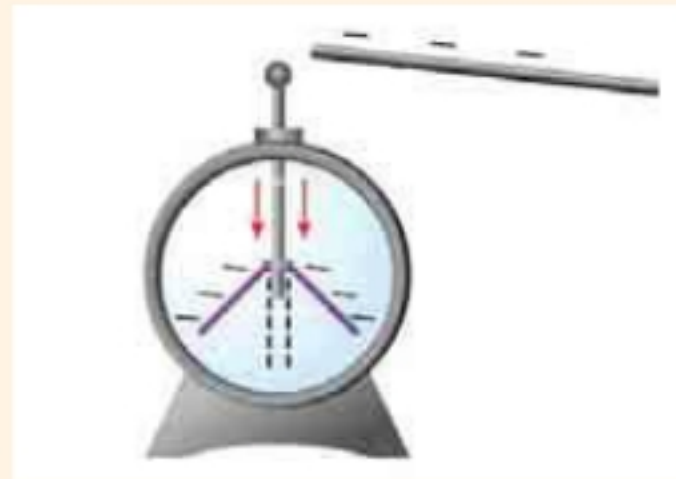
Електричний струм можуть викликати і великі заряджені тіла, якщо вони рухатимуться спрямовано в певному напрямі. Електричний струм може утворюватися і позитивно зарядженими частинками, наприклад йонами.

Електричний струм — спрямований рух заряджених частинок або заряджених тіл.

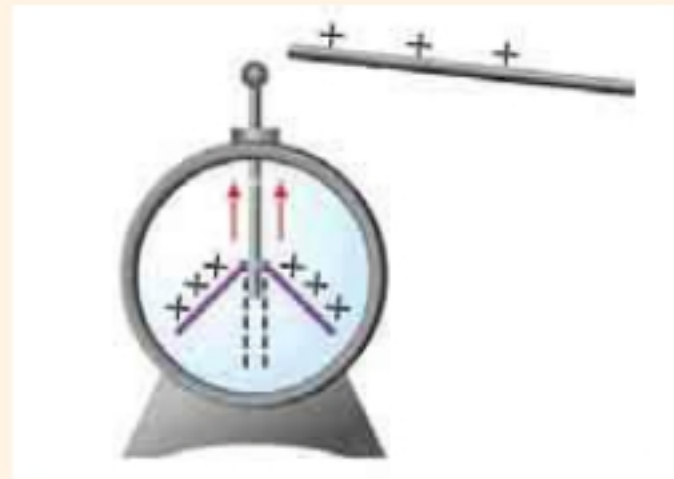
Розглянемо на дослідах умови виникнення й існування електричного струму.

Дослід 1. Візьмемо електроскоп і піднесемо до його металевої кульки наелектризовану паличку (мал. 95).

Заряджена паличка не торкається стрижня електроскопа, але під дією сили електричного поля, створеного зарядженою па-



Мал. 95. Електроскоп з негативно зарядженою паличкою



Мал. 96. Електроскоп з позитивно зарядженою паличкою

личкою, вільні електрони металевго стрижня рухаються вниз і збираються на паперових смужках, які однойменно зарядились і відштовхнулись. Таким чином в стрижні короткочасно було створено електричний струм.

Висновок

1. В металевому стрижні є вільні заряджені частинки (вільні електрони), які можуть переміщуватись напрямлено.
2. Спрямований рух вільних електронів утворюється під дією електричного поля.

Дослід 2. Піднесемо до електрометра (електроскопа), не торкаючись його, позитивно заряджену паличку — аркуші розійшлися (мал. 96).

Чому це відбулося? В металевому стрижні електрони з нижнього кінця рухалися вгору, притягуючись до позитивно зарядженої палички, тобто було створено короткочасний електричний струм. Щоб струм був тривалішим, провідник має бути відкритий в електричне коло. Цю умову розглянемо в наступних параграфах теми.



Підсумки

- Спрямований рух заряджених тіл або частинок називають електричним струмом.
- Для виникнення й існування електричного струму провідності необхідне виконання двох умов: наявність вільних заряджених частинок та існування електричного поля.



Перевір свої знання

- 1*. Наведи приклади споживачів електричного струму.
- 2*. Що називають електричним струмом?
- 3**. Які умови необхідні для виникнення електричного струму? Для існування електричного струму? Якими дослідями це можна довести?
- 4***. Поясни різницю між струмом провідності й інерційним струмом.

§ 27. Дії електричного струму

**Думки вголос**

Я зможу пояснювати електричні явища в природі і техніці.

Як можна дізнатися, чи є в провіднику струм?

Пройходження електричного струму через провідник супроводжується особливими явищами, які називають *діями електричного струму*.

Схема 3

Дії електричного струму

Теплова дія	Світлова дія	Магнітна дія	Хімічна дія	Механічна дія
-------------	--------------	--------------	-------------	---------------

Розглянемо дії електричного струму у навколишньому середовищі.

Приклади

Теплова дія електричного струму. Це явище ми спостерігаємо в утюгах, електрокамінах, лампах, електроплитах (мал. 97). Спиралі в приладах розігріваються до «червоного розжарення», іноді до «білого розжарення». До них не можна торкатися, щоб уникнути опіків. Рідинні й газоподібні провідники теж нагріваються за проходження електричного струму.



Мал. 97. Розігріта спіраль: теплова дія електричного струму

Чому провідники нагріваються під час проходження електричного струму?

Спрямовано рухаючись, вільні електрони зіштовхуються з йонами кристалічних ґрат і передають їм частину своєї кінетичної енергії. Коливання йонів стає сильнішим, збільшується внутрішня енергія кристала — відбувається нагрівання. У рідинах і газах під час проходження електричного струму теж відбувається зростання внутрішньої енергії і, як наслідок, нагрівання середовища.

Світлову дію електричного струму можна спостерігати на прикладі блискавки, свічення лампи, полярного сяйва (мал. 98).

Магнітну дію електричного струму вперше спостерігав 1820 р. датський фізик Ерстед, коли біля провідника зі струмом розмістив магнітну стрілку. Провідник зі

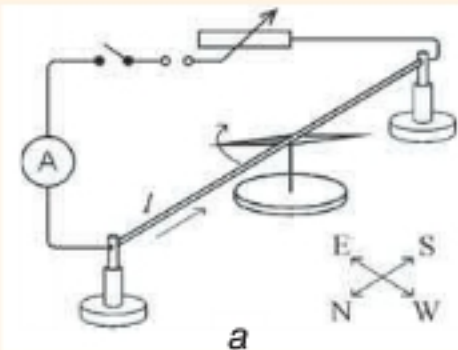


Мал. 98. Блискавка: світлова дія електричного струму

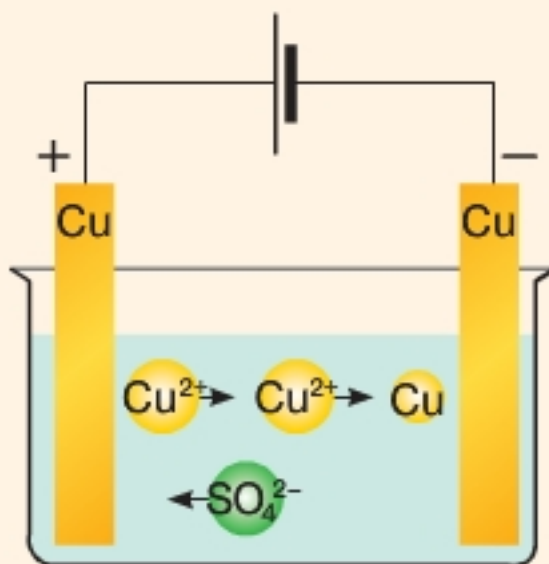
струмом подіяв на магнітну стрілку, і вона змінила свій напрям. Це пояснено тим, що навколо провідника зі струмом виникає магнітне поле. Приклад магнітної дії електричного струму зображено на малюнку 99.

Хімічну дію електричного струму можна розглянути на досліді. У посудину з розчином мідного купоросу (Cu_2SO_4) опустили два однакових вугільних електроди і пропустили електричний струм. На одному з електродів через деякий час з'явиться помітний шар міді, а інтенсивність забарвлення розчину зміниться (мал. 100).

Механічну дію електричного струму ми спостерігаємо під час роботи електричних двигунів: електрична пральна машина, електротранспорт тощо (мал. 101).



Мал. 99. Магнітна дія електричного струму: а — схема досліду Ерстеда; б — електромагнітний підйомний кран



Мал. 100. Посудина з розчином мідного купоросу: хімічна дія електричного струму



Мал. 101. Робота електричних двигунів:
механічна дія електричного струму

Крім того, електричний струм впливає на живі організми. Ця дія в більшості випадків може бути небезпечною. Тому під час роботи зі струмом необхідно дотримуватись правил безпеки.

Згідно із законом збереження енергії, при будь-якій дії електричного струму відбувається перетворення електричної енергії (енергії електричного поля) в інші види енергії.



А ти знаєш?

- Щосекунди на Землі вдаряє близько 100 блискавок, які виникають між наелектризованими хмарами чи хмарами й землею.
- Електричний струм, проходячи через живий організм, оказує на нього великий вплив: залежно від параметрів струму він може вбити організм або оживити його чи вилікувати. Коли в людини зупиняється серце, то за допомогою короточасних електричних імпульсів, які діють на серце, м'язи серця починають скорочуватись і працювати.
- Деякі тварини здатні самостійно виробляти електричний струм для захисту або полювання, наприклад, електричний скат.



Підсумки

- Електричний струм проявляється в різних діях: тепловій, світловій, магнітній, механічній, хімічній.
- Дії електричного струму вивчають на дослідах.
- Дії електричного струму використовують у технічних пристроях, побутових приладах, у технологічних процесах і явищах.



Перевір свої знання

- 1*. Наведи приклади дії електричного струму.
- 2*. Яка дія електричного струму використовується в роботі:
 - а) електрочайника;
 - б) електромобіля;
 - в) лампи денного світла?
- 3**. Назвіть спільні риси всіх дій електричного струму.
- 4***. З точки зору теорії МКТ поясни нагрівання металів внаслідок проходження в них електричного струму.

§ 28. Провідники, діелектрики, напівпровідники.

Електричний струм у металевих провідниках



Думки вголос

Я вивчу речовини, які мають різні властивості проходження через них електричного струму.

У природі і техніці спостерігають електричні явища, які супроводжуються проходженням електричного струму. Наприклад, блискавка — яскравий приклад проходження електричного струму в газах (у повітрі). Великим досягненням науково-технічного прогресу є сучасні обчислювальні машини. В основі їх головного пристрою — процесора — лежать інтегральні схеми, що складаються з великої кількості напівпровідникових елементів.

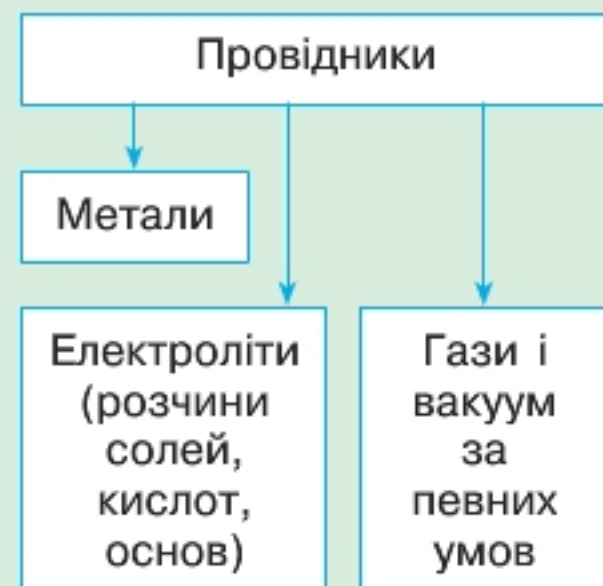
Які електричні процеси відбуваються в провідниках?

Провідниками електрики можуть бути метали, рідини і гази (схема 3). Природу електричного струму в різних середовищах можна пояснити на основі МКТ, дослідів і електронної теорії.

Поділ речовин на провідники, діелектрики і напівпровідники залежить від концентрації вільних заряджених частинок, тобто носіїв електричного струму. У металах — *провідниках* — концентрація вільних електронів дуже велика, близько 10^{29} в 1 м^3 . Це пояснює високу електропровідність металів (мал. 102). В усіх інших провідникових речовинах теж висока концентрація заряджених вільних частинок: в електролітах — йони, в газах — йони і вільні електрони.

У *діелектриках* вільних заряджених частинок дуже мало, близько 10^3 – 10^7 в 1 м^3 . Тому такі речовини є поганими провідниками електрики (гума, скло, пластмаси, кераміка). У більшості випадків їх використовують для ізоляції від дії електричного струму (мал. 103).

Схема 3



Мал. 102. Металеві провідники



Мал. 103. Діелектрики



Мал. 104. Напівпровідники

У напівпровідниках (мал. 104) вільних носіїв заряду менше, ніж у провідниках, і більше, ніж в діелектриках, — близько 10^{12} – 10^{13} в 1 м^3 . Власна провідність напівпровідників невисока, але кількість носіїв струму можна збільшити шляхом їх нагрівання, освітлення або внесення домішок. Фізичні дослідження властивостей напівпровідників зумовили науково-технічний прогрес унаслідок їх використання (термоелементи, фотоелементи, діоди, транзистори тощо).

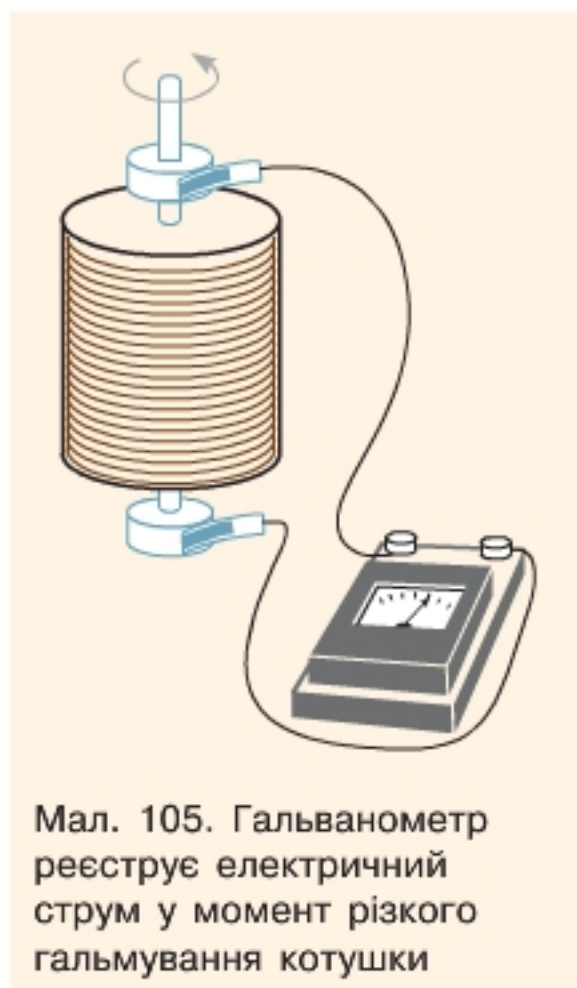
Для дослідження електричного струму у різних середовищах було проведено багато експериментів. Так, електронну провідність металів було експериментально доведено 1913 року фізиками-експериментаторами: Л. І. Мендельштамом і Н. Д. Папалексі, а потім 1916 року Б. Стюартом і Р. Толмеком. Розглянемо дослід.

Дослід

Котушку з мідним проводом було замкнено на гальванометр зі спеціальними ковзаючими контактами (мал. 105). За допомогою електродвигуна $\left(n = 5000 \frac{\text{об}}{\text{хв}}\right)$ котушка дуже швидко оберталась, а потім різко гальмувалась. У цей момент гальванометр фіксував короткочасний струм. Це пояснено тим, що після різкого гальмування вільні електрони ще деякий час за інерцією рухалися спрямовано, і в котушці виникав електричний струм. Цей дослід

є експериментальним доведенням електронної провідності металів.

У металах вільні електрони беруть участь у хаотичному тепловому русі. Під впливом електричного поля вони починають переміщуватись впорядковано із середньою швидкістю приблизно $0,5 \frac{\text{мм}}{\text{с}}$. А швидкість поширення електричного поля всередині металевого провідника наближається до $300\,000 \frac{\text{км}}{\text{с}}$. Саме цю швидкість пов'язують з поширенням електричного струму в металах. Так електронна теорія пояснює перенесення електричного заряду в металах, тобто створення електричного струму.



Мал. 105. Гальванометр реєструє електричний струм у момент різкого гальмування котушки



Підсумки

- За характером електричної провідності всі речовини поділяють на провідники, діелектрики і напівпровідники.
- Концентрація вільних заряджених частинок у речовині визначає її електричну провідність.
- У металах електричний струм утворюється спрямованим рухом вільних електронів. Цей висновок підтверджено експериментально.



Перевір свої знання

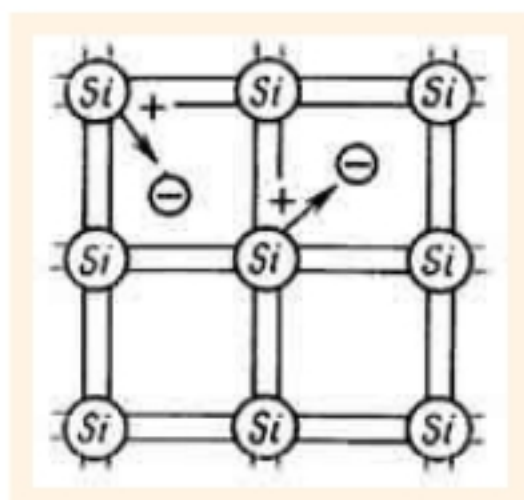
- 1*. Назви приклади речовин, які є діелектриками, провідниками.
- 2**. Як можна пояснити практично миттєве включення споживачів електричного струму після вмикання електричного кола?
- 3**. Поясни назву речовин «напівпровідники».
- 4***. Як можна довести, що носіями електричного струму в металах є вільні електрони?



Для тих, хто хоче знати більше

Щоб зрозуміти механізми збільшення носіїв електричного струму зі збільшенням температури або освітлення, необхідно знати будову напівпровідникових кристалів і природу зв'язку, що утримує атоми кристала один біля одного. Для прикладу розглянемо кристал кремнію. Кремній — чотиривалентний елемент. Це означає, що на зовнішній обо-





лонці атома знаходяться чотири електрони, що порівняно слабо пов'язані з ядром. Число найближчих сусідів кожного атома кремнію також дорівнює чотирьом. У чистих напівпровідниках між атомами є ковалентний зв'язок. Кожний атом обмінюється валентними електронами з чотирма сусідами. Внаслідок теплових співударів атомів якийсь із електронів, отримавши порцію енергії, може залишити зв'язок з атомом — утворю-

ється вільний електрон. Відсутній міжатомний зв'язок називають *діркою*, яка є еквівалентною позитивному заряду. Таким чином, у напівпровідниках є носії зарядів двох типів: електрони і дірки. Концентрація вільних електронів і дірок зростає за збільшення температури або освітлення.

Провідність чистих напівпровідників (електронно-діркова) називають **власною**. Якщо до напівпровідника внести домішки, то можна значно збільшити кількість носіїв електричного струму, тоді провідність буде називатися **домішковою**. Залежно від домішок можна одержати збільшення кількості електронів (електронна провідність) або дірок (діркова провідність).

Електронна провідність називають провідністю *n*-типу; діркову — провідністю *p*-типу.

***p-n* перехід.** Якщо в напівпровіднику є ділянки з електронною і дірковою провідністю, то на межі цих ділянок виникає шар, який має односторонню електричну провідність. Цей шар широко використовують в напівпровідникових приладах.



Такий контакт двох напівпровідників з різним типом провідності має малий опір, якщо *p*-ділянку підключити до позитивного полюсу джерела струму, а *n*-ділянку — до негативного. Якщо полюси джерела поміняти на протилежні, то опір *p-n*-переходу буде дуже великим. Ця властивість *p-n* переходу широко використовується в напівпровідникових приладах.

Зображення на схемах



Напівпровідниковий діод



Напівпровідниковий тріод (транзистор)

§ 29. Джерела електричного струму

**Думки вголос**

Я вивчу будову і дію основних джерел електричного струму.

Практично в усіх випадках електричний струм необхідно підтримувати протягом певного часу, наприклад для роботи кімнатного освітлення, телевізора, для неперервної роботи електротранспорту. Тому потрібні джерела електричного струму (схема 4).

Джерело струму — це пристрій, який створює електричне поле і може довгий час його утримувати.

Відомо багато видів джерел електроенергії. Їхня будова різна, але у кожному джерелі струму відбувається розділення заряджених частинок на два полюси: позитивний «+» і негативний «-» за рахунок виконання роботи так званими сторонніми силами. Сторонні сили можуть мати хімічну, механічну, теплову природу. Вони спрямовані проти кулонівських сил. Згідно із законом Кулона заряди протилежних знаків притягуються, а щоб з'явилося джерело електричного поля, потрібно ці заряди розвести на два полюси. Цю роботу всередині джерела виконують сторонні сили.

В усіх джерелах струму в результаті роботи сторонніх сил відбувається перетворення інших видів енергії в електричну.

У гальванічних елементах у хімічні розчини опускають дві пластини із різних речовин. У результаті хімічних реакцій ці пластини (електроди) різнойменно заряджаються і можуть створювати струм: відбуваються хімічні реакції і внутрішня енергія, яка при цьому виділяється, перетворюється на електричну.

Для практичних цілей використовують сухі гальванічні елементи (мал. 106). Декілька гальванічних елементів можна з'єднати в батарею, наприклад для кишенькового ліхтаря.

Схема 4

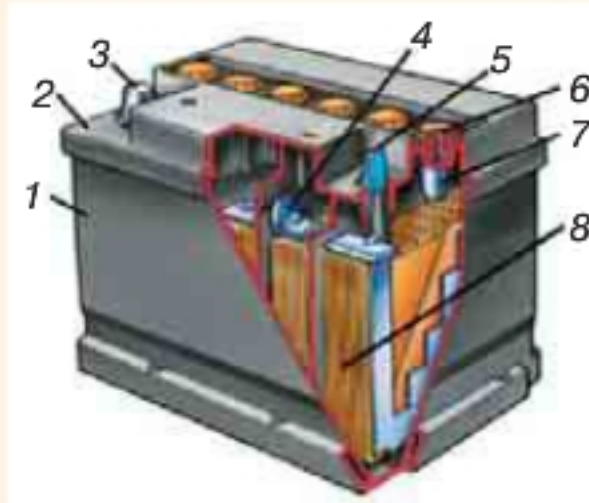




Мал. 106. Сухі гальванічні елементи: а — будова гальванічного елемента; б — гальванічні елементи і батарея

В акумуляторах (мал. 107) в розчин кислоти опускають два однакові електроди (дві свинцеві пластини) і пропускають струм, заряджаючи їх. При цьому на електродах відбуваються різні хімічні реакції, які мають різні властивості, і акумулятор отримує два полюси зарядів. Після зарядки акумулятор можна використовувати як самостійне джерело струму.

Існують свинцеві (кислотні) і залізо-нікелеві, або лужні акумулятори. Вони можуть давати доволі великий струм, і їх можна використовувати багато разів. Акумулятори мають широке і різноманітне застосування: освітлення в залізничних вагонах, автомобілях, підводних човнах, на штучних супутниках Землі тощо.



Мал. 107. Будова акумулятора:
1 — корпус; 2 — кришка;
3 — клемма позитивного полюса «+»; 4 — один із шести акумуляторів; 5 — клемма негативного полюса «-»; 6 — пробка;
7 — заливна горловина;
8 — пластини акумулятора

Які тобі відомі джерела струму і де їх використовують (мал. 108)?

Термоелементи. Якщо з'єднати два різнорідних провідники і нагрівати один із спаяних кінців, то отримаємо джерело струму. При цьому внутрішня енергія нагрівача переходить в електричну, особливо ефективним є з'єднання металевих провідників і напівпровідників (мал. 109).

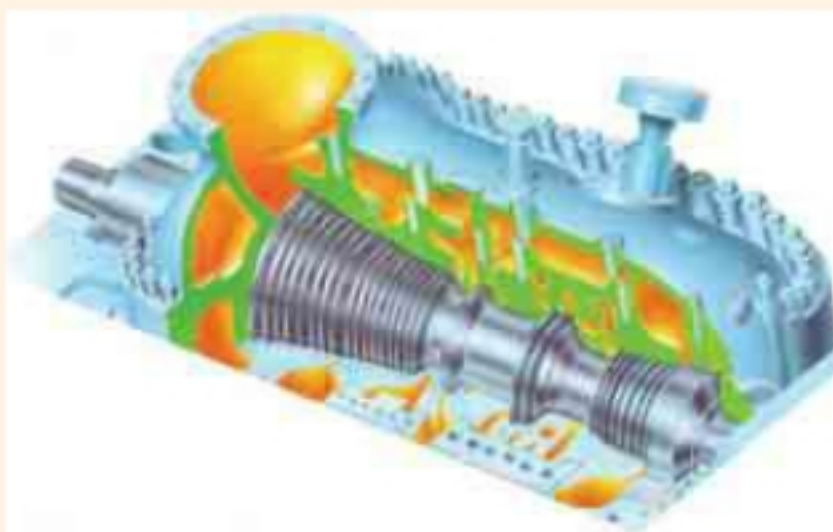


Мал. 108. Джерела струму



Мал. 109.
З'єднання
металевих
провідників і
напівпровідників

На електростанціях електричний струм виникає в генераторах (мал. 110). Принцип їх дії можна продемонструвати на прикладі обертання рамки із деякої кількості витків ізолюваного проводу в магнітному полі. Буде виконуватися механічна робота, полюси генератора зарядяться різноіменно, лампа, приєднана до приладу, буде світитися.



Мал. 110. Генератор

Електричний струм від генераторів використовують у промисловості, транспорті, сільському господарстві, освітленні будинків, роботі побутових електричних приладів тощо.



Підсумки

- Джерело струму — це пристрій для створення електричного струму в провідниках протягом довгого часу.
- У джерелах струму відбувається перехід різних видів енергії в електричну.
- Джерело струму має два полюси: позитивний «+» і негативний «-».
- Основні види джерел струму: гальванічні елементи, акумулятори, генератори, термоелементи.
- Джерела струму можна з'єднувати в батареї.



Перевір свої знання

- 1*. Яку роль виконують сторонні сили в джерелі струму?
- 2*. Які перетворення енергії відбуваються в джерелі струму?
- 3*. Назви основні види джерел струму і їх застосування.
- 4**. Якщо потрібно зарядити акумулятор, то з якими полюсами джерела енергії з'єднують клеми акумулятора під час заряду?
- 5***. Дві цинкові пластини опущено в посудину з розчином сірчаної кислоти. Чи є такий пристрій гальванічним елементом? Що станеться, якщо одну цинкову пластину замінити мідною?
- 6***. Яким чином, опустивши в склянку з водою два проводи, приєднані до полюсів джерела струму, можна переконатися, чи «працює» джерело струму?



Завдання

- *** Розбери стару батарейку із сухих елементів. Назви частини, із яких вона складається. Розріж один елемент, розглянь його будову і розкажи про будову сухого елемента.



Для тих, хто хоче знати більше

В середині джерела струму діють сторонні сили, які переміщують електричні заряди і створюють два полюси в джерелі струму: позитивний «+» і негативний «-». Кулонівські сили завжди спрямовані на притягання електричних зарядів протилежних знаків, а сторонні сили розводять ці заряди до різнойменних полюсів. Види сторонніх сил: *хімічні* (в гальванічному елементі в акумуляторі), *теплові* (в термопарі), *механічні* (в генераторах) тощо. Кількісною характеристикою дії сторонніх сил є фізична величина, яка називається **електрорушійна сила**. Вона вимірюється в вольтах і позначається на джерелі струму літерою \mathcal{E} ($\mathcal{E} = 4,5 \text{ В}$).

§ 30. Електричне коло та його основні елементи.

Напря́м електричного струму

**Думки вголос**

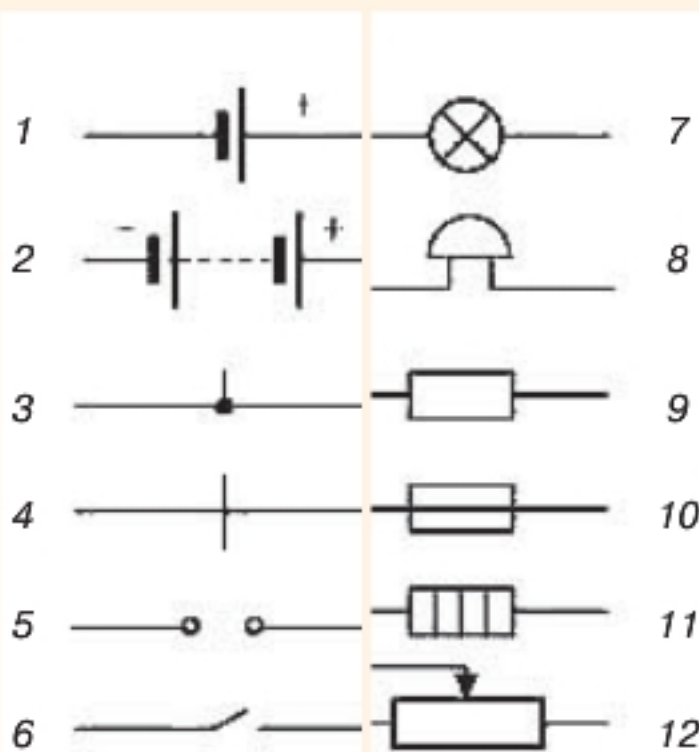
Я вивчу умовні позначення, які застосовують під час креслення електричних схем. Зможу самостійно креслити найпростіші електричні схеми, пояснювати їх.

Для практичного використання електричного струму необхідно, щоб від джерела струму до споживачів за допомогою з'єднувальних провідників передавалася електрична енергія. Для підключення потрібні вимикачі.

Джерела струму, споживачі електричного струму, вимикачі і з'єднувальні провідники утворюють найпростіше електричне коло.

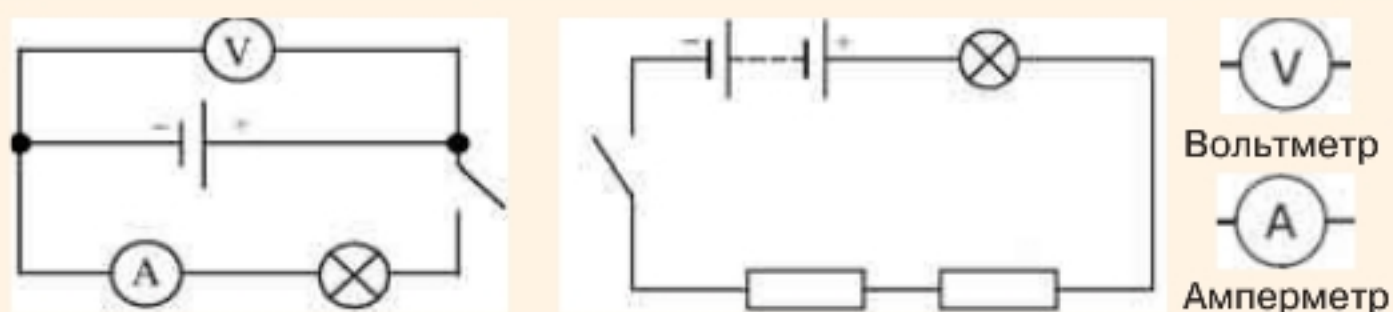
Електричне коло повинне бути замкненим, тоді електричний струм провідниками йтиме до споживачів електричної енергії. За напрям струму прийнято напрям від позитивного джерела струму «+» до негативного «-». Електричне коло зображують на папері за допомогою умовних позначень (мал. 111). Такий кресленик називають **електричною схемою** (мал. 112).

Щоб у колі протікав струм, воно має бути замкненим, тобто складатись тільки з провідників електрики. Якщо в якомусь міс-



Мал. 111. Деякі умовні позначення:

- 1 — гальванічний елемент або акумулятор;
- 2 — батарея елементів та акумуляторів;
- 3 — з'єднання провідів;
- 4 — перетин провідів без з'єднання;
- 5 — затискачі для під'єднання будь-якого приладу;
- 6 — ключ;
- 7 — електрична лампа;
- 8 — електричний дзвінок;
- 9 — провідник, що має певний опір (резистор);
- 10 — плавкий запобіжник;
- 11 — нагрівальний елемент;
- 12 — змінний опір



Мал. 112. Приклади електричних схем та позначення вимірювальних приладів

ці провідник обірветься, то струм в колі припиниться (на цьому базується дія вимикачів).

Постійний електричний струм використовують в техніці (двигуни постійного струму встановлюють в електропоїздах, трамваях), при електрозварюванні.



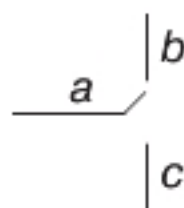
Підсумки

- Електричне коло складається з джерела струму, споживачів, вимикачів і з'єднувальних провідників.
- За напрям електричного струму прийнято напрям від позитивного полюса джерела «+» до негативного «-».
- Умовний кресленик електричного кола на папері називають електричною схемою.
- Для електричних схем прийняті умовні позначення окремих приладів.



Завдання

- 1*. Накресли схему кола, яке складається з гальванічного елемента, вимикача і електричного дзвоника.
- 2**. Накресли схему електричного кола, яке складається з акумулятора, двох ламп і двох вимикачів, що працюють незалежно один від одного; кожен вимикач вмикає одну лампу.
- 3***. Накресли схему електричного кола, яке складається з батареї гальванічних елементів, одного дзвоника, однієї лампи і двох вимикачів. Перший вимикач вмикає лампу, другий вмикає дзвоник.
- 4***. Намалюй схему електричної проводки для трьох кімнат. У кожній кімнаті електрична лампа вмикається незалежно від ламп в кожній кімнаті.
- 5***. Перемикач може з'єднувати провідника *a* з провідником *b* або з провідником *c*. Намалюй схему з'єднання перемикача, батареї і двох ламп, щоб вони могли працювати незалежно одна від одної.



§ 31. Сила струму та її вимірювання. Амперметр

**Думки вголос**

Я навчусь визначати силу струму, зможу вимірювати її приладами.

Електричний струм проявляє себе в різних діях, які можуть бути сильніші і слабкіші. За сильних дій електричного струму (більше виділяється тепла, яскравіше світить, сильніше притягує) більша кількість електрики переміщується через поперечний переріз провідника за певний проміжок часу.

Для розрахунків і оцінки ступеня дії електричного струму вводять фізичну величину, яку називають силою струму. Позначають силу струму літерою I .

Сила струму чисельно дорівнює відношенню електричного заряду, який пройшов через поперечний переріз провідника, до часу його проходження:

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

де q — заряд, перенесений через поперечний переріз; t — час проходження заряду.

Сила струму — фізична величина, яка показує електричний заряд, що пройшов через поперечний переріз провідника за одиницю часу.

Одиницю струму в СІ є **ампер** (1 А).

$$t = \frac{q}{I}, \quad q = I \cdot t$$

1 мА = 0,001 А; 1 мкА = 0,000001 А; 1 кА = 1000 А.

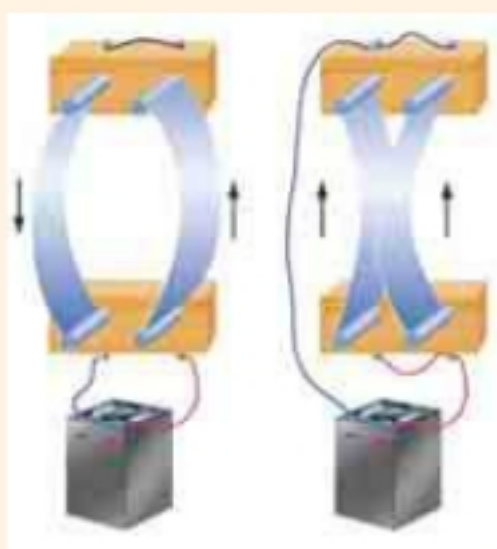
**А ти знаєш?**

Ампер Андре-Марі (1775–1836) — французький фізик і математик, створив основи електродинаміки. Одиниця сили електричного струму «ампер» названа на його честь.

Створив першу теорію, яка виражала зв'язок електричних і магнітних явищ. Йому належить гіпотеза про природу магнетизму, яка значно вплинула на розвиток учення про електромагнітні явища: магнітні властивості тіл зумовлені наявністю в них молекулярних електричних струмів.



Ампер
Андре-Марі



Мал. 113. Взаємодія двох провідників зі струмом

1 А — основна одиниця в системі СІ. 1948 року на Міжнародній конференції з міри і ваги фізики дали визначення одиниці сили струму. За основу визначення 1 А взяли явище взаємодії двох провідників зі струмом.

Дослідами було доведено: якщо струми в провідниках протікають в одному напрямі, провідники притягуються; якщо струми протікають в протилежних напрямках, провідники відштовхуються (мал. 113). Силу взаємодії провідників зі струмом при цьому можна виміряти.

За одиницю сили струму 1 А беруть таку силу струму, за якої відрізки паралельних провідників довжиною 1 м взаємодіють із силою $2 \cdot 10^{-7}$ Н.

Знаючи одиницю сили струму і одиницю часу, можна визначити одиницю величини електричного заряду:

Оскільки $I = \frac{q}{t}$, то $q = I \cdot t$, тобто $1 \text{ Кл} = 1 \text{ А} \cdot 1 \text{ с} = 1 \text{ А} \cdot \text{с}$.

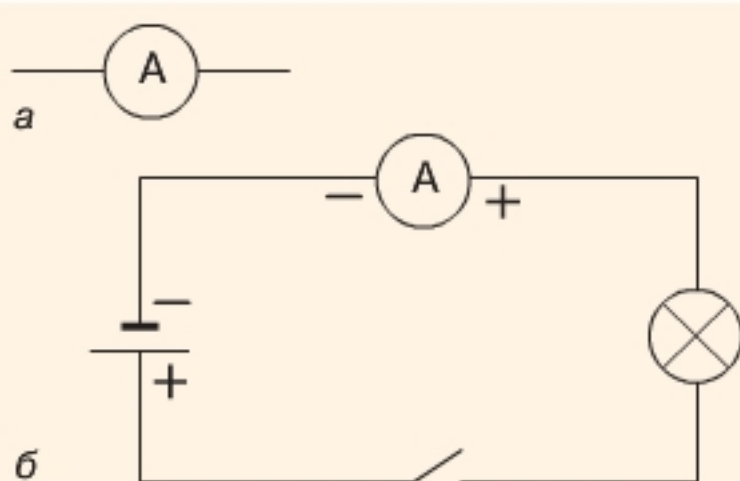
Один кулон дорівнює електричному заряду, який проходить через поперечний переріз провідника за 1 с за сили струму 1 А. Електричний заряд має ще одну назву — *кількість електрики*.

Силу струму можна виміряти приладом, який називають *амперметр* (мал. 114). Його включають послідовно з тією ділянкою кола, де вимірюють силу струму.

На малюнку 115, а показано умовне позначення амперметра.



Мал. 114. Електричне коло з амперметром



Мал. 115: а — умовне позначення амперметра; б — схема включення амперметра в електричне коло

Амперметр має дві клеми з позначками «+» і «-». Клеми з позначкою «+» треба з'єднувати з провідником, який іде від позитивного контакту джерела струму, а клему з позначкою «-» — з негативним контактом.

Необхідно пам'ятати!

- Амперметр не можна підключати безпосередньо до джерела струму без послідовно включених з ним споживачів.
- Необхідно визначити, на яку максимальну силу струму розрахований амперметр. Не можна перевищувати максимальне значення, на яке розрахований амперметр.
- Перед вимірюванням сили струму треба визначити ціну поділки амперметра.

В електричному колі без розгалуження сила струму на всіх ділянках однакова, оскільки заряд ніде в колі не накопичується і не зникає (як і вода, що тече трубами).

Сила струму — дуже важлива характеристика електричного кола. Для людини безпечною є сила струму, що проходить через її тіло — до 1 мА. Важливо знати закони постійного струму і їх дотримуватись!



Підсумки

- Сила струму — фізична величина, яка чисельно дорівнює кількості електрики, що пройшла через поперечний переріз провідника за одиницю часу.
- Силу струму визначають за формулою

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

- Силу струму вимірюють в амперах.
- 1 А — основна одиниця в системі СІ.
- Силу струму вимірюють амперметром, який включають послідовно з дільницею кола, у якій її вимірюють.



Для самоперевірки



Завдання

- 1*. За який час через провідник пройде заряд 600 Кл за сили струму 0,5 А?
- 2*. Визнач силу струму в лампі, якщо за 0,5 хв через її спіраль проходить заряд 6 Кл.
- 3**. Визнач ціну поділки амперметрів за їх шкалою (мал. 116).



Мал. 116. Шкали амперметрів

- 4***. Як можна перевірити правильність показів амперметра за допомогою іншого амперметра, правильність показів якого перевірено?

§ 32. Електрична напруга та її вимірювання. Вольтметр



Думки вголос

Я вивчу нову електричну величину, яку називають напругою. Зможу її вимірювати приладом.

У попередніх темах було зроблено висновок, що напрямлений рух заряджених частинок (тобто електричний струм) можливий завдяки дії на ці частинки сили з боку електричного поля. Із курсу фізики 7 класу відомо, якщо тіло рухається під дією певної сили і напрям руху тіла збігається з напрямом дії цієї сили, то сила виконує роботу. Отже, коли в певній ділянці кола існує струм, то електричне поле виконує роботу. Цю роботу прийнято називати роботою струму.

Робота, яку може виконувати або виконує електричне поле, переміщуючи заряд на певній ділянці кола, визначається електричною напругою.

Електрична напруга на певній ділянці кола — це фізична величина, що чисельно дорівнює роботі електричного поля з переміщенням одиничного позитивного заряду на цій ділянці.

Напругу позначають символом U .

$$U = \frac{A}{q}, \quad A = U \cdot q, \quad q = \frac{A}{U}.$$

У системі СІ одиницею напруги є **вольт** (1 В) на честь італійського вченого Вольта.



Алессандро
Джузеппе
Вольта

Алессандро Джузеппе Вольта (1745–1827) — італійський фізик і фізіолог.

Сконструював першу електричну батарею — Вольтів стовп. Винайшов і сконструював перше хімічне джерело постійного електричного струму, електричну батарею, низку електричних приладів (конденсатор, електрофор, електроскоп). Відкрив явище взаємної електризації різнорідних металів при їх контакті. Виявив і дослідив газ метан. Засновник електродинаміки. На його честь названо одиницю напруги **вольт**, а також астероїд головного поясу 8208 Вольта. Створив перше найпростіше хімічне джерело струму, яке назвав гальванічним елементом.

Мал. 117.
Вольтметри

1 В — це така напруга на ділянці кола, за якої електричне поле виконує роботу 1 Дж, переміщуючи цією ділянкою заряд, що дорівнює 1 Кл: $1 \text{ В} = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ Кл}}$. Використовують також дольні і кратні одиниці напруги:

$$1 \text{ мкВ} = 0,000001 \text{ В},$$

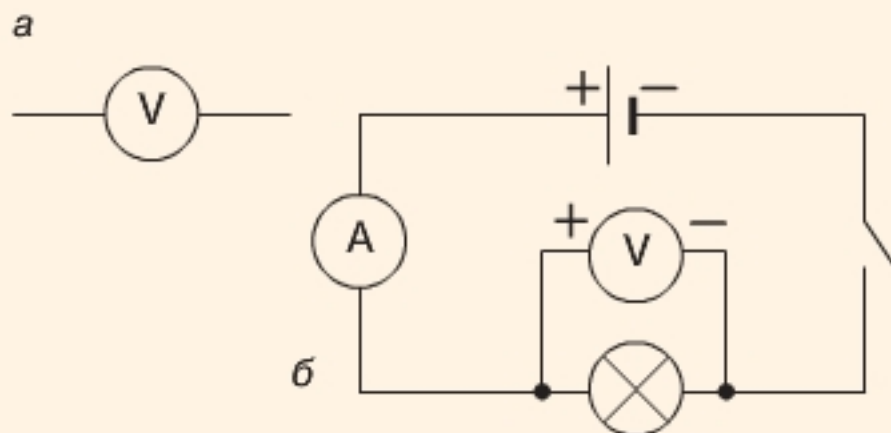
$$1 \text{ мВ} = 0,001 \text{ В},$$

$$1 \text{ кВ} = 1000 \text{ В}.$$

Приклади. Електрична напруга на клітинній мембрані становить кілька мікрвольтів, а між хмарами під час грози — сотні кіловольтів. Напруга на джерелі електричного струму, від якого живиться лампа кишенькового ліхтаря, може бути 1,5 В; 4,5 В; 9 В.

Для вимірювання напруги використовують прилад **вольтметр** (мал. 117). Зовні вольтметр дуже схожий на амперметр. Його сконструйовано таким чином, що в разі включення вольтметра в електричне коло значення напруги на цій ділянці кола практично не змінюється.

На малюнку 118, а показано умовне позначення вольтметра.

Мал. 118: а — умовне
позначення вольтметра;
б — схема включення
вольтметра в електричне
коло

Правила включення вольтметра в електричне коло:

- вольтметр приєднують паралельно до тієї ділянки кола, на якій необхідно виміряти напругу;
- вмикати треба, зберігаючи полярність;
- для вимірювання напруги на полюсах джерела струму вольтметр приєднують безпосередньо до клем джерела.

**Підсумки**

- Фізичну величину, яка характеризує роботу електричного поля з переміщення одиничного позитивного заряду на ділянці поля, називають *напругою*.
- Напругу позначають символом U і вимірюють у вольтах (1 В).
- Напругу вимірюють вольтметром.
- Вольтметр підключають паралельно до ділянки, де вимірюють напругу.

**Перевір свої знання**

- 1*. Які спільні ознаки мають амперметр і вольтметр? Чим вони відрізняються?
- 2*. Якою має бути сила струму, що проходить через вольтметр, порівняно із силою струму в колі?
- 3*. За проходження однакової кількості електрики в одному з провідників була виконана робота 100 Дж, а в другому — 200 Дж. На якому з провідників напруга більша і в скільки разів?

**Завдання**

- 1*. Якою є напруга на обмотці електродзвоника, якщо під час проходження через неї заряду 2 Кл, електричне поле виконує роботу 10 Дж?
- 2**. Який заряд пройшов через переріз провідника в колі живлення лампи розжарення, якщо лампа працює за напруги 220 В, а електричне поле за час проходження виконало роботу 13,2 кДж?
- 3**. Накресли схему електричного кола, яке складається з акумулятора, лампи, вимикача, амперметра і вольтметра для випадку, коли вольтметром вимірюють напругу на полюсах акумулятора.
- 4***. На малюнку 119 зображено шкали різних вольтметрів. Визнач ціну поділки кожного вольтметра.



Мал. 119. Шкали вольтметрів

§ 33. Електричний опір. Залежність опору провідника від його довжини, площі поперечного перерізу та матеріалу



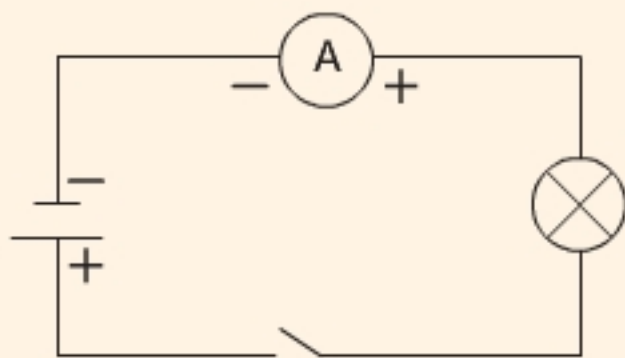
Думки вголос

Я вивчу нову для мене фізичну величину *опір провідника*, знайму формулу для його розрахунку. Зможу пояснювати досліди і розв'язувати задачі.

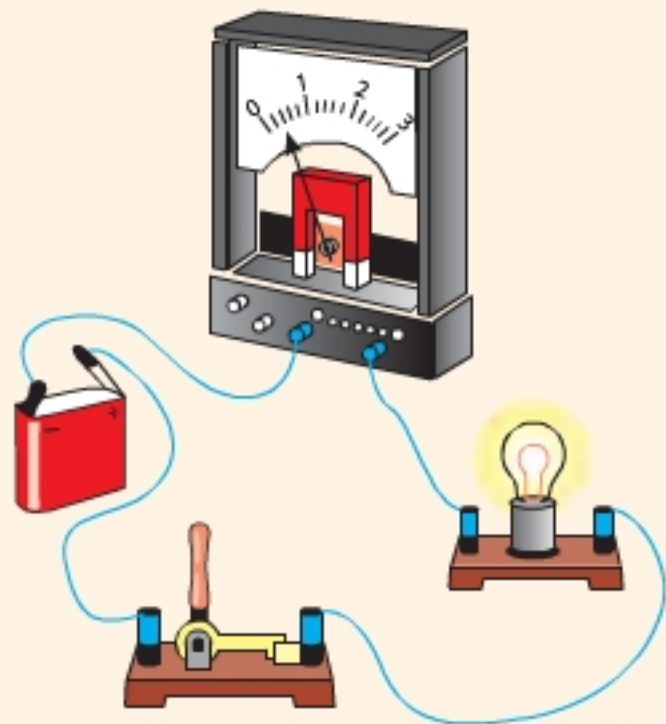
На практиці в електричне коло вмикають різні споживачі електрики, виготовлені з різних металів і які можуть відрізнятися геометричними розмірами, тобто довжиною і площею поперечного перерізу. Досліди вказують, що в таких випадках за рівних напруг сила струму буде різною. Розглянемо один із таких дослідів.

Дослід 1. Приєднаємо лампу і амперметр до джерела струму (мал. 120). Переконаємось, що лампа світить яскраво.

Будемо послідовно з лампою включати металеві спіралі однакових розмірів: спершу залізну, потім — ніхромову (мал. 121). Яскравість лампи буде зменшуватись, сила струму теж зменшуватиметься.



Мал. 120. Лампу і амперметр приєднано до джерела струму



Мал. 121. Послідовне включення металевих пластин: *а* — лампа; *б* — лампа та залізна спіраль; *в* — лампа та ніхромові спіраль

У цьому досліді різні провідники по-різному впливають на силу струму. Іншими словами, різні провідники створюють струму різний опір (тобто ніхромовий провідник чинить проходженню електрики більший опір).

Дослід 2. Будемо вмикати в електричне коло провідники з одного металу, але різної довжини. Напругу в досліді підводимо однаково, вимірюємо її вольтметром. Але силу струму амперметр показує різну. Чим довший провідник, тим менша сила струму. Довший провідник чинить більший опір проходженню струму.

Дослід 3. Будемо вмикати в електричне коло провідники з одного металу, однакової довжини, але різної площі поперечного перерізу (один — тонкий провід, а другий — товстий). Напругу в досліді підводимо однаково, на що вказує вольтметр. Амперметр показує різну силу струму. Тонкий провідник чинить більший опір струму, ніж товстий.

Висновок із дослідів. За однакової напруги сила струму залежить від властивостей провідників, увімкнених в електричне коло. Різні провідники мають різний електричний опір.

Опір — це властивість провідника протидіяти опір струму, який ним проходить.

Електричний опір — фізична величина, яку позначають літерою R .

Об'єднуючи результати дослідів, маємо таку залежність: опір провідника прямо пропорційно залежить від його довжини і обернено пропорційно — від площі поперечного перерізу. Щоб врахувати залежність опору від матеріалу, треба знати **питомий опір речовини** (позначають ρ (ро)).

Питомий опір речовини — опір провідника довжиною 1 м і площею поперечного перерізу 1 м².

Введемо позначення l — довжина провідника, S — площа поперечного перерізу.

Тоді опір провідника буде виражений формулою: $R = \rho \frac{l}{S}$.

Таку залежність вперше на дослідах встановив німецький фізик Георг Ом. Із формули опору можна визначити довжину провідника l і площу поперечного перерізу S , через інші відомі величини:

$$l = \frac{R \cdot S}{\rho}; S = \frac{\rho \cdot l}{R}.$$

Георг Симон Ом (1787–1854) — німецький фізик. Найвідоміші праці Ома стосувались питань проходження електричного струму через провідники й привели до формулювання закону Ома (зв'язок опору кола із силою струму в колі та електрорушійною силою джерела), який став основою всього сучасного вчення про електрику. Відкриття Ома, що дало можливість вперше кількісно розглянути явища електричного струму, мало і має величезне значення для науки. Ім'ям Ома названо одиницю електричного опору **ом**.



Георг
Симон Ом

Опір провідника вимірюють в омах.

Із формули опору знайдемо питомий опір: $\rho = \frac{R \cdot S}{l}$ і визначимо одиницю питомого опору в СІ:

$$\frac{1 \text{ Ом} \cdot 1 \text{ м}^2}{1 \text{ м}} = 1 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Практично площу поперечного перерізу зручно визначати в мм^2 , тоді одиницю питомого опору буде $1 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$.

Значення питомого опору речовини заносять до таблиці (табл. 14), якою користуються при розв'язуванні задач, обов'язково вказуючи, за якої температури здійснювалось вимірювання.

Таблиця 14

Питомий опір деяких речовин, $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ (при $t = 20^\circ \text{C}$)

Речовина	ρ	Речовина	ρ	Речовина	ρ
Срібло	0,016	Свинець	0,21	Ніхром (сплав)	1,1
Мідь	0,017	Нікелін (сплав)	0,40	Фехраль (сплав)	1,3
Золото	0,024	Манганін (сплав)	0,43	Графіт	13
Алюміній	0,028	Константан (сплав)	0,50	Фарфор	10^{19}
Вольфрам	0,055	Ртуть	0,96	Ебоніт	10^{20}
Залізо	0,100				

Наприклад, речовина алюміній за таблицею 14 має питомий опір: $\rho = 0,028 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$. Фізичний зміст цієї величини такий:

якщо у нас є алюмінієвий провід довжиною 1 м і площею поперечного перерізу 1 мм^2 , то його опір буде $0,028 \text{ Ом}$.

Із всіх металів найменший питомий опір мають срібло і мідь, які і є найкращими провідниками електрики. Срібло і мідь — дорогі метали, тому для мережі електричних кіл використовують алюміній, залізо, іноді мідь. Коли необхідно мати прилади з великим опором, то виготовляють сплави, які мають питомий опір, набагато більший за опір чистих металів. Наприклад, ніхром — це сплав, який має питомий опір майже в 40 разів більший за алюміній.

Ізолятори (фарфор, ебоніт) мають дуже великий питомий опір, тому майже зовсім не проводять електрику.

Чому існує електричний опір?

Пояснення дає внутрішня будова речовини. У кристалічних ґратах металів йони коливаються і заважають спрямованому руху електронів. У різних речовинах електрони всі однакові, а атоми і йони — їх розмір, порядок і густина розміщення — різні. Тому різні речовини мають різний електричний опір.

Приклад розв'язування задач

Довжина мідного дроту, який використовують в освітлювальній мережі, — 100 м. Площа його поперечного перерізу — 2 мм^2 . Який електричний опір дроту?

Дано:

$$l = 100 \text{ м}$$

$$S = 2 \text{ мм}^2$$

$$\rho = 0,017 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$$

$$R = ?$$

Розв'язання

Питомий опір міді знаходимо в таблиці

$$14, \text{ тоді } R = \rho \frac{l}{S}.$$

$$R = 0,017 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}} \cdot \frac{100 \text{ м}}{2 \text{ мм}^2} = 0,85 \text{ Ом}.$$

Відповідь: $R = 0,85 \text{ Ом}$.

Задача 2. Які площа поперечного перерізу та діаметр алюмінієвого провідника довжиною 0,5 км, якщо він має опір 7 Ом?

Дано:

$$l = 0,5 \text{ км} = 500 \text{ м}$$

$$R = 7 \text{ Ом}$$

$$\rho_{\text{ал}} = 0,028 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$$

$$S = ? \quad d = ?$$

Розв'язання

Відомо, що опір провідника $R = \rho \frac{l}{S}$. Звідси отримуємо формулу для визначення площі поперечного перерізу провідника $S = \rho \frac{l}{R}$.

З умови задачі $S = \rho \frac{l}{R} = \frac{0,028 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}} \cdot 500 \text{ м}}{7 \text{ Ом}} = 2 \text{ мм}^2$.

З математики відомо, що площа круга $S = \frac{\pi d^2}{4}$, звідки $d = \sqrt{\frac{4S}{\pi}}$.

Підставляємо знайдене значення S і визначаємо діаметр d провідника: $d = \sqrt{\frac{4 \cdot 2 \text{ мм}^2}{3,14}} = \sqrt{2,55 \text{ мм}^2} \approx 1,6 \text{ мм}$.

Відповідь: $S = 2 \text{ мм}^2$; $d \approx 1,6 \text{ мм}$.



Підсумки

- Властивість провідника протидіяти струму, який проходить ним, характеризується фізичною величиною, що називають *електричний опір провідника* (опір провідника).
- Опір провідника позначають літерою R , одиниця опору в СІ **Ом** (**1 Ом**).
- Опір металевого провідника залежить від його розмірів, матеріалу і температури: $R = \rho \frac{l}{S}$.
- ρ — питомий опір провідника — це величина, яка чисельно дорівнює опору провідника довжиною 1 м і поперечним перерізом 1 м². Одиниця питомого опору в СІ є **1 Ом·м**.



Завдання

- 1*. Довжина одного дроту 20 см, іншого — 1,6 м. Площа перерізу і матеріал дротів однакові. У якого дроту опір більший і у скільки разів?
- 2**. Розрахуй опір провідників, виготовлених із: а) алюмінієвого дроту довжиною 80 см і площею поперечного перерізу 0,2 мм²; б) нікелінового дроту довжиною 400 см і площею поперечного перерізу 0,5 мм²; в) константанового дроту довжиною 50 см і площею поперечного перерізу 0,005 см².
- 3***. Якої довжини провідник із ніхрома треба взяти для виготовлення електричного нагрівача опором 30 Ом, якщо площа поперечного перерізу дроту 1 мм²? (Значення питомого опору ніхрому взяти з таблиці.)
- 4***. В освітлювальній мережі будинку використали 100 м мідного дроту, опір якого 850 мОм. Яка площа поперечного перерізу цього дроту? (Значення питомого опору міді взяти з таблиці.)
- 5***. В електронагрівачі нікеліновий дріт площею поперечного перерізу 1 мм² замінюють ніхромовим дротом такої самої довжини. Якою має бути площа поперечного перерізу, щоб сила струму в нагрівачі залишилася попередньою?
- 6***. Опір мідного дроту $R = 1 \text{ Ом}$, його маса $m = 1 \text{ кг}$. Яка довжина цього дроту? Яка площа його поперечного перерізу?

§ 34. Резистори. Реостати. Потенціометри



Думки вголос

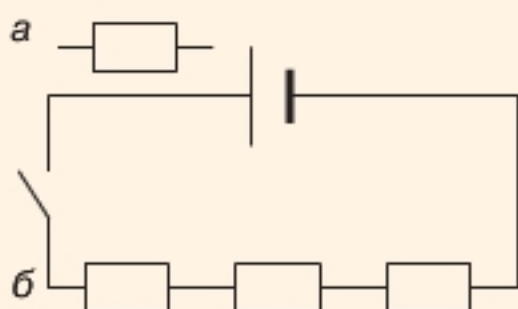
Я вивчу будову і роботу приладів, які дають змогу змінювати електричні величини в електричному колі.

Для використання електричної енергії часто необхідно змінювати силу струму в колі. Наприклад, для збільшення швидкості руху електропоїзда, тролейбуса, трамвая потрібно збільшити силу струму в електродвигунах; для зміни гучності в радіоприймачах; для регулювання швидкості обертання електродвигуна у швейних машинах, пральних машинах тощо.

Ми знаємо, що зміна електричного опору провідника веде до зміни сили струму. Цю залежність використовують в роботі деяких приладів. Часто використовують включення в електричні кола приладів з різними опорами, такі прилади називають **резисторами**. Умовне позначення резистора показано на малюнку 122, а.

На резисторах (мал. 123) часто вказують їхні електричні опори. Для регулювання електричного опору, тобто для його збільшення або зменшення, використовують прилади, які називають **реостатами**.

Види реостатів: повзунковий (мал. 124) і магазин резисторів (мал. 125).



Мал. 122: а — умовне позначення резистора; б — з'єднання резисторів у схемі



Мал. 123. Резистори



Мал. 124. Повзунковий реостат



Мал. 125. Магазин резисторів

Найчастіше використовують повзунковий реостат. Його будова: вогнетривкий циліндр — ізолятор (наприклад фарфоровий), на який густо виток до витка намотано металевий дріт з великим питомим опором, наприклад константан. Дріт покритий окалиною. Кінці дроту виведені на клеми реостата.

Над обмоткою реостата знаходиться ізолюваний від неї металевий стрижень, на якому може рухатись повзунок (мал. 126). Через пружинні контакти повзунок щільно прилягає до обмотки, у місцях контакту ізоляція порушується, і забезпечується контакт повзунка з обмоткою. Переміщуючи повзунок, можемо змінювати електричний опір від 0 до максимального значення опору обмотки.

Рухаючи повзунок реостата, ми змінюємо покази амперметра (мал. 127), яскравість горіння електричної лампи змінюється.

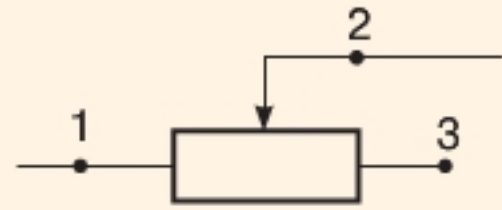
Якщо використовувати важільні реостати, то опір буде змінюватися ступінчасто.

Реостати завжди розраховують на визначене значення опору і силу струму, які на них вказані. Перебільшувати ці значення не можна, оскільки обмотка перегріється, і прилад вийде з ладу.

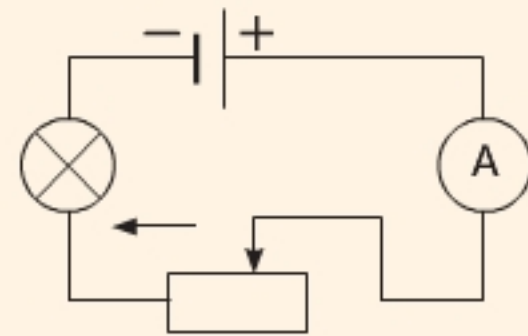
Під час роботи з реостатами не можна торкатися руками їх робочих частин, які можуть сильно нагріватися.

Потенціометр — прилад для зміни напруги на ділянці кола, резистор з трьома виводами, один із яких рухомий, що використовують як дільник напруги. Електричний струм проходить між кінцевими контактами, а потрібна споживачеві напруга знімається з повзунка, положення якого можна механічно змінювати.

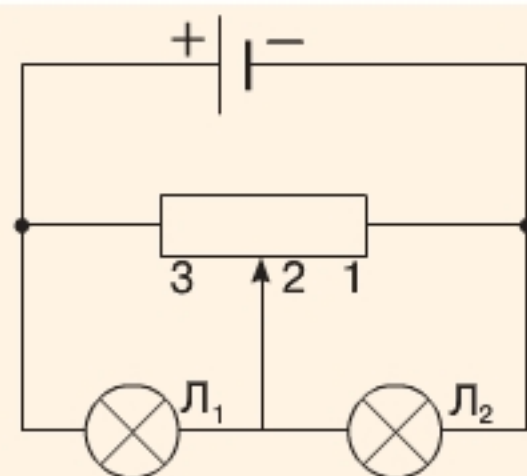
Потенціометр можна застосовувати як реостат (змінний резистор), використовуючи тільки два виводи — один із кінцевих і повзунок.



Мал. 126. Реостат:
1, 3 — клеми; 2 — повзунок



Мал. 127. Змінення показів амперметра



Мал. 128. Схема з потенціометром

Потенціометр перерозподіляє струм то на одну лампу L_1 , то на другу лампу L_2 (якщо рухати повзунок то в положення 2, то в положення 3) (мал. 128).



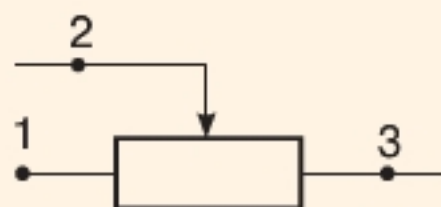
Підсумки

- Електричний опір в електричних колах можна змінювати за допомогою реостата або резисторів.
- Включаючи резистори і реостати в електричне коло, необхідно дотримуватись їх паспортних даних (значення максимального опору і силу струму).
- Потенціометр — прилад для зміни напруги на ділянці кола.



Перевір свої знання

- 1*. Чому в реостатах використовують дріт з великим питомим опором?
- 2**. Необхідно виготовити реостат на 20 Ом із нікелінового дроту площею поперечного перерізу 3 мм². Якою має бути довжина дроту?
- 3**. Покажіть на схемі (мал. 129) повзункового реостата, як його потрібно включити, щоб при русі повзунка зліва направо:
 - а) опір реостата збільшився від нуля до максимуму;
 - б) зменшився від максимуму до нуля.Як включити цей прилад для зміни напруги на ділянці кола?



Мал. 129. Схема реостата

- 4**. До реостата прикладена постійна напруга 36 В. Побудуй графік залежності сили струму від опору реостата.
- 5***. Намалюй електричну схему кола, у яке ввімкнули електричний дзвоник, амперметр і потенціометр. Поясни, коли електричний дзвоник буде дзвеніти гучніше.
- 6***. Дріт для двох реостатів виготовлений із однакового сплаву. У першого реостата довжина дроту в 2,5 рази більша, а діаметр в 2 рази більший, ніж у другого реостата. Який із реостатів має більший опір? У скільки разів?
- 7***. Чи в усьому колі електричний струм тече від позитивного до негативного полюса джерела струму? Поясни свою відповідь.

§ 35. Закон Ома для ділянки кола



Думки вголос

Я вивчу основний закон для ділянки електричного кола і зможу його застосовувати для розв'язування задач.

Вивчаючи струм в електричних колах, для опису явищ використовують три найважливіші фізичні величини: силу струму, напругу і опір. 1826 року німецький фізик Георг Симон Ом експериментально встановив закон, який об'єднує ці фізичні величини: силу струму, напругу і опір. На його честь закон називається законом Ома.



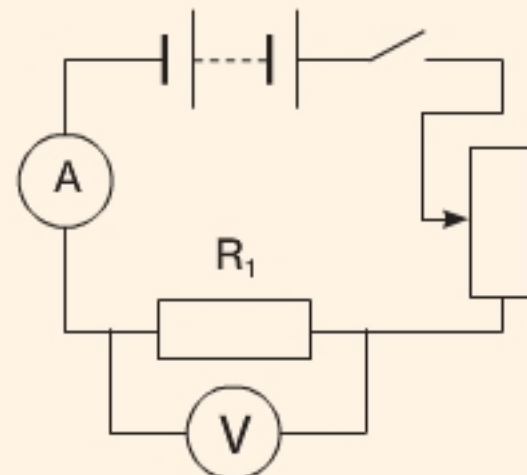
Закон Ома для ділянки кола:

Сила струму I в однорідній ділянці кола прямо пропорційна прикладеній напрузі U і обернено пропорційна опору провідника R :

$$I = \frac{U}{R}, \quad U = I \cdot R, \quad R = \frac{U}{I}.$$

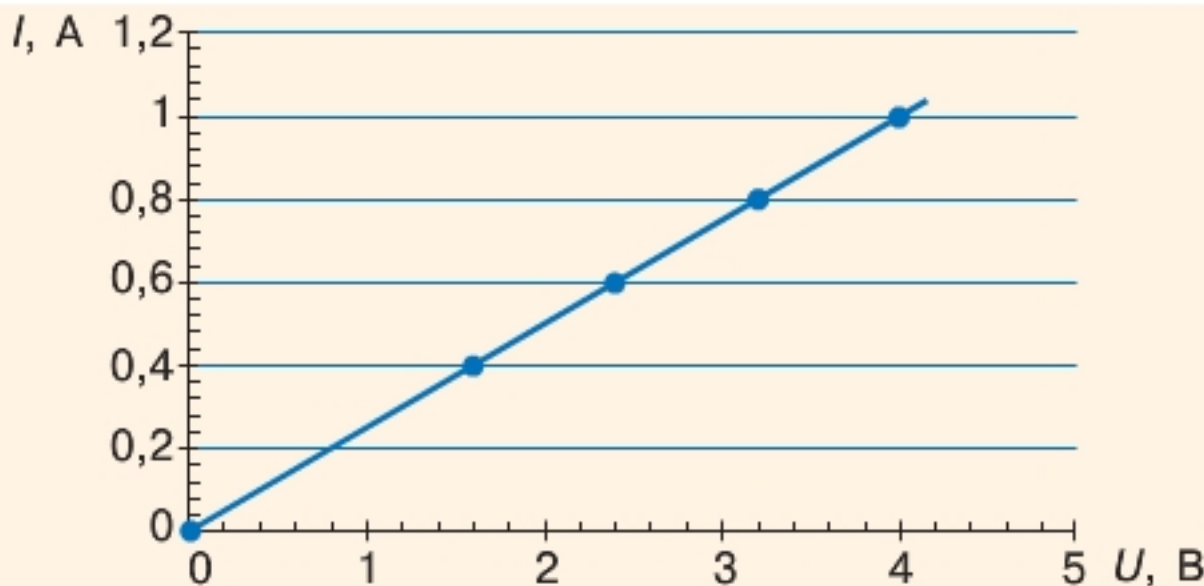
Досліди зі встановлення залежностей між силою струму, напругою і опором ділянки кола можна легко провести в лабораторних умовах.

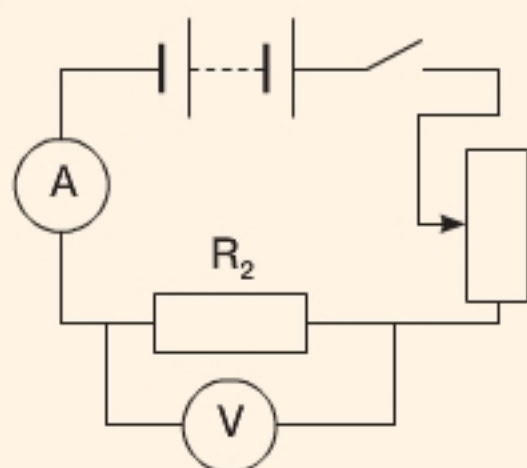
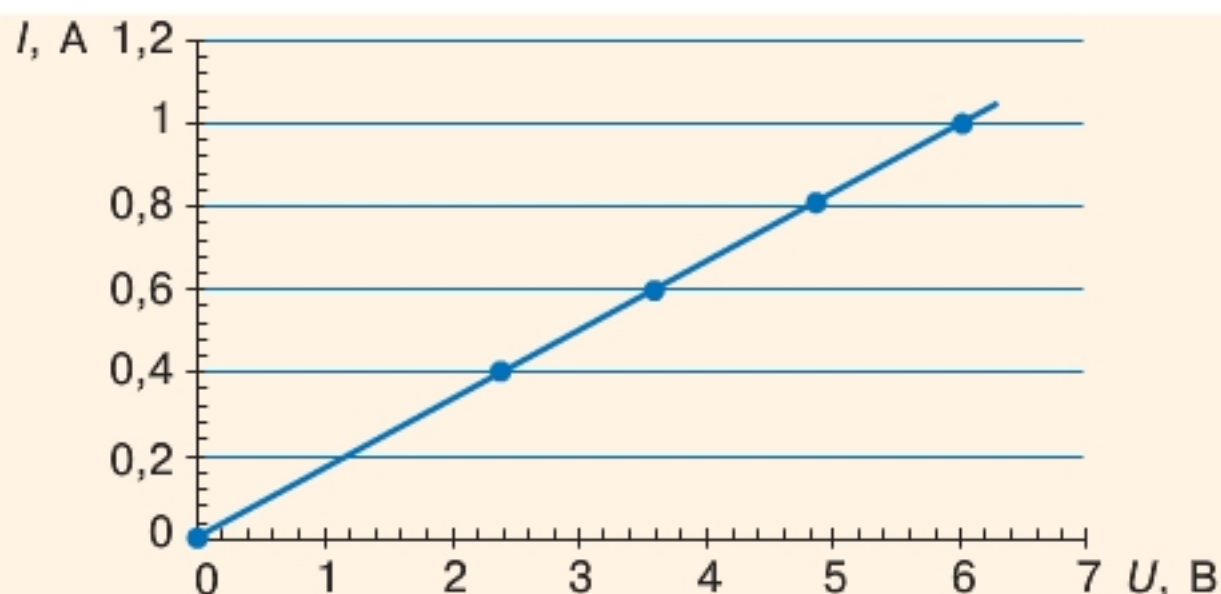
Дослід 1. Зберемо електричне коло, у яке входять: джерело електроенергії, реостат, амперметр, вольтметр і два резистори з різними опорами 4 Ом і 6 Ом. Підключимо спочатку один резистор 4 Ом (мал. 130). Дані



Мал. 130. Схема підключення

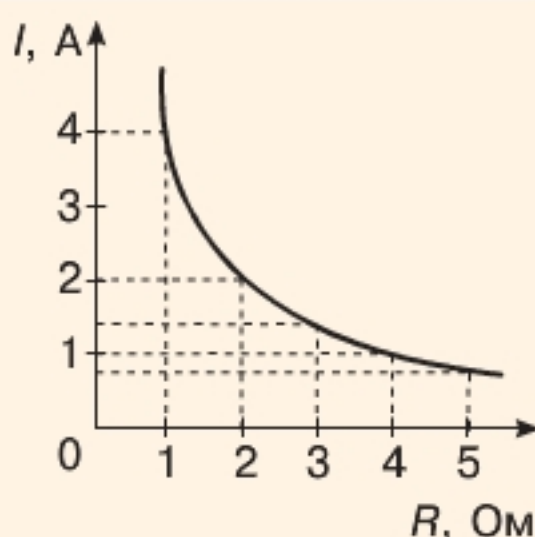
R	4	4	4	4	Ом
U	1,6	2,4	3,2	4,0	В
I	0,4	0,6	0,8	1,0	А





Мал. 131. Зміна резистора

R	6	6	6	6	Ом
U	2,4	3,6	4,8	6,0	В
I	0,4	0,6	0,8	1,0	А



U	4	4	4	4	В
R	1	2	4	5	Ом
I	4	2	1	0,8	А

сили струму за різних значень напруги (змінюємо положення повзунка реостата) внесемо до таблиці.

Змінимо резистор в електричному колі і проведемо вимірювання сили струму і напруги (мал. 131).

Узагальнюючи одержані результати дослідів, приходимо до підтвердження математичної залежності між силою струму і напругою при сталому опорі: сила струму в ділянці кола прямо пропорційна прикладеній напрузі.

Дослід 2. Проведемо експериментальне дослідження залежності між силою струму в ділянці кола і опором ділянки за сталої напруги. Зберемо електричне коло в складі: магазин опорів, джерело струму, амперметр, вольтметр. Змінюючи опір ділянки кола, проведемо вимірювання сили струму.

Графік залежності сили струму в провіднику від його опору за сталої напруги.

Зробимо висновок: за сталої напруги сила струму в ділянці кола обернено пропорційна ділянці кола.

Опір — величина стала для даного провідника і не залежить ні від напруги, ні від сили струму. Якщо

змінимо напругу на кінцях провідника, то зміниться і сила струму, а $R = \text{const.}$

Приклад розв'язування задач. Напруга в кімнатному електричному колі 220 В, а опір нагрівального елемента праски 50 Ом. Яка сила струму проходить через праску?

Дано:

$$U = 220 \text{ В}$$

$$R = 50 \text{ Ом}$$

$$I = ?$$

Розв'язання

Згідно із законом Ома для ділянки кола:

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

$$I = \frac{220 \text{ В}}{50 \text{ Ом}} = 4,4 \text{ А.}$$

Відповідь: $I = 4,4 \text{ А.}$

Знаючи закон Ома, можна дати визначення одиниці опору 1 Ом. За одиницю опору 1 Ом прийнято опір, що створює провідник, у якому сила струму дорівнює 1 А при напрузі на його кінцях 1 В.

$$1 \text{ Ом} = \frac{1 \text{ В}}{1 \text{ А}}.$$

Закон Ома для ділянки кола має велике практичне значення: можна розраховувати необхідні електричні величини в різних технічних і побутових ситуаціях.



Підсумки

- Для однорідної ділянки кола зв'язок між силою струму, напругою і опором описують законом Ома:

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

- Сила струму на ділянці кола прямо пропорційна прикладеній напрузі і обернено пропорційна опором ділянки.
- Закон Ома відкритий експериментально.
- Знаючи закон Ома, можна знайти опір ділянки кола або напругу на ній:

$$U = I \cdot R,$$

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



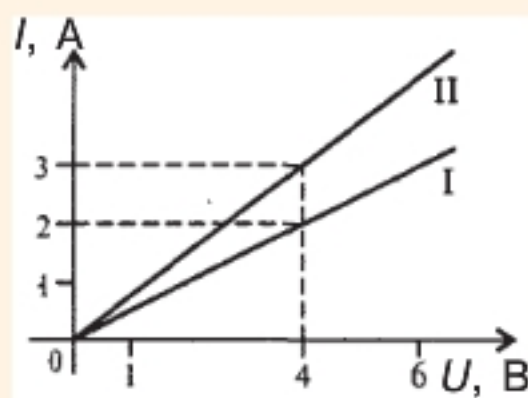
Завдання

- Розглянь лампочку для кишенькового ліхтарика і поясни написи на ній. Визнач за ними опір спіралі лампочки в робочому стані (мал. 132).



Мал. 132. Лампочка для кишенькового ліхтарика

- 2*. Дано графік залежності сили струму від напруги для двох провідників (мал. 133). Який із провідників має більший опір? Визнач опір кожного із провідників.
- 3**. Напруга на клемі електричної праски 220 В, опір нагрівального елемента праски 40 Ом. Яка сила струму проходить через праску?
- 4**. Сила струму в спіралі електричної лампи 0,7 А, опір лампи 280 Ом. Яка напруга на лампі?
- 5**. Який опір вольтметра, який розрахований на напругу 200 В, якщо сила струму в ньому не перевищує 0,02 А?
- 6***. Опір провідника довжиною 1 км дорівнює 5,6 Ом, сила струму в ньому 7 мА. Яка напруга на кінцях цього провідника? Чому дорівнює питомий опір речовини провідника, якщо його поперечний переріз дорівнює 4 мм²?
- 7***. Зварювальний апарат з'єднаний із джерелом струму залізними проводами довжиною 60 м і перерізом 30 мм². Яка напруга на проводах, якщо сила струму 25 А?
- 8***. За напруги 220 В сила струму в резисторі дорівнює 6 А. Якою буде сила струму в цьому резисторі, якщо напругу зменшити до 110 В? Якщо напругу зменшити в 4 рази?



Мал. 133. Графік залежності сили струму від напруги для двох провідників

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3 ВИМІРЮВАННЯ ОПОРУ ПРОВІДНИКА ЗА ДОПОМОГОЮ АМПЕРМЕТРА І ВОЛЬТМЕТРА

Мета. Навчитися вимірювати опір провідників за допомогою амперметра і вольтметра, використовуючи закон Ома для ділянки кола.

Вказівки до роботи

Опір провідника можна визначити за допомогою закону Ома для ділянки кола, вимірявши силу струму в провіднику і напругу на кінцях ділянки за допомогою амперметра і вольтметра відповідно: $R = \frac{U}{I}$.

Електричний опір провідника вимірюють в омах (Ом) або кратних йому одиницях — кілоомах (кОм) і мегаомах (МОм).

Увага! Обов'язково дотримуйся полярності вмикання вимірювальних приладів. Дотримуйся правил безпеки під час роботи з електричними приладами (див. с. 65 підручника).

Виконання роботи

Обладнання: джерело постійного струму, два дротяні резистори, ключ-вимикач, вольтметр, амперметр, з'єднувальні провідники.

1. Накресли схему для визначення електричного опору, що складається з послідовно з'єднаних джерела постійного струму, ключа, амперметра і двох дротяних резисторів.

2. Склади електричне коло і після перевірки його вчителем починай роботу.

3. Замкни електричне коло за допомогою ключа і виміряйте силу струму в колі. Запишіть її значення і вимкніть струм.

4. Приєднай вольтметр до першого резистора, увімкни струм і виміряй напругу на цьому резисторі. Запиши її значення і вимкни струм.

5. Приєднай вольтметр до другого резистора, увімкни струм і виміряй напругу на ньому. Запиши її значення і вимкни струм.

6. За отриманими даними обчисли значення опору першого $R_1 = \frac{U_1}{I}$ і другого $R_2 = \frac{U_2}{I}$ резисторів. Порівняй їх зі значеннями, позначеними на резисторах. Якщо між ними існує розбіжність, спробуй це пояснити.

7. Самостійно склади таблицю і занесіть виміряні дані.

8. Зроби висновок.

Запитання

1. Яка ціна поділки амперметра і вольтметра, що використовувались в цій роботі?

2. Які максимальні значення сили струму і напруги можна виміряти цими приладами?

3. Від чого залежить опір резисторів?

Додаткові завдання

1. Побудуй графік залежності сили струму від напруги для провідника опором 20 Ом.

2. Який опір мідного дроту довжиною 5 км і площею поперечного перерізу 0,85 мм²?

§ 36. Послідовне з'єднання провідників

**Думки вголос**

Я на дослідах вивчу закони послідовного з'єднання провідників, зможу розв'язувати задачі із застосуванням цих законів.

У побуті в електричне коло вмикають не один споживач, а багато: холодильник, телевізор, електричні лампочки і багато інших необхідних нам побутових приладів. А як вмикають споживачі вдома? Розрізняють такі види з'єднання провідників: послідовне і паралельне. Вивчимо їх особливості.

Кінець провідника лампи L_1 з'єднують з початком провідника L_2 (мал. 134). Якщо викрутити одну лампу, то інша не буде горіти — електричне коло розімкнеться.

Підключимо в таке електричне коло відразу три амперметри і три вольтметри за такою схемою (мал. 135).

Амперметри, підключені в різних точках послідовно з'єднаних споживачів, показують одне і те саме значення сили струму:

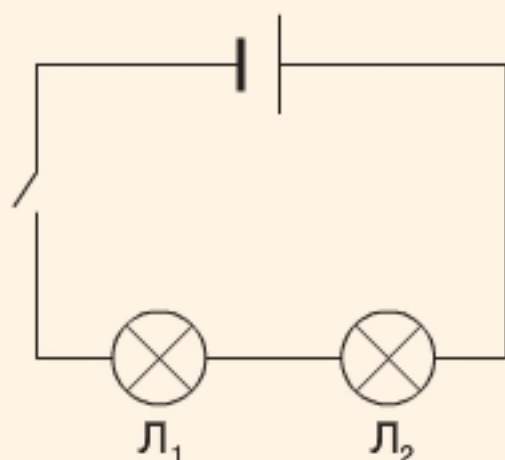
$$I_1 = I_2 = I_3.$$

У всіх точках кола послідовно з'єднаних провідників сила струму однакова.

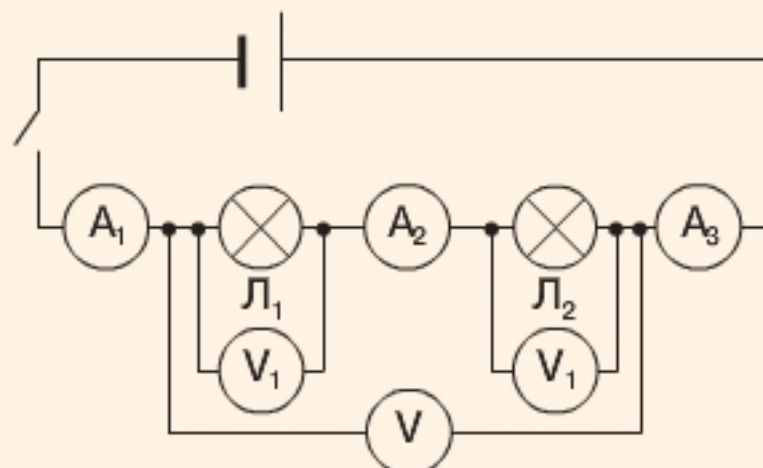
Загальний вольтметр буде показувати напругу, яка дорівнює сумі напруг на кожній із ламп:

$$U = U_1 + U_2.$$

Повна напруга на послідовно з'єднаних провідниках дорівнює сумі напруг на кожному провіднику окремо.



Мал. 134. Лампочки L_1 і L_2 підключені послідовно



Мал. 135. Підключення трьох амперметрів і трьох вольтметрів

Використаємо закон Ома і запишемо рівність $U = U_1 + U_2$. Так $IR = IR_1 + IR_2$. Скоротивши рівність на I , одержимо:

$$R = R_1 + R_2.$$

Опір послідовного з'єднання дорівнює сумі опорів провідників.

Всі закономірності справедливі для будь-якої кількості послідовно з'єднаних провідників.

Приклад. Дано три резистори $R_1 = 2 \text{ Ом}$; $R_2 = 1 \text{ Ом}$; $R_3 = 5 \text{ Ом}$. Яким одним еквівалентним резистором можна замінити послідовне з'єднання трьох резисторів?

Розв'язання:

$$R_1 + R_2 + R_3 = 2 \text{ Ом} + 1 \text{ Ом} + 5 \text{ Ом} = 8 \text{ Ом}.$$

Послідовне з'єднання резисторів 2 Ом, 1 Ом, 5 Ом можна замінити одним резистором 8 Ом.

Розв'язуючи задачі, часто використовують пропорцію

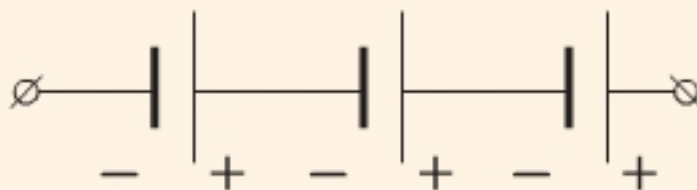
$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}.$$

Напруга на провідниках, з'єднаних послідовно, прямо пропорційна їхнім опорам (на більшому опорі більша напруга).



Для тих, хто хоче знати більше

Гальванічні елементи і акумулятори можна послідовно з'єднувати в батарею (мал. 136).



Мал. 136. Послідовне з'єднання джерел струму в батарею

За послідовного з'єднання гальванічних елементів їх напруга, а отже, і запас електричної енергії, збільшується: $U_{\text{загальне}} = U_1 + U_2 + U_3$.

Приклад. Якщо радіоприймач живиться від джерела струму напругою 9 В, це означає, що можна взяти шість батарей з напругою на вивідних клемах 1,5 В і з'єднати їх ($1,5 \text{ В} \cdot 6 = 9 \text{ В}$): «+» від одного елемента з «-» другого, «+» другого елемента з «-» третього і т. д. Головна незручність послідовно з'єднаних джерел електричного струму (як і споживачів) полягає в тому, що кожен із них є елементом електричного кола. Якщо виходить із ладу одне джерело електроенергії, то електричне коло розмикається.

Ця незручність усувається при паралельному з'єднанні джерел електричної енергії.



Підсумки

- Споживачі електричної енергії та джерела струму можна підключати послідовно.
- В разі послідовного з'єднання провідників є такі закономірності:

$$I = I_1 = I_2; I = \text{const}; \frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}.$$

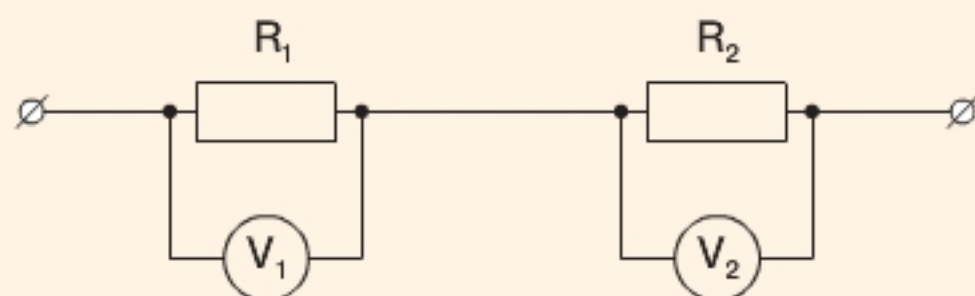
$$U = U_1 + U_2; R = R_1 + R_2.$$

- Головний **недолік** послідовного з'єднання: якщо виходить із ладу хоча б один елемент, то електричний струм в усьому колі зникає. Струм всіх споживачів однаковий. **Переваги:** можна вмикати в коло споживачі різних напруг.



Завдання

- 1*. Резисти з опорами 2 кОм і 8 кОм з'єднані послідовно. На якому із них більша напруга? У скільки разів?
- 2*. Накреслити електричну схему, в яку входить джерело струму, три однакові лампи і три резистори включено послідовно.
- 3*. Два резистори 1 Ом і 4 Ом з'єднані послідовно. Сила струму 1 А. Який опір такої ділянки кола? Яка напруга на кожному резисторі і на всій ділянці?
- 4**. На схемі показано ділянку кола із з'єднання двох резисторів $R_1 = 8 \text{ Ом}$ і $R_2 = 4 \text{ Ом}$. Вольтметр, підключений до першого резистора, показує $U_1 = 2 \text{ В}$. Яка сила струму на ділянці кола?



- 5**. Чи можна увімкнути в мережу напругою 220 В реостат, на якому написано: а) 30 Ом 5 А; б) 2000 Ом 0,2 А?
- 6***. Електричне коло складається з трьох послідовно з'єднаних провідників, приєднаних до джерела напругою 36 В. Опір першого 4 Ом, другого — 6 Ом, третього — 2 Ом. Знайти силу струму і напругу на кожному резисторі.
- 7***. Ділянка кола складається зі сталевого дроту завдовжки 2 м і площею поперечного перерізу 0,48 мм², з'єданого послідовно з нікеліновим дротом завдовжки 1 м і площею поперечного перерізу 0,21 мм². Яку напругу треба підвести до ділянки, щоб отримати силу струму 0,6 А?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО КОЛА З ПОСЛІДОВНИМ З'ЄДНАННЯМ ПРОВІДНИКІВ

Мета. Розвинути вміння вимірювати силу струму і напругу; експериментально перевірити закономірності послідовного з'єднання провідників.

Вказівки до роботи

У разі послідовного з'єднання провідників справджуються такі твердження:

- сила струму I у кожній точці такої ділянки кола однакова:

$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n;$$

- загальна напруга дорівнює сумі напруг на окремих ділянках кола:

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n;$$

- загальний опір ділянки кола дорівнює сумі опорів окремих провідників, що її утворюють:

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n.$$

Крім того, у разі послідовного з'єднання провідників співвідношення значень напруги на ділянках кола прямо пропорційне до їхніх опорів:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}.$$

Виконання роботи

Увага! Повтори правила безпеки під час роботи з електричними приладами (див. с. 65–66 підручника).

Обладнання: джерело струму, амперметр, вольтметр, резистори 10 Ом і 20 Ом, реостат, з'єднувальні провідники (використайте схеми та теоретичний матеріал § 36).

1. Складіть електричне коло з послідовно з'єднаних елементів: джерела постійного струму, вимикача, реостата, амперметра і двох резисторів.

2. Приєднайте вольтметр паралельно резистору $R_1 = 10$ Ом. Увімкніть вимикач. Виміряйте силу струму I_1 в електричному колі та напругу U_1 на резисторі R_1 . Вимкніть струм.

3. Приєднайте вольтметр паралельно резистору $R_2 = 20$ Ом. Увімкніть вимикач. Виміряйте силу струму I_2 в електричному колі та напругу U_2 на резисторі R_2 . Вимкніть струм.

4. Приєднайте вольтметр паралельно послідовно з'єднаним резисторам R_1 та R_2 . Увімкніть вимикач. Виміряйте силу струму I в електричному колі та напругу U . Вимкніть струм.

5. Обчисліть опір для кожного з вимірювань за формулою:

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

6. Результати вимірювань та обчислень запишіть у таблицю.

I_1, A	I_2, A	I, A	$U_1, \text{В}$	$U_2, \text{В}$	$U, \text{В}$	$R_1, \text{Ом}$	$R_2, \text{Ом}$	$R, \text{Ом}$

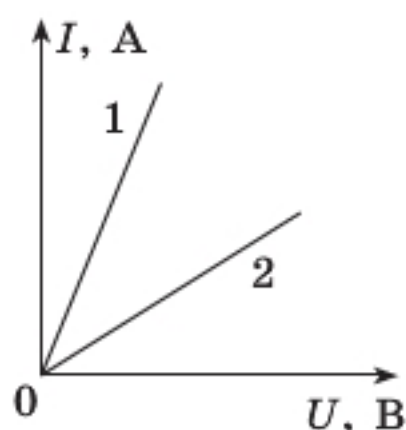
7. Перевірте виконання співвідношень для послідовного з'єднання провідників і зробіть висновок.

Запитання

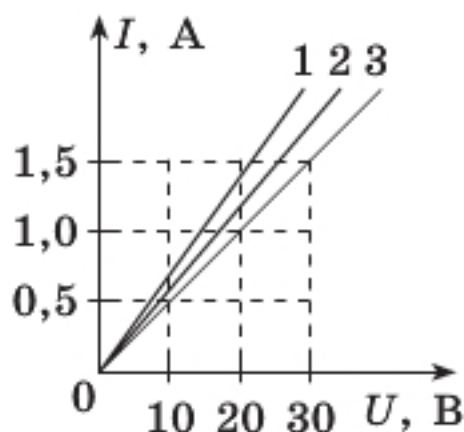
1. Яка залежність між силою струму і напругою на окремих резисторах, з'єднаних послідовно?
2. Із якого матеріалу виготовляють резистори?
3. Як впливає температура на зміну опору резисторів?

Додаткові завдання

1. На малюнку зображено графіки залежності сили струму від напруги для двох провідників. Який із провідників має більший опір?



2. На малюнку зображено графіки залежності сили струму від напруги для трьох провідників. Який опір кожного з них?



§ 37. Паралельне з'єднання провідників



Думки вголос

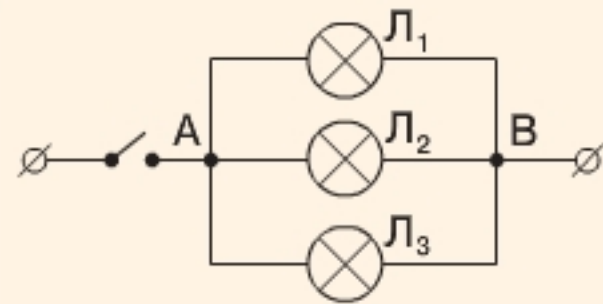
Я вивчу паралельне з'єднання провідників, яке широко застосовують на практиці. Ці знання потрібні в житті для розв'язування багатьох практичних завдань.

Другий спосіб з'єднання провідників, який застосовують на практиці, називають **паралельним з'єднанням**. Якщо одні кінці споживачів з'єднують в одній точці, а інші кінці — в іншій, то це називають паралельним з'єднанням провідників.

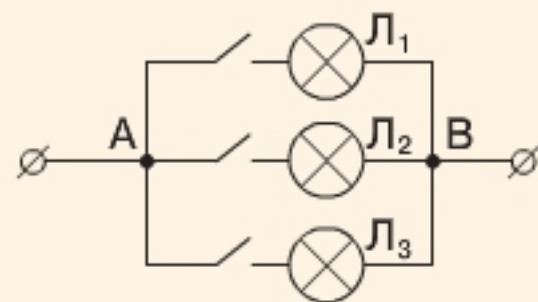
Приклад паралельного з'єднання трьох ламп зображено на малюнку 137. У цій ділянці кола один вимикач вмикає і вимикає відразу три лампи (точки А і В — точки розгалуження).

На малюнку 138 кожен вимикач, незалежно від інших, вмикає і вимикає окрему лампу.

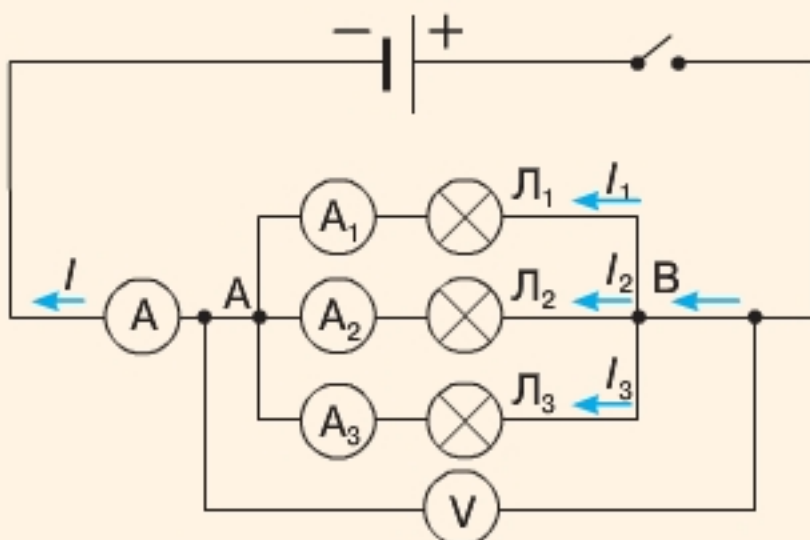
Щоб вивчити закономірності паралельного з'єднання споживачів струму, зберемо електричне коло з амперметрами і вольтметром (мал. 139).



Мал. 137. Приклад паралельного з'єднання провідників



Мал. 138. Кожен вимикач вмикає і вимикає окрему лампу



Мал. 139.
Схема електричного кола з амперметром і вольтметром

A_1, A_2, A_3 — амперметри, які вимірюють силу струму в окремій ділянці паралельного з'єднання. A — амперметр, який вимірює силу струму в провіднику після розгалуження.

Оскільки кінці всіх гілок розгалуженої ділянки з'єднують в одних і тих самих точках A і B , то напруга на кінцях всього розгалуження дорівнює напрузі на окремих гілках:

$$U = U_1 = U_2 = U_3; U = \text{const.}$$

Виміри сили струму амперметрами показують, що сила струму в нерозгалуженій частині кола при паралельному з'єднанні дорівнює сумі сил струмів в окремих гілках розгалуження:

$$I = I_1 + I_2 + I_3.$$

(Перевірку справедливості цієї рівності здійснимо під час лабораторної роботи на наступному уроці.)

Використаємо формулу закону Ома і одержимо:

$$\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} + \frac{U}{R_3}.$$

Оскільки $U = \text{const}$, то цю рівність можна скоротити на U :

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}.$$

Де R — загальний опір паралельного з'єднання провідників; R_1, R_2, R_3 — опори провідників, з'єднаних паралельно (на схемі це опори ламп).

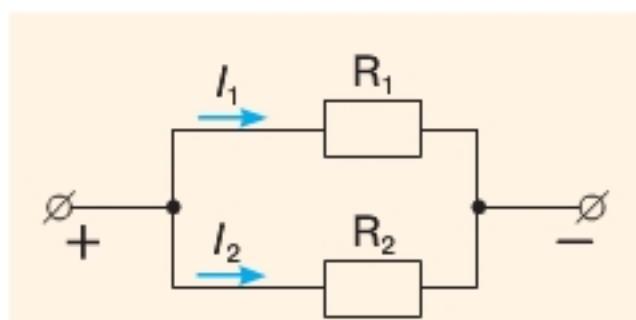
Якщо у нас буде паралельне з'єднання довільної n кількості однакових провідників, то

$$R_{\text{загальне}} = \frac{R}{n}.$$

У разі паралельного з'єднання ми ніби збільшуємо площу поперечного перерізу, тому загальний опір у ділянках розгалуження буде меншим.

Приклад паралельного з'єднання двох резисторів зображено на малюнку 140.

$$\frac{1}{R_{1,2}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}; \quad R_{1,2} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}; \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}.$$



Мал. 140. Приклад паралельного з'єднання двох резисторів

Сила струму в провідниках, з'єднаних паралельно, обернено пропорційна опорам цих провідників (через більший опір проходить менший струм).

Перевага паралельного з'єднання: якщо є розрив в одній із ділянок розгалуження, то струм в інших ділянках проходить.

Недоліки паралельного з'єднання: що більше ми приєднуємо споживачів, то більша сила струму в колі, а опір менший — може статися коротке замикання.

Споживачі, які вмикають в мережу паралельно, повинні бути розраховані на однакову напругу, рівну напрузі в мережі. У будинках для освітлення і в побутових приладах напруга 127 В і 220 В — така сама, як і в мережі.

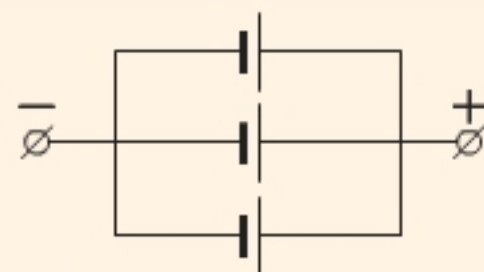
На практиці часто застосовують змішане (паралельне і послідовне) з'єднання провідників.



Для тих, хто хоче знати більше

Джерела струму теж можна з'єднувати паралельно в батарею (мал. 141). Але при цьому обов'язково необхідно дотримуватися правила: мінус «-» з'єднують з мінусом «-», а плюс «+» з плюсом «+».

Паралельне з'єднання джерел використовують для того, щоб отримати однакове значення напруги з більшим запасом електроенергії. Для цього необхідно однакові клеми декількох елементів живлення з'єднати між собою. У результаті ми отримаємо спільний «+» та спільний «-». За такого з'єднання напруга на спільних клеммах не змінюється, а запас електричної енергії збільшується. Необхідно пам'ятати, що паралельно можна з'єднувати між собою лише ті джерела електричної енергії, які мають однакову напругу. Найпростішим та безпечним джерелом живлення є звичайні батарейки. Однак вони досить малі за потужністю — їх вистачає на короткий час. Тому, з'єднавши їх паралельно, можна підвищити потужність джерела живлення. З'єднувати необхідно однакові за характеристиками джерела струму.



Мал. 141. Паралельне з'єднання джерел струму в батарею

Приклад розв'язування задач. В освітлювальну мережу кімнати ввімкнули дві електричні лампи опором 200 Ом і 300 Ом. Напруга в мережі 120 В. Визначити силу струму в кожній лампі, силу струму в проводах до розгалуження, загальний опір ламп.

Дано:

$$R_1 = 200 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 300 \text{ Ом}$$

$$U = 120 \text{ В}$$

$$I_1 = ? \quad I_2 = ?$$

$$I = ? \quad R = ?$$

Розв'язання

Лампи з'єднані паралельно, отже, напруга в мережі дорівнює напрузі на кожній лампі:

$$U_1 = U_2 = U = 120 \text{ В.}$$

Згідно із законом Ома можна визначити силу

$$\text{струму в кожній лампі: } I_1 = \frac{U}{R_1}; \quad I_2 = \frac{U}{R_2}.$$

$$I_2 = \frac{120 \text{ В}}{300 \text{ Ом}} = 0,4 \text{ А}; I_1 = \frac{120 \text{ В}}{200 \text{ Ом}} = 0,6 \text{ А}.$$

Сила струму до розгалуження: $I = I_1 + I_2$.

$$I = 0,6 + 0,4 = 1 \text{ А}.$$

Загальний опір ділянки кола, яка складається із двох паралельно з'єднаних ламп, знаходимо згідно із закономірністю:

$$\frac{1}{R_{1,2}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}.$$

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{200} + \frac{1}{300} \quad R = 120 \text{ Ом} \quad \text{або} \quad R_{1,2} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{200 \cdot 300}{200 + 300} = 120 \text{ (Ом)}.$$

Відповідь: $I_1 = 0,6 \text{ А}; I_2 = 0,4 \text{ А}; I = 1 \text{ А}; R = 120 \text{ Ом}.$

Ми переконались, що загальний опір кола $R = 120 \text{ Ом}$ менший за опір кожного із провідників $R_1 = 200 \text{ Ом}$, $R_2 = 300 \text{ Ом}$, з'єднаних паралельно.



Підсумки

- У разі паралельного з'єднання провідників одні кінці споживачів з'єднують в одну точку (вузол), а інші — в другу точку (вузол).
- Паралельне з'єднання провідників має такі закономірності:

$$U = U_1 = U_2 = U_3; U = \text{const.}$$

$$I = I_1 + I_2 + I_3$$

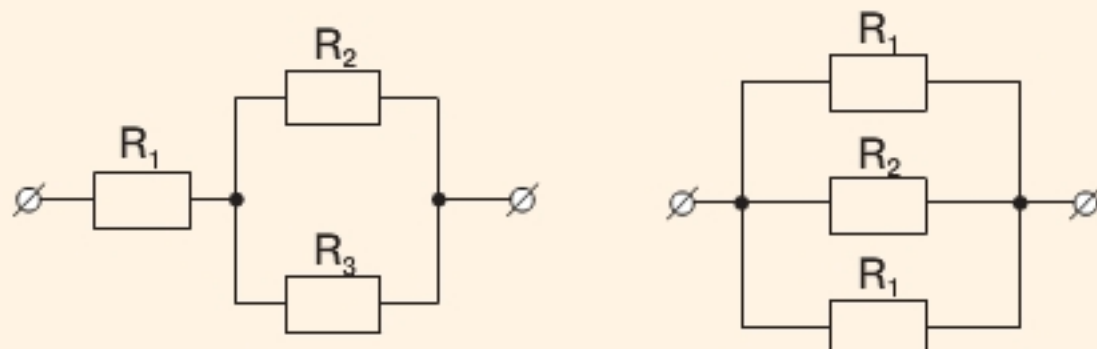
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}.$$

- На практиці часто використовують змішане з'єднання споживачів електричного струму.

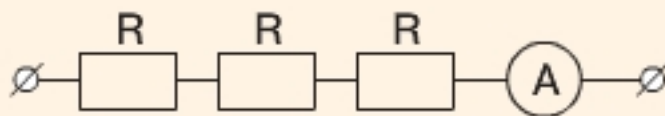


Завдання

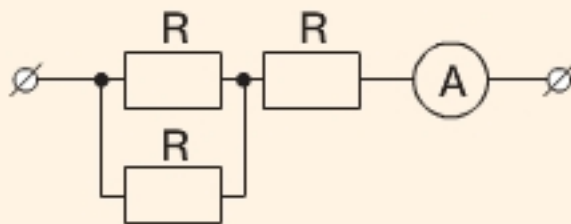
- 1*. Розрахувати загальний опір ділянок кола, утворених з'єднанням трьох резисторів: $R_1 = R_2 = R_3 = 10 \text{ Ом}$ (мал. 142).
- 2*. Накреслити схему включення люстри з трьома лампами, якщо за допомогою одного вимикача вмикають одну лампу, а з допомогою іншого — дві інші.



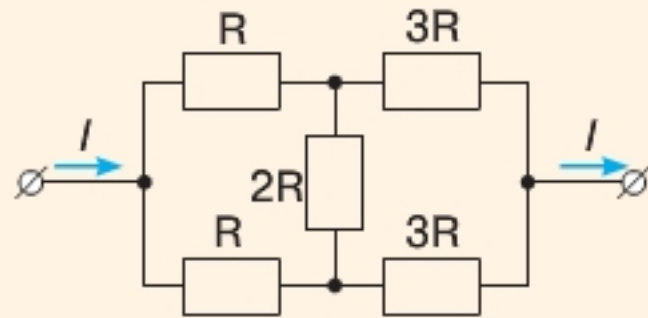
Мал. 142. Ділянки кола, утворені з'єднанням трьох резисторів



№ 1



№ 2



Мал. 143. Схеми підключення

Мал. 144. Схема підключення

- 3*. Два однакові резистори підключено паралельно. Який опір цього з'єднання?
- 4*. Як потрібно підключити лампи, розраховані на напругу 220 В, до мережі 220 В? Як вплине перегорання однієї лампи на роботу інших?
- 5*. Два резистори підключені паралельно, через перший резистор протікає в 4 рази більший струм, ніж через другий. Опір якого резистора більший і у скільки разів?
- 6**. Які опори можна одержати, маючи три резистори по 6 кОм? Намалювати схеми можливих з'єднань.
- 7**. У скільки разів зміняться показання амперметра, якщо від схеми 1 перейти до схеми 2 (мал. 143)? Напруга на ділянках однакова.
- 8***. Дріт було розрізано на три однакові частини, які потім було з'єднано паралельно. Опір такого з'єднання — 3 Ом. Який був опір дроту до розрізання?
- 9***. Знайти загальний опір кола (мал. 144).
- 10***. Однорідний дріт опором 360 Ом склали у кільце. У яких точках цього кільця потрібно підключитися, щоб отримати опір 80 Ом?

Додаткові завдання

1. Намалюй схему з'єднання батарейки, лампочки і двох вимикачів, щоб лампочка загорялась при включенні дзвоника, але могла вимикатися і при непрацюючому дзвоніку.
2. Намалюй схему з'єднання батарейки двох лампочок і трьох вимикачів, щоб вмикання і розмикання кожної лампочки здійснювалось своїм вимикачем, а третій вимикач зміг відімкнути відразу дві лампочки.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5 ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО КОЛА З ПАРАЛЕЛЬНИМ З'ЄДНАННЯМ ПРОВІДНИКІВ

Мета. Розвивати вміння досліджувати електричні кола та експериментально перевірити закономірності паралельного з'єднання провідників.

Вказівки до роботи

У разі паралельного з'єднання провідників справджуються такі твердження:

- сила струму до розгалуження кола дорівнює сумі сил струмів в окремих його ділянках:

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n;$$

- напруга на всіх паралельно з'єднаних ділянках кола однакова:

$$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n;$$

- величина, обернена до загального опору розгалуження, дорівнює сумі обернених величин опорів кожної з ділянок кола:

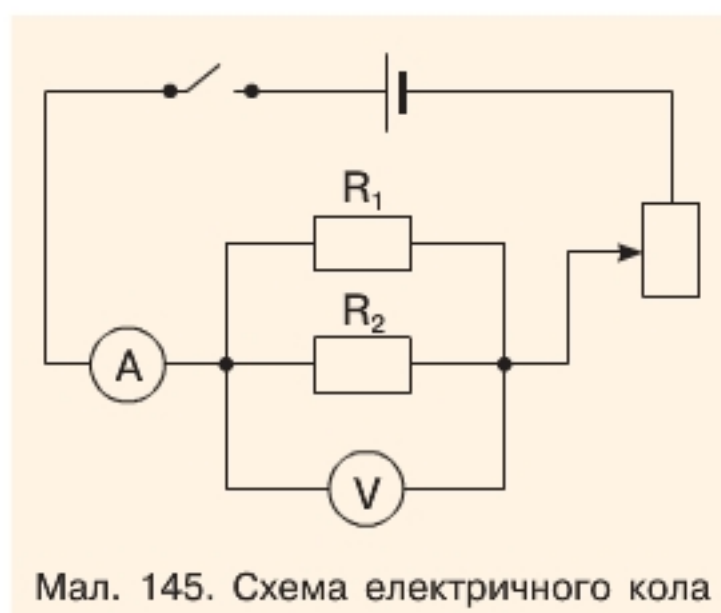
$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}.$$

Виконання роботи

Увага! Повтори правила безпеки під час роботи з електричними приладами (див. с. 65–66 підручника).

Обладнання: джерело струму, амперметр, вольтметр, резистори 10 Ом і 20 Ом, реостат, з'єднувальні провідники (використайте схеми та теоретичний матеріал § 37).

1. Зберіть електричне коло за схемою (мал. 145).



Мал. 145. Схема електричного кола

2. Виміряйте силу струму в колі та напругу на ділянці кола, яка містить два паралельні резистори. Обчисліть опір ділянки за формулою: $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$.

3. Накресліть коло для вимірювання сили струму та напруги на першому резисторі. Проведіть вимірювання та обчислення опору першого резистора за формулою: $I_1 = \frac{U}{R_1}$.

4. Накресліть коло для вимірювання сили струму та напруги на другому резисторі. Проведіть вимірювання та обчислення опору другого резистора за формулою: $I_2 = \frac{U}{R_2}$.

5. Результати вимірювань та обчислень занесіть у таблицю.

№	Напруга U , В	Сила струму I , А	Опір R , Ом
1			
2			
3			

6. Перевірте виконання законів паралельного з'єднання провідників:

$$U = U_1 = U_2$$

$$I = I_1 + I_2$$

7. Поясніть можливу невелику розбіжність результатів.

8. Зробіть висновок.

Запитання

1. Яка залежність між силою струму і опором у разі паралельного з'єднання?

2. Яка ціна поділок та максимальне значення приладів в даній роботі?

3. Що таке реостат? Для чого його використовують?

4. Яка відмінність між приладами: резистор, реостат, потенціометр?

Додаткове завдання

Резистори, опори яких 2 кОм і 3 кОм, з'єднано паралельно і під'єднано до джерел постійної напруги 15 В. Визнач силу струму в кожному з резисторів та опір кола.

§ 38. Робота й потужність електричного струму

**Думки вголос**

Я вивчу, як можна розрахувати роботу і потужність електричного струму, знатиму необхідні для цього прилади.

Електричний струм проявляє себе в різних діях: тепловій (провідник нагрівається), механічній (електродвигун приводить в рух машини і механізми), хімічній (заряджання акумулятора). У цих випадках відбувається перехід енергії електричного поля в інші види енергії. Ми знаємо, що будь-які перетворення енергії одного виду в інший характеризуються виконанням роботи. Роботу можна знайти за формулою фізичного змісту напруги:

$$U = \frac{A}{q}; \rightarrow A = U \cdot q.$$

Щоб визначити роботу електричного струму на будь-якій ділянці кола, необхідно напругу на цій ділянці помножити на заряд, який пройшов через цю ділянку.

Електричний заряд можна знайти таким чином: силу струму в ділянці кола помножити на час проходження струму в цій ділянці:.

$q = I \cdot t$, де t — час проходження, I — сила струму.

Отже, $A = U \cdot I \cdot t$

$[A] = 1 \text{ Дж}$ (відомо з курсу фізики 7 класу, що $1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м}$).

В електриці $1 \text{ Дж} = 1 \text{ В} \cdot 1 \text{ А} \cdot 1 \text{ с}$, $1 \text{ Дж} = 1 \text{ В} \cdot \text{А} \cdot \text{с}$.

Робота електричного струму на ділянці кола дорівнює добутку напруги на кінцях цієї ділянки на силу струму і час, протягом якого виконувалась робота.



Мал. 146. Лічильник

Із формули $A = U \cdot I \cdot t$ можна зробити висновок, що для вимірювання роботи електричного струму необхідні такі прилади: вольтметр, амперметр і годинник. Але на практиці роботу електричного струму вимірюють спеціальними приладами — лічильниками (мал. 146).

Швидкість виконання роботи електричного струму характеризує потужність струму:

$$P = \frac{A}{t}; \quad 1 \text{ Вт} = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ с}}.$$

Потужність електричного струму — це фізична величина, що чисельно дорівнює роботі електричного струму, виконаній в одиницю часу.

Оскільки $A = U \cdot I \cdot t$, то $P = U \cdot I$.

Отже, потужність електричного струму визначається добутком напруги на силу струму.

$$[P] = 1 \text{ В} \cdot 1 \text{ А} = 1 \text{ Вт (Ват)}$$

$$1 \text{ кВт} = 1000 \text{ Вт};$$

$$1 \text{ МВт} = 1\,000\,000 \text{ Вт}.$$

Вимірювати потужність струму можна за допомогою вольтметра і амперметра (їх показання потрібно помножити). Існують спеціальні прилади для вимірювання потужностей електричного струму — *ватметри* (мал. 147). Їх схематичне позначення зображено на малюнку 148.

Потужність струму завжди вказують в паспортах споживачів струму. На практиці роботу електричного струму зручно знаходити через добуток потужності і часу:

$$A = P \cdot t;$$

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

Квартирний лічильник роботи струму дає показання в одиницях кВт · год (мал. 149):

$$1 \text{ Вт} \cdot \text{год} = 3600 \text{ Вт} \cdot \text{с} = 3600 \text{ Дж}$$

$$1 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 1000 \text{ Вт} \cdot \text{год} = \\ = 3\,600\,000 \text{ Дж}.$$

Приклад розв'язування задач. Електрична лампа в кімнаті має потужність 60 Вт і робочу напругу 220 В. Яку роботу виконує електричний струм протягом місяця (30 днів), якщо цю лампу використовують щодня протягом 3 годин? Який струм протікає через спіраль лампи і який її опір?

Дано:

$$P = 60 \text{ Вт}$$

$$U = 220 \text{ В}$$

$$t = 3 \text{ год} \cdot 30$$

$$A — ?, I — ?$$

$$R — ?$$

Розв'язання

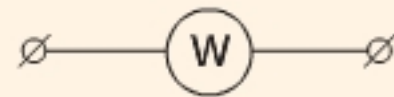
$$\text{Час роботи лампи: } t = 3 \text{ год} \cdot 30 = 90 \text{ год}.$$

За цей час електричний струм виконує роботу:

$$A = P \cdot t; A = 60 \text{ Вт} \cdot 90 \text{ год} = \\ = 5400 \text{ Вт} \cdot \text{год} = 5,4 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$



Мал. 147. Ватметри



Мал. 148.
Схематичне позначення ватметрів



Мал. 149.
Електролічильник струму

Якщо ми знаємо тариф, то можна взнати вартість цієї роботи. Якщо тариф 52 к/кВт · год, то, помноживши на число 5,4 кВт · год, ми знайдемо вартість: 52 коп/кВт · год · 5,4 кВт · год = 280,8 к. = 2 грн 80 к.

Через спіраль електричної лампи протікатиме струм:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{220 \text{ В}}{0,3 \text{ А}} = 730 \text{ Ом.}$$

Згідно із законом Ома знайдемо опір спіралі електричної лампи:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{230 \text{ В}}{0,3 \text{ А}} = 730 \text{ Ом.}$$

Відповідь: $A = 5,4 \text{ кВт} \cdot \text{год}$; $I = 0,3 \text{ А}$; $R = 730 \text{ Ом}$.



Підсумки

- Щоб визначити роботу електричного струму, треба помножити силу струму, напругу і час проходження струму: $A = U \cdot I \cdot t$.
- Роботу електричного струму вимірюють в джоулях: $1 \text{ Дж} = 1 \text{ В} \cdot \text{А} \cdot \text{с}$.
- Швидкість виконання роботи електричним струмом визначають потужністю: $P = \frac{A}{t}$; $P = U \cdot I$; $[P] = 1 \text{ Вт}$; $1 \text{ Вт} = 1 \text{ В} \cdot 1 \text{ А}$; $1 \text{ Дж} = 1 \text{ Вт} \cdot \text{с}$.
- У практичних цілях використовують несистемні одиниці вимірювання роботи електричного струму: $1 \text{ кВт} \cdot \text{год}$.



Завдання

- 1*. Яку роботу щосекунди виконує двигун електродріля, якщо напруга 220 В, а сила струму 4 А?
- 2*. Як зміниться потужність електричного струму, що споживає спіраль електроплитки, якщо після ремонту спіраль дещо скоротили?
- 3*. На цоколі лампи розжарення написано 48 В, 96 Вт. Яка сила струму протікає через лампу, коли вона працює за номінальної потужності?
- 4*. Яку потужність має електричний струм в автомобільній лампі, якщо до неї підведено напругу 14,4 В, а сила струму дорівнює 7,5 А?
- 5**. Потужність електричної праски дорівнює 0,6 кВт. Яка сила струму протягом 0,5 години?
- 6**. Яку роботу здійснює електричний струм в електричному двигуні за 15 хвилин, якщо сила струму в мережі 0,5 А, а напруга на клеммах електродвигуна 12 В?
- 7**. Два резистори, по 5 Ом кожний, з'єднані спочатку послідовно, а потім паралельно і щоразу підключені до напруги 4,5 В. У якому випадку робота струму за однаковий час буде більшою і в скільки разів?

- 8**.** В люстру вставлено дві лампочки 30 Вт і 60 Вт, розраховані на напругу 220 В. Якою з лампочок тече більший струм, у скільки разів?
- 9***.** Двигун кондиціонера споживає силу струму 5 А від мережі напругою 220 В. Яку корисну роботу виконує двигун за 20 хв, якщо його ККД = 85 %?
- 10***.** Двигун ліфта працює від мережі 220 В. Його ККД становить 70 %. Яку силу струму споживає двигун ліфта, якщо він рівномірно підіймає кабінку з вантажем масою 600 кг зі швидкістю 2 м/с?



А ти знаєш?

Скільки коштує блискавка?



В далекі часи, коли блискавки приписували «богам», подібне питання було б дивним. Зараз, коли електрична енергія перетворилась на товар, який вимірюють і оцінюють, таку задачу можна вирішити.

Розрахунки цієї задачі.

Грозовий розряд відбувається при напрузі приблизно 50 млн В. Максимальна сила струму при цьому 200 000 А. Знайдемо потужність, враховуючи те, що при разряді електрична напруга спадає до нуля, візьмемо половину значення напруги:

$$P = \frac{50\,000\,000 \cdot 200\,000}{2} = 5\,000\,000\,000\,000 \text{ (Вт)} = 5 \text{ млрд кВт.}$$

Щоб отримати енергію блискавки в кВт · год, треба врахувати час електричного розряду (біля тисячної долі секунди).

$$\text{Отримуємо: } E = \frac{5\,000\,000\,000}{3600 \cdot 1000} = 1400 \text{ (кВт} \cdot \text{год).}$$

Візьмемо тариф: 2 грн/кВт·год.

$$\begin{aligned} \text{Отримуємо вартість: } & 2 \text{ грн/кВт} \cdot \text{год} \cdot 1400 \text{ кВт} \cdot \text{год} = \\ & = 2800 \text{ грн.} \end{aligned}$$

Висновок: Якщо знати фізичні формули, то можна розв'язувати і такі «фантастичні задачі».

§ 39. Теплова дія електричного струму.

Закон Джоуля–Ленца. Електронагрівальні прилади



Думки вголос

Я знатиму закон, яким буду користуватися, пояснюючи дії електричних теплових приладів.

Електричний струм нагріває провідники. Це явище нам дуже добре відоме. Його використовують в багатьох електричних приладах (праска, електрична піч, нагрівач). Нагрівання провідників пояснюють тим, що в металах вільні електрони, переміщуючись під дією електричного поля, взаємодіють з йонами кристалічних ґраток і передають їм свою енергію. Внутрішня енергія провідника збільшується за рахунок роботи електричного струму, завдяки чому виникає тепловий ефект. Нагріваються не лише металеві провідники, але й рідини і гази, коли через них проходить електричний струм.

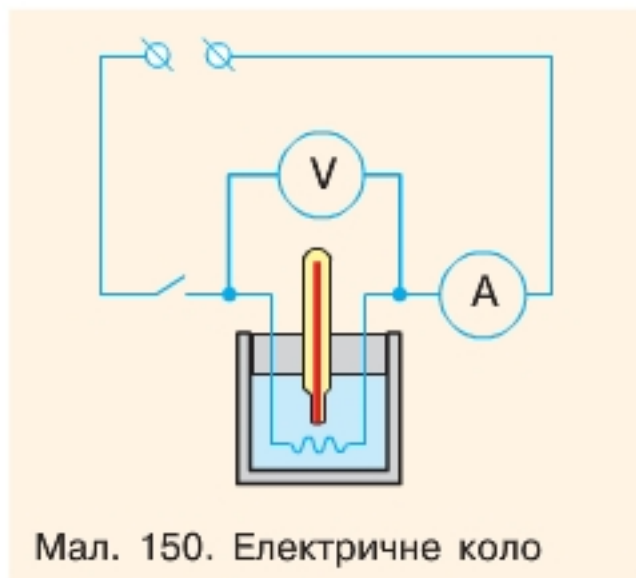
У XIX столітті незалежно один від одного англієць Дж. Джоуль і російський фізик Е. Х. Ленц вивчали нагрівання провідників електричним струмом і експериментально встановили такий закон, який отримав назву закон Джоуля–Ленца:

Кількість теплоти, яка виділяється в провіднику зі струмом, прямо пропорційна квадрату сили струму, опору провідника і часу проходження струму:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t$$

Цей закон можна отримати не лише експериментально, а й теоретично, якщо прирівняти кількість теплоти, яка виділяється в провіднику, і роботу струму, вважаючи що вона йде на виділення тепла: $A = Q$; $A = U \cdot I \cdot t$. Значить, $Q = U \cdot I \cdot t$. За законом Ома: $U = I \cdot R$, $Q = I^2 \cdot R \cdot t$. Можна ще записати формулу для кількості теплоти іншого виду:

$$Q = \frac{U^2}{R} \cdot t.$$



Мал. 150. Електричне коло

Експериментально закон Джоуля–Ленца можна перевірити, зібравши таке електричне коло: калориметр з водою, металева спіраль, термометр, вольтметр, амперметр, джерело струму (мал. 150).

Кількість теплоти, яка виділиться в цьому досліді в спіралі, знаходимо за двома формулами*:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta t^\circ \quad (1)$$

$$Q = I \cdot U \cdot t. \quad (2)$$

* Щоб не плутати значення символів у формулах (1) і (2), температуру позначено як t° .



Мал. 151. Електронагрівальні прилади

Значення кількості теплоти, підраховані за формулами (1) і (2), повинні збігатися, що і підтверджує справедливість закону Джоуля—Ленца.

Електронагрівальні прилади (мал. 151) знайшли широке застосування в нашому житті. Основною частиною таких приладів є *нагрівальний елемент*. Зазвичай це ніхромовий дріт, закручений у вигляді спіралі. В електрокамінах нагрівальні спіралі розміщують всередині трубок із жаростійкого скла. У сучасних прасках дрітятьні спіралі розміщують всередині металевих трубок. Їх заповнюють спеціальною ізоляційною речовиною, щоб витки спіралі не дотикались один до одного та до металевих трубок. Використання ніхрому — речовини з великим питомим опором — і щільне розміщення ніхромової спіралі веде до того, що основна кількість теплоти виділяється саме в нагрівальному елементі, а не в підвідних проводах.

Користуючись електричними побутовими приладами, потрібно пам'ятати, що одночасне вмикання потужних електроприладів може привести до значного збільшення сили струму, сильного нагрівання проводів, і, як наслідок, до загоряння ізоляції.

В освітлювальну мережу квартир обов'язково включають запобіжники (мал. 152, а, б). Їх призначення — відразу вимкнути лінію, якщо сила струму стане більшою за норму.



Мал. 152. Запобіжники: а — плавкі; б — автоматичні

Автоматичний вимикач (запобіжник) призначений для захисту кабелів, проводів і споживачів від перевантаження і короткого замикання, виконує одночасно функції захисту і управління. Під час проходження струмів через автоматичний вимикач зі значеннями, що перевищують допустимі, відбувається нагрів біметалічної пластини, що призводить до її згину і розчіплювання контактів. **Біметалева пластина** — це пластина з двох різних металів, які, нагріваючись, по-різному змінюють свою довжину.



Підсумки

- Провідники нагріваються, коли через них проходить електричний струм. Теплова дія струму використовується в електронагрівальних приладах.
- Кількість теплоти, яка виділяється при проходженні електричного струму, визначають за законом Джоуля—Ленца: $Q = I^2 \cdot R \cdot t$.



Перевір свої знання

- 1*. Спираль електроплитки дуже сильно нагрівається під час проходження нею електричного струму. Чому значно менше нагріваються дроти, за допомогою яких електроплитка підключена до джерела струму?
- 2*. Чому для плавких запобіжників не використовують залізний дріт замість свинцевого?
- 3*. Чому у плавких запобіжниках використовують дріт, набагато тонший, ніж у проводах, що з'єднують джерело струму та споживачів?



Завдання

- 1**. Яка кількість теплоти виділиться за 1 хвилину в резисторі опором 60 Ом, якщо до нього прикладена напруга 20 В?
- 2**. Скільки часу була включена електрична праска потужністю 1,5 кВт, якщо витрати енергії склали 180 кДж?
- 3**. Яка кількість теплоти виділиться в нитці електролампи за 1 годину, якщо ниткою лампи проходить струм 1 А за напруги 100 В?
- 4**. Плавкий запобіжник, розрахований на силу струму 10 А, увімкнений в мережу напругою 220 В. Який може бути загальний опір всіх приладів, увімкнених в мережу?
- 5***. В електричному чайнику за 10 хв можна нагріти 0,2 л води на 10 °С. Скільки води можна нагріти на 10 °С за 10 хв в цьому чайнику, якщо збільшити напругу в мережі вдвічі? Теплові втрати не враховувати.
- 6***. Яку масу води можна нагріти від 25 °С до 75 °С за 4 хв з електричним нагрівачем, який виготовлено з 11 м нікелінового дроту з площею перерізу 0,5 мм², якщо нагрівач живиться від мережі 220 В і його ККД 75 %?

§ 40. Електричний струм у розчинах і розплавах електролітів. Закон Фарадея для електролізу



Думки вголос

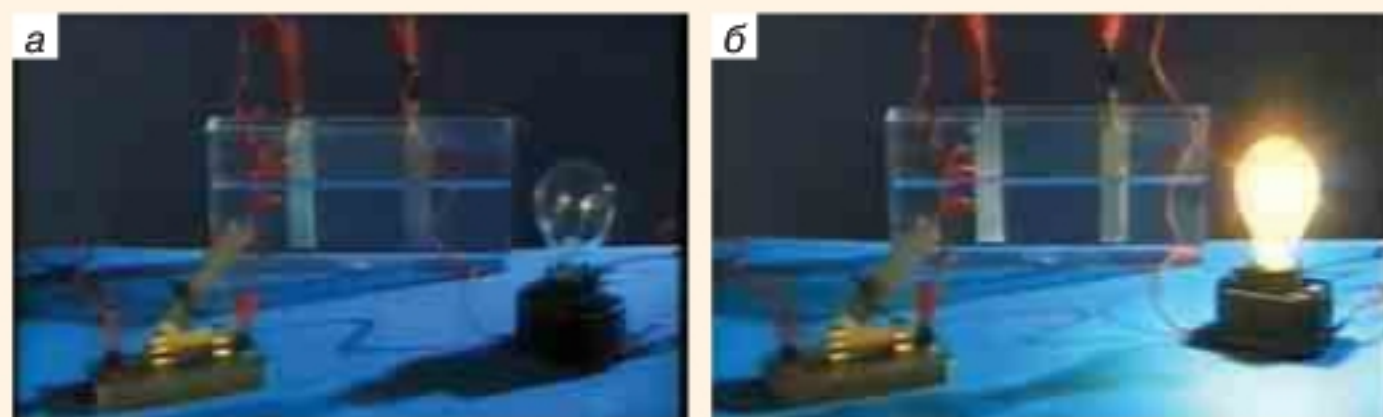
Я знатиму закон, який можна використати для розрахунків задач на електроліз. Зможу пояснювати проходження електричного струму через електроліт.

Електричний струм проходить не лише у твердих тілах, а може бути і в рідинах, якщо вони є електролітами. Водні розчини солей, кислот і основ, а також їх розплави є найкращими електролітами. Носіями струму в них є йони.

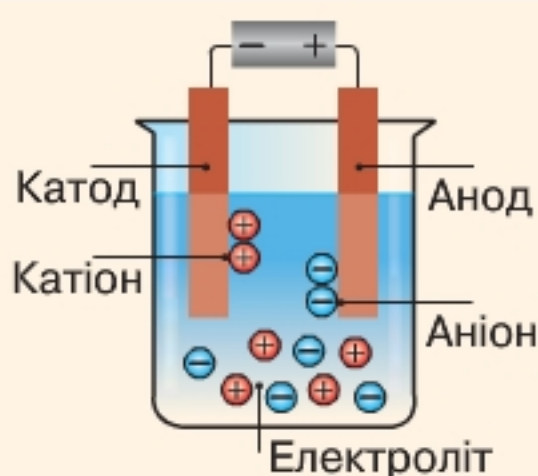
Дослід. З'єднаємо послідовно джерело струму, лампу, посудину з дистильованою водою, в яку вставлені вугільні електроди. Лампа не горить (мал. 153, а). Чиста дистильована вода (H_2O) практично діелектрик. Кинемо у воду поварену сіль (NaCl). Лампа почне світитися (мал. 153, б). Водний розчин повареної солі — провідник електрики. Якщо занурити електроди в суху поварену сіль, то лампа не загориться.

Під час розчинення у воді солей, кислот і основ йонний зв'язок у них стає слабкішим, і внаслідок теплових співударів молекули розпадаються на йони. Це явище називають електролітичною дисоціацією. У водному розчині виникають носії електричного струму — йони, заряджені позитивно (катіони), і негативно (аніони). Хімічна реакція розпаду нейтральної молекули NaCl на йони: $\text{NaCl} \leftrightarrow \text{Na}^+ + \text{Cl}^-$

В електричному колі під дією електричного поля позитивні йони рухаються до катода (електрод, заряджений негативно), а негативні йони рухаються до анода (електрод, заряджений позитивно). Через електроліт проходить струм. При цьому разом із зарядом переноситься речовина (мал. 154).



Мал. 153. Послідовне з'єднання джерела струму, лампи, посудини з водою: а — дистильована вода; б — розчин кухонної солі



Мал. 154. Рух іонів під дією електричного поля

Під час проходження струму через електроліт на електродах відбувається виділення речовини — це явище **електролізу**. Електроліз супроводжується окислювально-відновними реакціями.

У 1834 р. англійський фізик Майкл Фарадей експериментально відкрив закон електролізу.

Маса виділеної на електроді речовини під час електролізу прямо пропорційна заряду, що пройшов через електроліт. (Закон Фарадея для електролізу): $m = k \cdot q$, де k — коефіцієнт пропорційності.

Оскільки $q = I \cdot t$, то $m = k \cdot I \cdot t$.

Маса виділеної на електроді під час електролізу речовини прямо пропорційна силі струму і часу проходження струму.

m — маса речовини, що виділилась на електроді;

q — заряд, який пройшов через електроліт;

k — електрохімічний еквівалент речовини.

K — коефіцієнт пропорційності в законі, називають електрохімічним еквівалентом.

Із закону електролізу знайдемо: $k = \frac{m}{q}$, $[k] = \frac{\text{Кг}}{\text{Кл}}$.

Коефіцієнт K чисельно дорівнює масі виділеної на електроді речовини під час перенесення йонами заряду, рівного 1 Кл. Різні речовини мають різні електрохімічні еквіваленти, які для розв'язання задач знаходимо з таблиць.

Застосування електролізу

● Гальванотехніка:

а) гальваностегія — покриття деталей тонким шаром металу (позолота, нікелювання, хромування тощо).

б) гальванопластика — відкладання товстого шару металу, який відокремлюється від форми і використовується як виріб (отримання матриць для друкарських пластин, барельєф тощо).

● Електрометалургія — виділення чистих металів із природних сумішей та промислових відходів (міді — із мідного колчедану, алюмінію — із розплавленого бокситу, срібла — із відходів фотовиробництва).

● Очистка металевих деталей (деталь є анодом).

Приклад розв'язування задач. Унаслідок електролізу розчину хлоридної (соляної) кислоти HCl на катоді за деякий час виділилося 75 г водню. Скільки хлору виділилося за цей самий час на аноді? Електрохімічні еквіваленти водню й хлору відповідно дорівнюють 0,0104 мг/Кл і 0,367 мг/Кл.

Дано:

$$q = \text{const}$$

$$m_{\text{H}_2} = 0,075 \text{ кг}$$

$$K_{\text{H}_2} = 0,014 \text{ мг/Кл}$$

$$K_{\text{Cl}_2} = 0,0367 \text{ мг/Кл}$$

$$m_{\text{Cl}_2} = ?$$

Розв'язання

$$m_{\text{H}_2} = K_{\text{H}_2} \cdot q$$

$$m_{\text{Cl}_2} = K_{\text{Cl}_2} \cdot q$$

$$\frac{m_{\text{Cl}_2}}{m_{\text{H}_2}} = \frac{K_{\text{Cl}_2}}{K_{\text{H}_2}},$$

$$m_{\text{Cl}_2} = \frac{K_{\text{Cl}_2}}{K_{\text{H}_2}} \cdot m_{\text{H}_2} = \frac{0,0367 \cdot 0,075}{0,014} = 2,65 \text{ кг.}$$

Відповідь: на аноді виділиться 2,65 кг хлору.



Підсумки

- Водні розчини солей, кислот і основ, а також їх розплави називають електролітами.
- Носіями електричного струму в електролітах є йони обох знаків — позитивно заряджені (катіони) і негативно заряджені (аніони).
- Електроліз — виділення речовини на електродах під час проходження електричного струму через електроліт.
- Закон електролізу (закон Фарадея): маса виділеної на електроді речовини прямо пропорційна заряду, що пройшов через електроліт: $m = k \cdot q$, де k — електрохімічний еквівалент речовини: $m = k \cdot I \cdot t$.
- Електроліз широко застосовують у техніці.



Перевір свої знання

1. Що є вільними носіями зарядів у розчинах електролітів — солей, кислот, лугів?
2. Як змінюється кількість вільних носіїв зарядів в електролітах за зростання температури?



Завдання

- 1**. Під час електролізу сульфату цинку (ZnSO_4) виділилося 2,45 г цинку. Визначити електрохімічний еквівалент цього металу, якщо крізь електроліт протягом 60 хв проходив електричний струм 2 А.
- 2**. Скільки срібла осіло на катоді електролізної установки, якщо процес електролізу тривав 20 хв, а сила струму складала 25 А? ($K_{\text{срібла}} = 1,1 \text{ мг/Кл}$)
- 3**. Скільки часу потрібно для нікелювання металевого тіла площею 120 см^2 , якщо товщина поверхні має становити 0,03 мм? Сила струму дорівнює 0,5 А. ($K_{\text{нікель}} = 0,3 \text{ мг/Кл}$)
- 4***. Скільки потрібно витратити електроенергії для отримання чистої міді масою 1 т, якщо напруга на електролітичній ванні за технічними нормами становить 0,5 В? ($K_{\text{міді}} = 0,33 \cdot 10^{-6} \text{ Кг/Кл}$)

§ 41. Електричний струм у газах. Види газових розрядів



Думки вголос

Я вивчу особливості проходження електричного струму в газах, зможу розрізняти види газових розрядів.

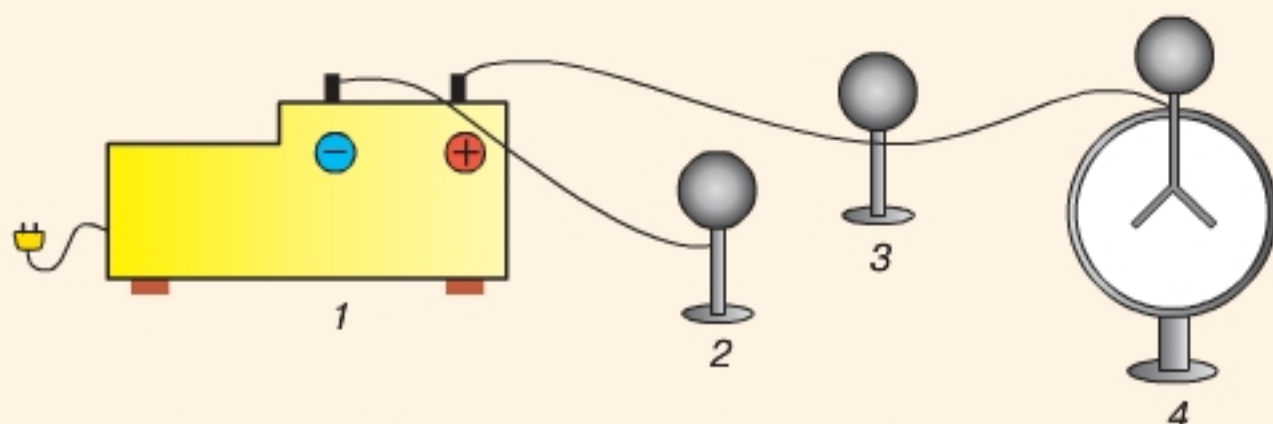
Для вивчення електричного струму в газовому середовищі проведемо дослід з фізичним приладом «Розряд». Він призначений для електризації тіл подібно паличкам зі скла й ебоніту. На відміну від паличок, які дають «одноразову» електризацію, цей прилад безперервно довгий час електризується. Тому тіла, які приєднують до приладу, отримують набагато більший заряд, ніж від наелектризованих паличок.

Приєднаємо до приладу «Розряд» дві металеві кулі (мал. 155).

Через деякий час після включення приладу кулі наелектризуються так сильно, що між ними з'явиться електрична іскра. Подивимось уважно на електроскоп, приєднаний до кулі. Під час електризації його листочки піднімались, вказуючи на збільшення заряду. Але під час виникнення іскри листочки різко упали. Значить, заряд куль різко зменшився. Через повітряний простір між «+» і «-» пройшов електричний струм.

Проходження електричного струму в газовому середовищі називають *газовим розрядом*.

Поміркуємо детальніше про газовий простір між полюсами приладу «+» і «-». У цьому випадку газовий простір — це повітря. Повітря є сумішшю кисню, азоту й інших газів. Звичайно, повітря є *діелектриком*. Але під дією електричного поля утворилися йони. Деяка кількість вільних електронів, прискорених електричним полем, йонізує нейтральні атоми і молекули. Число електронів і йонів різко зростає.

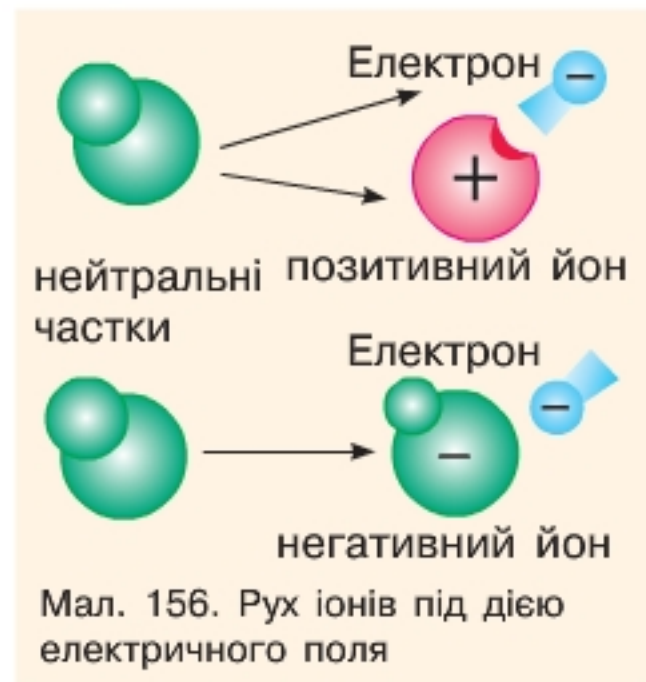


Мал. 155. Прилад «Розряд»: 1 — прилад «Розряд»; 2, 3 — металеві кулі; 4 — електроскоп

Газовий простір може йонізуватися внаслідок нагрівання або впливу випромінювання. У результаті дії зовнішніх йонізаторів у газах можуть утворюватися вільні заряджені частинки: позитивно і негативно заряджені йони і вільні електрони (мал. 156). Газовий простір за таких умов стає провідником.

Сильне електричне поле може відірвати від нейтральної молекули (або атома) один або декілька електронів і перетворити в позитивний йон. Електрон, приєднавшись до нейтрального атома або молекули, утворює негативно заряджений йон.

Процес йонізації нейтральних частинок проходить одночасно з процесом *рекомбінації*. Деяка кількість позитивних йонів і вільних електронів може знову з'єднатись в нейтральну мікрочастинку. Якщо процес рекомбінації матиме більшу швидкість, ніж процес йонізації, то *електричний розряд* швидко припиниться. Тому електричний розряд в газах можна розділити на два види: *несамостійний* і *самостійний* (табл. 15).



Мал. 156. Рух іонів під дією електричного поля

Таблиця 15

Види самостійного розряду	Умови виникнення	Застосування	Вигляд
Іскровий розряд	За високих напруг між провідниками	Враховують в електротехніці. Захист від великого іскрового розряду в природі — це громовідвід	
Дуговий розряд	Виникає за великої густини струму і порівняно невеликої напруги між електродами ($t_{\text{газу}} \approx 5000-6000\text{ }^{\circ}\text{C}$)	Електрозварювання, електрорізка, потужні джерела світла	

Тліючий розряд	У розріджених газах $P \approx 0,02$ мм рт. ст.	Лампи денного світла, рекламні трубки	
Коронний розряд	За атмосферного тиску біля гострих кінців провідників	Враховують під час виготовлення різних пристроїв в електротехніці та радіотехніці	

Мал. 157. Блискавка



Частково або повністю йонізований газ називається **плазмою**. Виникає при всіх видах розрядів у газах. Плазмою оточена наша планета. Верхній шар атмосфери на висоті 100–300 км являє собою йонізований газ — йоносферу. У стані плазми перебуває 99 % речовини у Всесвіті.

Блискавка — це плазмовий шнур, що замикає наелектризовані хмари або наелектризовану хмару і Землю (мал. 157). Сила струму у блискавці досягає 500 000 А, а напруга між хмарою і Землею може бути 100 000 000 В.



А ти знаєш?

- Блискавка розігріває повітря до 30 000 °С у момент розрядження іскри. Приблизно 10 % пожеж у США виникають від блискавки. Блискавка перетворює газоподібний азот, який не засвоюють рослини, на складники азоту, необхідні для утворення тканини рослин та розвитку насіння. Блискавки виробляють від 30 до 50 % оксиду азоту, який потрапляє на Землю з опадами. Таким чином, у світі щороку створюється 30 млн тонн нелеткого азоту (не менше 1 кг на га).

- Скільки важить хмара? В одній купчастій хмарі міститься близько 550 т води. Нехай маса одного слона — близько 6 тонн. Тоді маса води, що міститься в одній купчастій хмарі, дорівнює масі 100 слонів. Велика грозова хмара містить воду, маса якої дорівнює масі 200 тисяч слонів. А маса однієї ураганної хмари еквівалентна масі 40 млн слонів.
- Температура кульової блискавки зазвичай не менша 15 тисяч градусів.



Підсумки

- Гази можуть бути провідниками електрики, якщо створені умови для газових розрядів.
- Носіями електричного струму під час газових розрядів є йони обох знаків і вільні електрони.
- Несамостійний газовий розряд існує лише під час дії зовнішнього йонізатора, яким може бути, наприклад, полум'я нагрівача, освітлення, опромінення.
- Самостійний розряд існує і після припинення дії йонізатора. Вид самостійного розряду залежить від створених умов.
- Види самостійних розрядів в газах: іскровий, дуговий, тліючий, коронний.



Перевір свої знання

- 1*. Який розряд зображено на малюнку 158?
- 2*. Чи може повітря проводити електричний струм? Наведи приклади.
- 3*. Які мікрочастинки є носіями струму в газах?
- 4*. Назви види розрядів в газах.
- 5*. Які створити умови для окремих видів самостійного розряду?
- 6*. Де застосовують окремі види самостійного розряду?
- 7*. Прикладом якого газового розряду є блискавка?
- 8*. Як називають газовий розряд, який використовують в неоновій рекламі?
- 9**. Який газовий розряд використовують як дуже потужне джерело тепла і світла?
- 10**. Як називають газовий розряд, завдяки якому в високовольтних електричних мережах бувають втрати електроенергії?
- 11***. До зарядженого електроскопа піднесли запалений сірник. Що відбувається зі стрілкою електроскопа? Чому? Перевір на досліді.
- 12***. Чому заряджений електроскоп дуже швидко розряджається, якщо поруч з ним працює рентгенівська трубка?



Мал. 158. Вогні Святого Ельма

§ 42. Вплив електричного струму на людський організм. Заходи безпеки під час роботи з електричними приладами й пристроями



Думки вголос

Я вивчу основні правила безпеки під час роботи з електричними приладами і пристроями і завжди буду їх дотримуватися.

Тіло людини є провідником. Чи будь-який електричний струм небезпечний для людини? Звичайно ні. Дослідники показали, що сила струму близько 0,01 А за проходження через тіло людини спричинює легке подразнення нервової системи й навіть судоми. А смертельним вважають струм силою 0,1 А. Електричний опір людського тіла може збільшуватись чи зменшуватись в сотні разів, коливаючись від 500 000 Ом до 1000 Ом.

Якщо дотримуватись певних заходів безпеки, то від небезпеки ураження електричним струмом можна захиститися. Ось *основні заходи безпеки* під час роботи з електричними приладами:

1. Ніколи не працюйте під напругою.
2. Використовуйте лише електроізолюваний інструмент.
3. Особливо треба бути уважним під час роботи у вологих приміщеннях.
4. Вискручуючи чи вкручуючи електролампи, вимикайте струм.
5. Не торкайтесь до ввімкнених в електричну мережу приладів мокрими руками.
6. Вода поряд з електрикою нерідко призводить до нещасних випадків.
7. Не залишайте без нагляду ввімкнений електричний прилад.

За ураження людини електричним струмом потрібно вжити таких заходів:

- звільнити людину від подальшої дії на неї електричного струму, користуючись сухою палицею або іншими ізоляторами;
- потерпілому дають понюхати нашатирний спирт, також треба розстібнути одяг, розтерти й зігріти людину;
- якщо потрібно, зробити штучне дихання й непрямий масаж серця;
- викликати лікаря.





Перевір свої знання

- 1*. Чому небезпечно доторкатися до стовпів високої напруги?
- 2*. Які ізоляційні матеріали найкраще захищають від впливу електричного струму?
- 3*. Як потрібно себе вести під час грози?
- 4**. Чому керамічні ізолятори для зовнішньої електричної проводки роблять у вигляді кола?
- 5**. Чому небезпечний струм короткого замикання?
- 6**. Чому не можна працювати з електричними приладами у вологих приміщеннях?
- 7**. Чому під час заряджання акумулятора автомобіля до нього не можна доторкатися?
- 8**. Чому блискавка найчастіше влучає з вершини гір?
- 9***. Чому блискавка частіше влучає у високий дуб, ніж в інші дерева?
- 10***. У романі Жуль Верн «Діти капітана Гранта» є такий епізод: «У самому розпалі сказаної гри блискавиць на кінці горизонтальної гілки раптом з'явилась повита чорним димом вогняна куля, завбільшки з кулак, покружляла кілька секунд, наче дзиґа, й вибухнула з силою бомби, заглушивши на мить рокотання грози. В повітрі потягло сірчаним газом...»
Яке фізичне явище описане в цьому епізоді?



Для самоперевірки

Хвилинка здоров'я

Ці знання для нас дуже важливі!

Електричний струм викликає термічні, електролітичні та біологічні дії.

Термічна дія — викликаються опіки.

Електролітична дія — розкладаються органічні речовини, у тому числі і кров (електроліз).

Біологічна дія — збуджуються рецептори тканини, відбувається скорочення м'язів.

Електричні травми — це місцеві ураження тканини і органів.

Електричний шок — це важка нерворефлекторна реакція організму на подразнення електричним струмом. При шоці виникають глибокі розлади дихання, кровообігу, нервової системи та інших систем організму.

Індивідуальні особливості організму людини значно впливають на результат ураження при електротравмах.

Характер дії струму однієї і тієї самої сили залежить від маси тіла людини та її фізичного розвитку.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ 4**Конспект теоретичного матеріалу**

- Електричним струмом називають спрямований рух вільних носіїв заряду.
- Умови існування струму: наявність вільних носіїв заряду; наявність електричного поля; замкнене електричне коло.
- Електричний струм проявляє себе в діях: тепловій, механічній, світловій, хімічній, магнітній.
- Речовини, які добре проводять електричний струм, називають провідниками, які не проводять — діелектриками. У металах електричний струм створюють вільні електрони.
- Джерело струму — пристрій, у якому діють сторонні сили і розділяють заряди (гальванічні елементи, акумулятори, генератори, термоелементи, фотоелементи, батареї).
- Електричне коло складається із джерела електричної енергії, споживачів і з'єднувальних провідників. За напрям струму прийнято вважати напрям, у якому рухається позитивний заряд.
- Сила струму (I) — фізична величина, яка чисельно дорівнює кількості електрики (заряду q), що переноситься за одиницю часу крізь площу поперечного перерізу:

$$I = \frac{q}{t}; [I] = 1 \text{ А}; q = I \cdot t; 1 \text{ кА} = 1000 \text{ А}.$$

- Електрична напруга (U) — фізична величина, яка чисельно дорівнює роботі електричного струму з перенесення з однієї точки в іншу одиничного позитивного заряду:

$$U = \frac{A}{q}; [U] = 1 \text{ В}; 1 \text{ В} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}}.$$

- Силу струму вимірюють амперметром, який підключають в колі послідовно. Напругу вимірюють вольтметром, який підключають паралельно до ділянки, у якій вимірюють напругу.
- Опір провідника (R) — це властивість провідника чинити опір струму, який ним проходить.
- Опір металевого провідника залежить від його розмірів, матеріалу і температури:

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

де ρ — питомий опір провідника. $[\rho] = \text{Ом} \cdot \text{м}$.

- Змінювати опір ділянки кола можна за допомогою включення резисторів або реостатів. Змінювати напругу можна потенціометром.
- Основний закон електрики для ділянки кола — закон Ома: сила струму I в ділянці кола прямо пропорційна прикладеній напрузі U і обернено пропорційна опорі провідника R :

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

- У разі послідовного з'єднання провідників:

$$I = \text{const}; U = U_1 + U_2 + \dots + U_n;$$

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n; \quad \frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}.$$

- У разі паралельного з'єднання провідників:

$$U = \text{const}; I = I_1 + I_2 + \dots + I_n;$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}; \quad \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}.$$

- Робота електричного струму:

$$A = q \cdot U; A = U \cdot I \cdot t; [A] = 1 \text{ Дж. } 1 \text{ Дж} = 1 \text{ В} \cdot \text{А} \cdot \text{с}.$$

- Потужність струму:

$$P = \frac{A}{t}; P = U \cdot I; [P] = 1 \text{ Вт} = 1 \text{ В} \cdot \text{А};$$

- Закон Джоуля—Ленца: $Q = I^2 \cdot R \cdot t$;

Якщо в провіднику струм справляє тільки теплову дію, то

$$A = Q = I \cdot U \cdot t = I^2 \cdot R \cdot t = \frac{U^2}{R} t;$$

$$P = I \cdot U = I^2 \cdot R = \frac{U^2}{R}.$$

- Теплову дію струму використовують в електронагрівальних приладах.

- Електроліти — це водні розчини солей, кислот і основ, а також їх розчини, у яких носіями струму є йони. Наприклад: розчин NaCl , Cu_2SO_4 , розплав NaOH .

- Електроліз — виділення речовини на електродах під час проходження струму через електроліт.

Закон електролізу: маса речовини, виділеної на електроді, прямо пропорційна заряду, що пройшов через електроліт. $m = k \cdot q$;
 $m = K \cdot I \cdot t$, де K — електрохімічний еквівалент речовини;

$$[K] = \frac{\text{Кг}}{\text{Кл}};$$

- Проходження електричного струму через газове середовище називають електричним розрядом. Види електричного розряду — несамоствійний і самоствійний. Види самоствійного розряду: іскровий, тліючий, коронний, дуговий.

- Під час роботи з електричними приладами і пристроями завжди необхідно дотримуватись заходів безпеки.

- Необхідно знати, яких заходів вжити за ураження людини електричним струмом.

ВПРАВИ ДО РОЗДІЛУ 4

Обери правильну відповідь.

- 1*.** Одиниці вимірювання сили струму й напруги:
- а) ампер, вольт
 - б) ом, вольт
 - в) ампер, ом
 - г) ампер, кулон
- 2*.** Хто з науковців спостерігав взаємодію двох провідників зі струмом?
- а) А. Ампер
 - б) А. Вольт
 - в) Г. Ерстед
 - г) Ш. Кулон
- 3*.** Якими приладами вимірюють силу струму й напругу в електричному колі?
- а) Амперметр, ватметр
 - б) амперметр, вольтметр
 - в) вольтметр, омметр
 - г) амперметр, омметр
- 4*.** Електропровідність металів пов'язана з...
- а) наявністю великої кількості електронів у кристалічних ґратках
 - б) наявністю великої кількості протонів
 - в) наявністю великої кількості вільних електронів
 - г) підвищенням температури металів
- 5*.** За послідовного з'єднання провідників сила струму в колі дорівнює...
- а) сумі сил струму на ділянках
 - б) різниці сил струмів на ділянках
 - в) добутку сил струмів на ділянках
 - г) на всіх ділянках однакова
- 6*.** За паралельного з'єднання провідників напруга...
- а) однакова на всіх ділянках
 - б) дорівнює сумі напруг на всіх ділянках
 - в) дорівнює добутку напруг на всіх ділянках
 - г) дорівнює різниці напруг на всіх ділянках
- 7*.** Як правильно вмикати в електричне коло амперметр?
- а) Паралельно з іншими елементами кола
 - б) Послідовно з іншими елементами кола
 - в) Паралельно до джерела струму
 - г) Послідовно з ключем
- 8*.** Як називається найпростіший пристрій, який виробляє електричний струм?
- а) Електричне коло
 - б) Парова турбіна
 - в) Гальванічний елемент
 - г) Генератор

- 9*.** Які ви знаєте дії електричного струму?
- Теплова, фізична, обертова
 - Теплова, хімічна, обертова
 - Магнітна, фізична, теплова
 - Фізична, магнітна, хімічна
- 10**.** Визнач число електронів, які проходять щосекунди через поперечний переріз провідника 1 за сили струму 0,8 мкА.
- $5 \cdot 10^{12}$
 - $3 \cdot 10^{12}$
 - $8 \cdot 10^{12}$
 - $9 \cdot 10^{12}$
- 11**.** Вибери правильну формулу закону Ома для ділянки кола.
- $I = \frac{U}{R}$
 - $I = U \cdot R$
 - $U = \frac{I}{R}$
 - $R = U \cdot I$
- 12**.** Як зміниться струм у провіднику, якщо напругу на кінцях провідника збільшити вдвічі?
- Зменшиться вдвічі
 - Збільшиться вдвічі
 - Буде незмінним
 - Збільшиться в 0,5 разу
- 13*.** Одиниці вимірювання електричного опору:
- ампер
 - кулон
 - ом
 - вольт
- 14**.** Провідники опором 4 Ом та 2 Ом ввімкнено в коло послідовно. Яким є загальний опір у колі?
- 8 Ом
 - 2 Ом
 - 6 Ом
 - 1,3 Ом
- 15*.** Опір провідника залежить від...
- напруги й сили струму в колі
 - геометричних розмірів провідника
 - геометричних розмірів і речовини, з якої виготовлено провідник
 - від речовини, з якої виготовлено провідник
- 16*.** За якою формулою визначається потужність електричного струму?
- $P = \frac{U}{R}$
 - $P = I \cdot U \cdot t$
 - $P = \frac{U^2}{R}$
 - $R = Q$
- 17*.** Назви прилад для вимірювання роботи електричного струму.
- Омметр
 - Електролічильник
 - Ватметр
 - Амперметр
- 18**.** Лампа має потужність 60 Вт і працює за робочої напруги 120 В. Який струм проходить через лампу?
- 2 А
 - 0,5 А
 - 7200 мА
 - 60 А
- 19**.** Як зміниться кількість теплоти, яка виділяється в провіднику, якщо зменшити силу струму вдвічі за незмінного опору?
- Зменшиться в 4 рази
 - Збільшиться в 8 разів
 - Зменшиться у 8 разів
 - Збільшиться в 4 рази
- 20**.** Електропрогравач споживає з мережі потужність 50 Вт. Скільки часу триває програвання пластинки, якщо робота струму за цей час становить 30 Вт·год?
- 30 хв
 - 36 хв
 - 20 хв
 - $1\frac{2}{3}$ год

- 21*.** Які частинки є носіями електричного заряду в електролітах?
- а) Електрони
 - б) Йони
 - в) Протони
 - г) Атоми
- 22*.** У якому середовищі електричний струм зумовлений впорядкованим рухом йонів та вільних електронів?
- а) У металах
 - б) У вакуумі
 - в) У газах
 - г) Електролітах
- 23*.** Як позначають електрохімічний еквівалент?
- а) k
 - б) F
 - в) I
 - г) t
- 24*.** Який символ пропущено в записі першого закону електролізу $\tau = k \dots t$?
- а) F
 - б) I
 - в) R
 - г) M
- 25**.** Як зміниться маса речовини, яка відкладалася на електроді під час електролізу, якщо силу струму в колі збільшити в 3 рази?
- а) Зменшиться в 9 разів
 - б) Зменшиться в 3 рази
 - в) Збільшиться в 9 разів
 - г) Збільшиться в 3 рази
- 26*.** Якою є електрична провідність у металах?
- а) Йонною
 - б) Електронною
 - в) Електронно-дірковою
 - г) Йонно-електронною
- 27*.** Який газовий розряд являє собою електричний пробій за високої напруги?
- а) Несамостійний
 - б) Коронний
 - в) Іскровий
 - г) Тліючий
- 28**.** За якої сили струму відбувався електроліз, якщо за 20 хв на електроді виділилося 1,98 г міді?
- а) 5 А
 - б) 1,98 А
 - в) 2 А
 - г) 4 А

Розв'яжи задачі

- 1***. Ялинкова гірлянда складається з однакових ламп розрахованих на напругу 5,5 В кожна. Яка мінімальна кількість ламп знадобиться і як їх потрібно з'єднати, щоб гірлянду можна було підключити до мережі 220 В?
- 2***. На скільки відсотків зміниться сила струму в колі, якщо вольтметр, який має опір 250 кОм, підключити до резистора опором 20 Ом?
- 3***. Дріт було розрізано на три однакових частини, які потім з'єднано паралельно. Опір з'єднання, таким чином, виявся 9 Ом. Який був опір дроту до розрізання?
- 4***. Скільки однакових резисторів по 8 Ом потрібно, щоб отримати опір 18 Ом? Намалюй відповідну схему.
- 5***. У якому випадку під час свердлення отворів за допомогою електродреля витрати електроенергії стають більшими: якщо використовують заточене свердло чи затуплене? Відповідь обґрунтуй.

Орієнтовні теми навчальних проектів до розділу 4

1. Роль видатних учених у розвитку знань про електрику
2. Вплив роботи електростанцій на довкілля
3. Напівпровідники та їх використання
4. Плазма
5. Розрахунки розгалужених електричних кіл
6. Знайомлюсь із законами Кірхгофа



Для тих, хто хоче знати більше

Євген Оskarович Патон (1870–1953 рр.) — видатний український вчений в галузі електрозварювальних процесів і мостобудування. Він розробив метод швидкісного електричного зварювання (метод Патона), винайшов спосіб автоматичного швидкісного електричного зварювання, створив методи розрахунку споруд мостів, впровадив технологію та обладнання для зварювання спеціальних сталей, зокрема, для танкових башт.

Ім'ям Є. О. Патона названо міст через Дніпро.

Наукові праці Є.О. Патона мають світове значення.



Задачі для допитливих

1. Залізна кулька падає на залізну плиту. Порівняй висоту підскоку кульки після удару у двох випадках:
а) кулька і плита незаряджені.
б) кулька заряджена, плита незаряджена.
Чи впливає на відповідь знак заряду?
2. Як за допомогою зарядженої скляної палички надати двом сталевим кулькам заряди різного знаку, причому так, щоб заряд самої палички не змінився?
3. Як передати електроскопу заряд, який у декілька разів більший за заряд наелектризованої скляної палички? Крім зарядженої палички й електроскопа, є невелика металева кулька на ізолюючій ручці.
4. На відстані 9 см один від одного розташовані позитивні заряди 8 нКл і 2 нКл. Де потрібно розташувати третій заряд, щоб компенсувати відштовхування цих позитивних зарядів?
5. Для того щоб електричне коло, через яке електродвигуни тролейбуса отримують електричний струм, було замкнене, тролейбусна лінія має два контактних проводи. Як же замикається коло живлення електродвигунів трамваїв та електричок, адже їх лінії мають лише один контактний провід?
6. Як за допомогою вимірювальних приладів визначити довжину мідного дроту, який сплутаний у клубок? Які прилади для цього знадобляться? Поверхня дроту вкрита тонким шаром непровідного лаку, кінці дроту стирчать з клубка.
7. Електрична плитка має дві спіралі і перемикач, яким можна залишати увімкнутою тільки одну з двох спіралей або з'єднувати їх послідовно чи паралельно. Якщо увімкнута перша спіраль, то повна каstrуля з водою закипає за 4 хв, якщо увімкнута друга спіраль, повна каstrуля води закипає за 12 хв. За скільки хвилин закипить повна каstrуля з водою, якщо будуть увімкнуті обидві спіралі: 1) послідовно; 2) паралельно?
8. Після зміни конструкції амперметра ціна поділки приладу змінилася, тому на нього треба нанести іншу шкалу. Як це зробити, маючи інший амперметр?
9. Спробуй послідовно увімкнути в коло дві лампи різної потужності (наприклад, 100 і 25 Вт), розраховані на однакову напругу. Яка із ламп світитиме яскравіше? Чому?

Домашня лабораторія

Завдання 1. Постав в стакан електричну лампу (можна зіпсовану), поклади на її поверхню дерев'яну або пластмасову лінійку, після її зрівноваження піднеси до одного з її кінців наелектризоване тіло, поясни явище, яке спостерігаєш.

За допомогою цієї установки перевір, які предмети, що є вдома, електризуються (гребінець, гумова кулька, пластикові пакети, пляшки).

Завдання 2. Придумай схему для свого будинку, щоб електричну лампу можна було вмикати і вимикати із різних кімнат.

Завдання 3. У тебе в квартирі немає годинника, як, дивлячись на покази електролічильника, визначити інтервал часу, який проходить?

Завдання 4. В тебе є: акумулятор, вольтметр, амперметр, з'єднувальні провідники і резистор невідомого опору. Як визначити опір невідомого резистора?

Завдання 5. Як визначити масу невеликого сталюого тіла, маючи спиртівку, банки з водою, калориметр, термометр і мензурки?

Завдання 6. Дай відповідь і перевір на досліді. Стакан наполовину заповнений окропом. У якому із випадків отримуємо холоднішу воду: 1) якщо почекати 5 хв, а потім долити в стакан холодну воду; 2) якщо відразу долити холодну воду, а потім почекати 5 хв?

Завдання 7. Візьми електричну лампочку розжарювання й уважно прочитай напис на балоні лампи (зазначено потужність і напругу). За цими параметрами визнач опір лампи в робочому стані. Розрахуй довжину спіралі, якщо відомо, що вона виготовлена з вольфрамового дроту діаметром 0,08 мм.

Завдання 8. Запиши за паспортом потужність домашнього електричного чайника (електрокип'ятильника). Визнач кількість теплоти, що виділяється за 15 хв, а також вартість споживаної за цей час електроенергії.



Рекомендації до написання рефератів на тему «Видатні українські вчені й конструктори»

Тим, хто цікавиться фізикою, пропонуємо знайти інформацію та написати реферат про роль українських учених і конструкторів у розвитку світової науки і техніки.

От де, люде, наша слава,
Слава України

Т. Г. Шевченко

Всесвітньо відомі вчені-фізики й конструктори з українським корінням

- Іван Пулюй
- Борис Грабовський
- Зенон-Володимир Хриплий
- Микола Пильчиков
- Степан Тимошенко
- Сергій Корольов
- Юрій Кондратюк
- Олександр Смакула
- Ігор Сікорський
- Євген Патон
- Олег Антонов
- Архип Люлька



Іван
Пулюй



Микола
Пильчиков



Євген
Патон



Олександр
Смакула



Ігор
Сікорський



Юрій
Кондратюк



Сергій
Корольов

Структура реферату: титульна сторінка; план; вступ; основна частина (розділи, пункти і підпункти); висновки; список використаних джерел; додатки.

Вимоги до змісту основної частини реферату

- у наукових текстах не рекомендується вести мову від першої особи однини (судження краще висловлювати в безособовій формі);
- при згадуванні в тексті прізвища обов'язково перед ним ставити ініціали;
- кожний розділ (пункт) починати з нової сторінки;
- при викладанні різних поглядів і наукових положень, цитат, витягів з літератури, необхідно покликатися на використане джерело.

Що писати у висновках?

Висновки — самостійна частина, у якій не слід просто переказувати зміст роботи. У них потрібно висвітлити такі аспекти:

- оцінити ступінь досягнення мети і виконання завдань роботи;
- визначити, що є цінним, а що викликає сумніви.

Вимоги до оформлення реферату

Текст роботи необхідно писати розбірливо, з одного боку аркуша (формат А-4), поставити номери сторінок. Одночасно необхідно чітко виділити (кольором, підкресленням, відступом) окремі частини (абзаци), розділи, пункти і підпункти, варто уникати скорочення слів.

Якщо текст реферату набирається на комп'ютері, треба дотримуватися ще й таких правил:

- набір тексту здійснюється стандартним 14 шрифтом TimesNewRoman;
- назви розділів краще набирати 14 шрифтом (усі літери великі напівжирні), а пункти і підпункти виділяти напівжирним курсивом;
- міжрядковий інтервал — 1,5;
- відступ в абзацах — 1,25;
- текст реферату необхідно друкувати, залишаючи поля таких розмірів: ліве — 25 мм, праве — 15 мм, верхнє — 20 мм, нижнє — 20 мм;
- нумерувати сторінки зверху посередині;
- обсяг реферату — 15–20 сторінок.

Це цікаво знати

- Розвівши 1 мл чорнила в 1 л води, а потім 1 мл цього розчину — в ще одному літрі води, ми отримаємо розведення в мільйон разів. Незважаючи на це, отриманий розчин буде мати цілком помітне забарвлення. Звідси випливає, що обсяг частинок чорнила набагато менший, ніж мільйонна частина мілілітра.
- Молекули повітря в твоїй кімнаті мчать зі швидкістю приблизно півкілометра в секунду. Це становить близько 2000 км/год — швидше звуку! Тільки май на увазі, що ця швидкість середня, адже швидкості всіх молекул неоднакові.
- Кристалічні тіла теж можуть мати плинність. Наприклад, гірські льодовики повільно стікають в долини. Плинність кристалів пояснюють дефектами їх кристалічної решітки.
- Щоб метровий стовп води або спирту стиснути на 1 см, потрібно великий тиск близько 200 атмосфер. Але щоб так само стиснути стрижень з металу, потрібно тиск вже в 10 тисяч атмосфер!
- Встановлено, що молекули води здійснюють близько 100 мільярдів перескоків в секунду.
- Слово «газ» придумано вченими. Воно походить від грецького слова «хаос» — безлад. Видно натяк на характер руху частинок газу.
- Літр повітря можна стиснути до обсягу наперстка.
- Кожна молекула повітря відчуває ні багато ні мало чотири мільярди зіткнень в секунду зі своїми сусідками.
- Із поверхні всіх водойм на Землі щодоби випаровується близько 7000 км^3 води. Басейн з такою кількістю води мав би розміри $80 \times 90 \text{ км}$ за кілометра глибини!
- Бурштин — це скам'яніла смола хвойних дерев, які росли на Землі сотні тисяч років тому. Електризація бурштину тертям була відома ще до нової ери.
- 1700 року англійцю Уоллу вперше вдалося отримати електричну іскру, яка з тріском проскочила між шматком бурштину і пальцем вченого.
- Якщо досліди з бурштином проводити в темряві і тиші, то можна легко помітити маленькі іскорки і навіть почути їх тріск. Згадаймо, що різні іскрові явища ми відносимо до електричних явищ. Ось чому електрику назвали «бурштиновим» ім'ям.
- Електризація тіл нам добре відома в побуті. За її вини дуже швидко притягують пил поліровані меблі і килими, липнуть до тіла синтетичні сорочки та сукні, «іскрять» кофти та светри.

- Електризації піддаються всі тіла: великі і маленькі, тверді, рідкі та газоподібні, наприклад грозові хмари.
- Електризація тіл тертям і індукцією — тільки два способи зробити тіло зарядженим. Електризація може відбуватися також за нагрівання тіла або вигину, під дією світла або рентгенівських променів.
- Якщо атом збільшити так, щоб ядро прийняло розмір дрібної монети, то відстань між ядром і електронами стала б дорівнювати цілому кілометру.
- Якби іони металу могли текти проводами, то отримали б не струм у проводі, а течію самого проводу (адже провід — це і є іони металу).
- Іони рідин і газів, на відміну від іонів твердих тіл, рухливі. Завдяки цьому ми, наприклад, відчуваємо запах озону під час грози.
- Дію струму на живі організми називають фізіологічною дією струму. Вона викликає скорочення м'язів і інші явища. У просторіччі іноді кажуть: «Вдарило струмом».
- Вплив струму на організм людини може сприйматися не тільки як «удар». Наприклад, відвідуючи лікаря-фізіотерапевта і приймаючи процедуру електрофорез, ми відчуваємо шкірою печіння і поколювання.
- Підраховано, що за сили струму в 1 А через металевий провідник щомиті проходить понад 6 тисяч мільйонів мільярдів електронів.
- Напруга, яку вважають безпечною для людини в сухому приміщенні, становить до 36 В. Для вологого приміщення це значення опускається до 12 В.
- У XIX сторіччі в якості лічильників електроенергії використовували ванночки з розчином мідного купоросу. Протікання струму викликало осідання міді на електродах. Відповідно до збільшення її маси і судили про кількість отриманої електрики.
- 1 кВт·год електроенергії достатньо для випічки 36 кг хліба, видобутку 30 кг нафти або 40 кг кам'яного вугілля, виробництва 2 кг паперу.
- Опір провідника сильно залежить від температури. Наприклад, опір холодної праски — 10–20 Ом, а гарячої — близько 40–80 Ом.
- Скляні балони ламп потужністю до 40 Вт не заповнюють газом, створюючи в них вакуум. Тому, щоб уповільнити випаровування вольфраму, температуру спіралі доводиться трохи знижувати. Через це світло лампи набуває неприємного жовтуватого відтінку.

Абсолютне видовження — величина, яку визначають різницею довжини зразка в кінцевому та початковому станах.

Абсолютний нуль — початок відліку абсолютної температури за термодинамічною шкалою Кельвіна; за шкалою Цельсія абсолютний нуль дорівнює $-273,15^{\circ}\text{C}$.

Акумулятор — джерело струму періодичної дії, здатне накопичувати електричну енергію внаслідок пропускання крізь електроліт електричного струму. Акумулятори бувають кислотні та лужні.

Аморфний стан — твердий стан речовини, який характеризується ізотропією властивостей і відсутністю точки плавлення. З підвищенням температури аморфна речовина розм'якшується й переходить у рідкий стан поступово.

Ампер (1 А) — одиниця сили струму в СІ. Дорівнює силі постійного струму, який, протікаючи у двох паралельних прямолінійних провідниках нескінченної довжини, розташованих у вакуумі на відстані 1 м, викликає між ними силу взаємодії $2 \cdot 10^{-7}\text{Н}$ на кожній ділянці довжиною 1 м.

Амперметр — прилад для вимірювання сили струму. Амперметр вмикають послідовно з ділянкою кола, у якій вимірюють силу струму.

Броунівський рух — невпорядкований рух завислих маленьких частинок у рідині чи газі, викликаний зіткненнями з цими частинками молекул рідини або газу.

Вакансія — дефект кристалічних ґрат, у яких у певних вузлах відсутні структурні мікрочастинки.

Вакуум — простір, вільний від речовини; середовище, що містить газ, тиск якого набагато менший за атмосферний.

Ват (1 Вт) — одиниця потужності у системі СІ. Дорівнює потужності, за якої робота 1 Дж здійснюється за 1 с.

Ватметр — прилад, призначений для вимірювання потужності електричного струму.

Вольт (1 В) — одиниця електричної напруги в СІ. Дорівнює електричній напрузі на ділянці електричного кола з постійним струмом силою 1 А і опором 1 Ом.

Вольтметр — прилад для вимірювання електричної напруги.

Взаємодія — дія тіл одне на одного, яке супроводжується змінами стану їх руху. Взаємодії поділяються на види: гравітаційні, електромагнітні, сильні та слабкі.

Випаровування — процес переходу рідини у газовий стан.

Власна провідність напівпровідників — це провідність хімічно чистих напівпровідників.

Газ — агрегатний стан речовини, в якому вона не здатна зберігати ані форми, ані об'єму. Характеризується слабкою взаємодією частинок речовини між собою.

Гальванічний елемент — джерело струму, в якому енергія хімічної реакції перетворюється на енергію електричного поля.

Гальванометр — прилад для вимірювання малих струмів і кількостей електрики.

Градус Цельсія (1 °C) — позасистемна одиниця температури. Названа на честь шведського астронома А. Цельсія.

Двигун — машина для перетворення різних видів енергії в механічну енергію.

Деформація — будь-які зміни форми та об'єму тіла.

Джерело струму — пристрій, призначений для створення та підтримування електричного поля всередині провідника.

Джоуль (1 Дж) — одиниця роботи в СІ. 1 Дж — це робота, яку виконує сила 1 Н під час переміщення тіла на 1 м у напрямку дії сили.

Дифузія — явище самовільного змішування речовин внаслідок взаємного проникнення молекул однієї речовини у міжмолекулярні проміжки іншої.

Діелектрик — речовина, яка не здатна проводити електричний струм. Це речовина, в якій відсутні вільні заряди.

Діод напівпровідниковий — кристал з електронно-дірковим переходом, до протилежних областей якого під'єднані контакти для ввімкнення в коло.

Дірка — умовна позитивно заряджена частинка (квазічастинка) у напівпровіднику, відповідає відсутності електрона у ковалентному зв'язку.

Домішка акцепторна — домішка з меншою валентністю, здатна легко приймати електрони. Наявність акцепторної домішки у напівпровіднику приводить до того, що кількість дірок у кристалі набагато перевищує кількість вільних електронів, тому в такому напівпровіднику дірки є основними носіями заряду. Кристал з акцепторною домішкою називають напівпровідником р-типу.

Домішка донорна — домішка з більшою валентністю, здатна легко віддавати електрони. Якщо у напівпровіднику присутня донорна домішка, кількість вільних електронів набагато перевищує кількість дірок, отже, в такому кристалі вільні електрони є основними носіями заряду. Такий напівпровідник називають напівпровідником n-типу.

Домішкова провідність напівпровідників — провідність, зумовлена наявністю домішок у напівпровідниковому кристалі.

Дуговий розряд — самостійний електричний розряд у газі, що виникає за великої густини електричного струму. Дуговий розряд існує за незначної напруги (30/100 В) внаслідок інтенсивної емісії термоелектронного розжареного катода (температура понад 3000 К). Дуговий розряд використовують як сильні джерела світла (дугові лампи), у дугових печах для виплавлення металів, під час електрозварювання.

Електризація — процес, у результаті якого тіло набуває електричного заряду.

Електричне коло — джерело струму, з'єднане провідниками з різними електроприладами та споживачами електричної енергії.

Електричне поле — особливий вид матерії, який не сприймається органами чуття і здійснює взаємодію між електричними зарядами.

Електричний заряд — фізична величина, яка характеризує властивість тіл вступати в електромагнітні взаємодії.

Електричний опір — фізична величина, що характеризує протидію провідника чи електричного кола електричному струмові.

Електричний розряд (у газі) — проходження електричного струму в газовому середовищі. Оскільки гази за звичайних умов є діелектриками, то, щоб вони стали електропровідниками, їх потрібно іонізувати. Якщо електричний розряд відбувається лише під дією стороннього чинника іонізації — іонізатора, то його називають несамотійним.

Електричний струм — впорядкований рух заряджених частинок.

Електроліз — проходження струму через розчин електроліту, яке супроводжується виділенням речовин на електродах.

Електроліт — речовина, розчин або розплав якого проводить електричний струм.

Електролітична дисоціація — розпад молекул електролітів (наприклад, кислот, лугів, солей) на позитивні та негативні іони під дією електричного поля молекул розчинника.

Електролюмінісценція — випромінювання тіла, викликане електричним полем.

Електрометр — прилад для виявлення та вимірювання електричного заряду. Електрометр складається з металевого стержня та стрілки, що обертається навколо горизонтальної осі. Стержень і стрілка вміщені в металевий корпус циліндричної форми, закритий склом.

Електрон — елементарна частинка, яка є носієм найменшого заряду у природі $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Енергія — фізична величина, що характеризує здатність тіла чи системи тіл здійснювати роботу під час зміни свого стану.

Закон збереження енергії — енергія у природі нікуди не зникає й не виникає з нічого, вона тільки переходить від одного тіла до іншого і з одного виду в інший, у рівних кількостях.

Замкнута система — система, на яку не діють зовнішні сили.

Заряд вільний — заряджена частинка, здатна вільно переміщуватися у всьому об'ємі наданого середовища.

Заряд елементарний — найменший електричний заряд, що існує у природі. Носієм елементарного заряду є електрон, заряд якого $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Заряд точковий — заряди тіл, які взаємодіють між собою на відстанях, набагато більших, ніж їх геометричні розміри.

Іскровий (газовий) розряд — розряд, який виникає, якщо джерело струму не здатне підтримувати самостійний газовий розряд протягом тривалого часу.

Іон — атом, який втратив або набув зайвих електронів.

Іонізація — процес відокремлення електронів від молекул газу, в результаті якого в ньому утворюються вільні носії заряду — іони та електрони.

Калориметр — прилад для вимірювання кількості теплоти, яка виділяється чи поглинається під час якогось фізичного, хімічного чи біологічного процесу.

Кипіння — процес пароутворення як з усього об'єму рідини, так і з її поверхні за постійної температури.

Кількість теплоти — енергія, яку тіло віддало чи отримало під час теплопередачі.

Коронний розряд — форма самостійного газового розряду, який виникає в сильно неоднорідних електричних полях.

Кристалізація — процес переходу рідини з рідкого у твердий кристалічний стан.

Кристалічні ґрати — просторове періодичне розташування атомів та іонів у кристалі.

Кулон — одиниця вимірювання електричного заряду. 1 Кл — це кількість електрики, яка проходить крізь поперечний переріз провідника за 1 с за сили струму 1 А.

Матеріальна точка — тіло, розмірами та формою якого в умовах даної задачі можна знехтувати.

Міжнародна система одиниць (СІ) — система одиниць фізичних величин, прийнята XI Генеральною конференцією з мір і ваги 1960 р. Міжнародну систему одиниць було розроблено, щоб

замінити складну сукупність систем одиниць і окремих позасистемних одиниць, які склалися на основі метричної системи мір, і спростити користування одиницями. Основними одиницями вимірювання фізичних величин у СІ є метр М (м), кілограм (кг), секунда (с), ампер (А), кельвін (К), моль (моль), кандела (кд) і дві додаткові одиниці: радіан (рад) істерадіан (ср). Перевагами СІ є її універсальність (охоплює всі галузі науки і техніки) й узгодженість похідних одиниць, які утворюються за рівняннями, що не містять коефіцієнтів пропорційності.

Молекула — найменша структурна частина речовини, яка складається з атомів одного чи кількох видів і є носієм основних хімічних властивостей даної речовини.

Монокристал — кристал, який має макроскопічно впорядковані кристалічні ґрати.

Надпровідник — речовина, в якій за температури, яка нижча за деяку характерну для даної речовини, електричний опір дорівнює нулю.

Надпровідність — явище повної втрати металом електричного опору за характерної для нього температури.

Напівпровідник — речовина, яка за певних умов проводить електричний струм, а за інших — ні. Провідність напівпровідників залежить значним чином від таких факторів, як температура, освітленість, наявність домішок.

Напруга — фізична величина, яку визначають роботою сил електростатичного поля по переміщенню одиничного позитивного заряду між даними двома точками.

Несамостійний газовий розряд — явище протікання електричного струму через газ, яке спостерігають тільки під дією іонізаторів.

Нормальні умови — стандартні фізичні умови, які характеризуються тиском $p = 101325$ Па (760 мм рт. ст.) і температурою $T = 273,15$ К (1 К = 0 °С).

Ом (1 Ом) — одиниця вимірювання електричного опору. Опір провідника дорівнює 1 Ом, якщо за різниці потенціалів на його кінцях, рівній 1 В, сила струму в ньому дорівнює 1 А.

Омметр — прилад, призначений для вимірювання електричного опору.

Опір провідника — фізична величина, яка характеризує властивість провідника чинити опір струму, який ним проходить. Опір провідника залежить від його розмірів, роду речовини, температури.

Паралельне з'єднання провідників — з'єднання провідників, за якого початки усіх провідників збираються в один вузол, а кінці — у другий вузол, а вузли вмикають в коло.

Пароутворення — процес, у результаті якого речовина переходить з рідкого стану в газовий.

Питома теплоємність — величина, яку визначають кількістю теплоти, яка необхідна для того, щоб змінити температуру 1 кг даної речовини на 1 К.

Питома теплота згоряння палива — величина, яку визначають кількістю теплоти, яка виділяється за повного згоряння 1 кг даного виду палива.

Питома теплота плавлення — величина яку визначають кількістю теплоти, яка необхідна для того, щоб розплавити 1 кг даної речовини за температури плавлення.

Плавлення — перехід твердої кристалічної речовини в рідкий стан, який відбувається з поглинанням теплоти. Характеризується температурою плавлення, яка залежить від природи речовини і тиску, і питомою теплотою плавлення.

Послідовне з'єднання провідників — з'єднання, за якого кінець одного провідника приєднують до початку другого провідника.

Потужність — робота, яка виконується за одиницю часу.

Провідник — 1. Тіло, здатне проводити електричний струм. 2. Речовина, яка містить вільні заряджені частинки. 3. Відрізок дроту для з'єднання елементів електричного кола.

Променевий теплообмін — теплообмін, який здійснюється тілами за рахунок випромінювання частини своєї внутрішньої енергії та перетворення поглинутої енергії у внутрішню.

Рекомбінація — об'єднання іонів різного знака в нейтральні молекули — процес, протилежний дисоціації.

Рідина — агрегатний стан речовини, в якому вона здатна зберігати свій об'єм, але не зберігає форми.

Рух тепловий — безперервний неупорядкований рух частинок речовини.

Самостійний газовий розряд — розряд у газах, який не припиняється після припинення дії зовнішнього іонізатора.

Сила струму — фізична величина, яку визначають зарядом, що проходить через поперечний переріз провідника за одиницю часу.

Тверде тіло — агрегатний стан речовини, який характеризується сталістю форми та характером руху атомів, які здійснюють малі коливання навколо положення рівноваги.

Температура кипіння — температура, за якої відбувається кипіння рідини, що знаходиться за сталого тиску.

Температура плавлення — температура, за якої кристалічне тверде тіло переходить у рідкий стан.

Теплове розширення — зміна розмірів тіла у процесі його нагрівання.

Теплообмін (теплопередача) — процес передачі енергії без виконання механічної роботи.

Теплопровідність — передача теплоти від більш нагрітих ділянок тіла до менш нагрітих завдяки взаємодії теплопровідності частинок речовини; вид теплопередачі, за якої передача внутрішньої енергії від одних до інших відбувається під час їх контакту й зумовлена взаємодією атомів і молекул.

Термометр — прилад для вимірювання температури. В основу роботи термометра покладено залежність якоїсь характеристики речовини від температури (об'єму, опору тощо).

Тліючий розряд — один із видів самостійного розряду, в якому катод випускає електрони внаслідок його бомбардування позитивними іонами й за рахунок фотоemisії.

Фотоелемент — прилад, який перетворює енергію світла в енергію електричного струму.

Шкала Цельсія — температурна шкала, в якій інтервал між температурами танення льоду і кипіння води при нормальному атмосферному тиску поділений на 100 рівних частин.



- А**кумулятори 146
Ампер Андре-Марі 151
 Ампер 151
 Амперметр 152
 Аніон 189, 190
 Анод 189, 190
 Атом 12, 111
Бурштин 118
Ватметр 183
Ватт Джеймс 103
 Вольт 154
Вольта Алессандро 154
 Вольтметр 155
 Ват 183
 Випаровування 92
 Випромінювання 50, 51
Гальванічні елементи 145, 146
Галілей Галілео 22
Джерела електричного струму 145
 Двигун внутрішнього згоряння 105
 — реактивний 105
 — — тепловий 103
 — Джоуль 55
Джоуль Джеймс 186
 Дуговий розряд 193
Електричний струм 136
 — у металах 141
 — у розчинах електролітів 189, 190
 Електроліз 190
 Електроліт 189
 Електроскоп 121
 Електротравма 197
 Елемент нагрівальний 187
 Енергія
 — внутрішня 14
 — кінетична 14
 — потенціальна 14
Заряд електричний 118, 119
 — негативний 119
 — позитивний 119
 З'єднання провідників змішане 178
 — паралельне 175
 — послідовне 170
 Закон збереження енергії в механічних і теплових процесах 15
 Згоряння палива 89
Іон позитивний 189, 190
 — негативний 189, 190
 Ізолятор 121
Катіон 189, 190
 Катод 189, 190
 Коло електричне 139
 Кулон 142
Кулон Шарль 114
 Коротке замикання 167, 186
 Кипіння 92, 94
 Кількість теплоти 55
 Коефіцієнт корисної дії (ККД)
 — нагрівника 99
 — теплового двигуна 104
 Конвекція 41, 47
 Кристалізація речовини 79
Напівпровідники 133
 — *n*-типу 144
 — *p*-типу 144
 — Напруга електрична 154
Омметр 214
 Опір електричний 158
 — питомий 158
Патон Євген 203
 Поле електричне 126
 Потужність електричного струму 183
 Провідність власна 144
 — діркова 144
 — електронна 144
 Протон 122
 Пароутворення 92
 Питома теплоємність речовини 58

- теплота згоряння палива 89
- пароутворення речовини 98
- плавлення речовини 85
- Плавлення речовини 79
- Потужність електричного струму 182, 183
- Р**екомбінація 193, 215
- Реостат 162
- Робота електричного струму 182
- Розряд газовий 192
 - іскровий 193
 - несамостійний 193
 - самостійний 193
 - тліючий 194
 - коронний 194
- Рівняння теплового балансу 69
- С**вітлова дія струму 138
- Сила електрична 128
- Сила струму 151
- Струм електричний 136
- Т**еплова дія струму 138
- Терези крутильні 127
- Термоелементи 146
- Температура кипіння 95
 - конденсації 95
 - кристалізації 79
 - плавлення 79
 - тіла 16, 17
- Тепловий баланс 69, 70
- Теплообмін 40
- Теплопровідність 43
- Термометр 22
- Термоскоп Галілея 22
- Турбіна газова 104
 - парова 104
- Ф**арадей Майкл 126
- Ф**ранклін Бенджамін 119
- Х**імічне дія струму 139
- Ш**кала Цельсія 24

Шановні друзі!

Розум полягає не тільки в знаннях, але й в умінні їх використовувати. Сподіваємось, що знаннями здобутими із підручника «Фізика–8» ви скористаєтесь у своєму житті.

Наступного навчального року ви продовжите вивчення електрики: узнаете, що таке магнітне поле, що є джерелом і як його використовують. Ви ознайомитеся із світловими явищами та хвильовими процесами, з фізикою атома та атомного ядра.

До зустрічі на сторінках підручника «Фізика – 9»!



Для тих, хто хоче знати більше

Фізика і біологія

Фізика — шлях до розуміння явищ як неживої, так і живої природи. Вона основа техніки, але, з іншого боку, широко використовується для розуміння досліджень в біології і допомагає зрозуміти особливості будови і життєдіяльності біологічних об'єктів.

Усі природничі науки використовують фізичні закони: природознавство, біологія, хімія, географія, астрономія для пояснення багатьох явищ природи не можуть обійтися без законів фізики. У наш час біоніка і біофізика — сучасні науки, які об'єднують досягнення сучасної біології і фізики для пояснення багатьох біофізичних явищ і процесів, використання їх на користь людини.

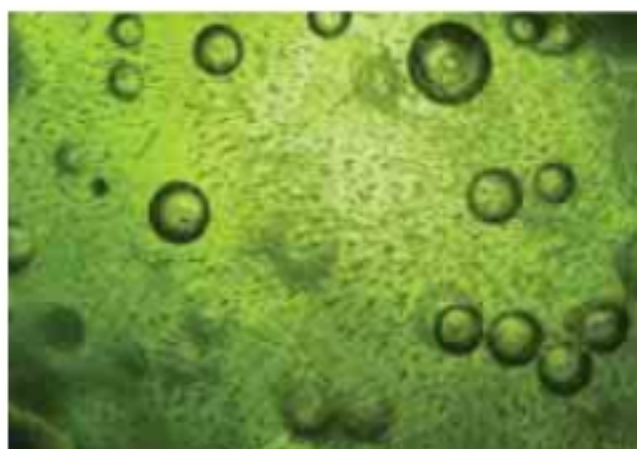


Теплові явища й елементи біофізики

Пристосування тварин до різної температури

Через властивості цитоплазми клітин усі живі організми можуть жити в діапазоні температур від 0 до 50 °С. Саме в таких межах панує температура у більшості місць на поверхні нашої планети. Але деякі види організмів пристосовуються до екстремальних температур і витримують їх довгий час.

- Синьо-зелені водорості широко поширені в природі. Їх можна зустріти масами у всіляких водних басейнах або на берегах біля води, на мілинах, на сирих скелях тощо. Особливо водорості розповсюджені у воді, багатій на домішки органічних речовин. Причина полягає в тому, що вони, окрім поглинання вуглекислоти, води, сонячного світла і мінеральних речовин, охоче «харчуються» продуктами гниття або розпаду інших організмів. Надзвичайно витривалі синьо-зелені водорості і до температури. Зустрічаючись в полярних холодних водах, вони також живуть у джерелах з температурою води вище за 85 °С.



- Основні види амеб живуть у прісноводних річках і ставках. Але є види, які мешкають на дні солоних водойм, у вологій землі та їжі. Амеба уникає яскравого світла, дуже гарячої або холодної води. Але зустрічаються мушлеві амеби, що живуть за температури 58 °С.



- У високогір'ї підняті над землею частини рослин використовуються комахами як місце для годівлі або розмноження. Типові ґрунтові тварини в цій зоні відсутні, оскільки тонкий шар кам'янистого ґрунту без гумусового горизонту містить мало відмерлих органічних речовин. Тут можуть прогнудуватися лише кліщі, ногохвостики, які мешкають за температури -10 °С.



Полярні води в умовах температури 0 °С населені багатою і різномовидною фауною, яка живиться водоростями.

Для того, щоб в умовах холоду зберегти температуру тіла сталою, тварини мають або



збільшити генерування організмом тепла, або зменшити його витрати. Це досягається різними способами, передусім, завдяки захисному шару з малою теплопровідністю (шерсть, пір'я, жировий шар). Хутряне покриття тіла тварини також затримує конвекційні потоки, сповільнює випаровування і випромінювання.

- Завдяки хутряному покриву їздова собака на півночі може спати на снігу за температури -50°C .

- Кити, тюлені, моржі мають голу шкіру, але під шкірою є товстий шар жиру, який добре утримує тепло; жирові запаси імператорського пінгвіна сягають 10–15 кг за маси тіла 35 кг.

- Кінцівки лап і кінчик носа не можуть бути покриті хутром або пір'ям чи жиром, тому для збереження тепла в них зберігається завдяки розвиненій системі кров'яних судин.

- Вуха, хвіст і лапи у тварин коротші в тій місцевості, де холодніше.

- Багато тварин рятуються від холоду взимку сплячкою. Температура тіла під час зимового сну у тварин за рахунок сповільнення обмінних процесів може знизитися до 0°C (бабаки, соні, бурі ведмеді, кажани).



Пристосування рослин до різної температури

Рослини пристосовуються до виживання в місцевостях з різною температурою і кількістю вологи в ґрунті.

- У рослин в сухій місцевості краще розвинута коренева система і менша площа листя.

- Рослини у вологих затінених тропічних лісах мають листя тонке і широке, в них слабо розвинена коренева система.

- Кактуси в пустелях мають товсті м'ясисті зелені стовбури і колючки замість листя. Тому навіть у велику спеку випаровування з поверхні кактусів дуже мале.

- Для захисту від перегрівання і для зменшення інтенсивності випаровування у деяких рослин засушливих місцевостей листя покрите густим шаром світлих волосків.

Це цікаво знати

- Розвівши 1 мл чорнила в 1 л води, а потім 1 мл цього розчину — в ще одному літрі води, ми отримаємо розведення в мільйон разів. Незважаючи на це, отриманий розчин буде мати цілком помітне забарвлення. Звідси випливає, що обсяг частинок чорнила набагато менший, ніж мільйонна частина мілілітра.

Рослина-компас

Це цікава рослина (сільфіум), яка пристосувалася до життя в преріях Північної Америки. Листя цієї рослини розміщене так, що один бік направлений на схід, а інший на захід. Мисливці прерій можуть орієнтуватися в сторонах горизонту за листям цієї рослини-компаса. Але для самої рослини таке розміщення листя дає великі переваги. Вранці і ввечері, коли буває прохолодно і мало світла, листки добре освітлюються, але при цьому мало нагріваються і випаровують мало вологи, в полудень також нагрівання і випаровування відносно невелике.



Бджолиний вулик і теплотехніка

В усіх куточках Землі будова бджолиних гнізд однакова: зверху донизу спускаються прикріплені до стелі соти. Ці соти являють собою дивну теплотехнічну споруду. Соти надійно покриті бджолиним клеєм і воском, у вулику закриваються всі щілини

і тріщини. Тепло, яке виділяється бджолами, використовується повністю. На краях вулика температура нижча, ніж всередині. Ці місця займають соти з медом. Теплопровідність воску і меду мала, тому в центрі вулика підтримується температура, необхідна для розвитку яєць, личинок, лялечок.

Різниця в температурах країв і центра вулика забезпечує його вентиляцію завдяки конвекції. Крім того, в бджолиній родині є група бджіл-вентиляторів, які розміщуються рядами і махають крилами, сидячи на місці. Ці бджоли створюють повітряні струмені, достатні для вентиляції вулика.



Тварини та електрика

- Із 20 тисяч відомих сьогодні риб 300 можуть генерувати електрику. Так, наприклад, електричний скат може створювати напругу до 400 В і силу струму 60 А!
- Чому птахи спокійно сидять на високовольтних проводах?

Тіло птаха являє собою розгалуження кола, опір якого набагато більший порівняно з опором шматка проводу між лапками птаха. Тому сила струму, який проходить через тіло птаха, є дуже малою. Але якщо птах випадково хвостом або крилом доторкнеться до стовпа та в такий спосіб з'єднається із землею, його відразу буде вбито струмом.



Навчальне видання

СЕРДЮЧЕНКО Валентина Григорівна

БОЙЧЕНКО Артем Михайлович

ФІЗИКА

Підручник для 8 класу

загальноосвітніх навчальних закладів

Редактори _____

Художнє оформлення _____

Художник обкладинки _____

Комп'ютерна верстка _____

Коректор _____

Підписано до друку _____. Формат 70х100/16. Папір офсетний.

Гарнітура шкільна. Друк офсетний. Ум. друк. арк. _____. Обл.-вид.

Наклад _____ пр.