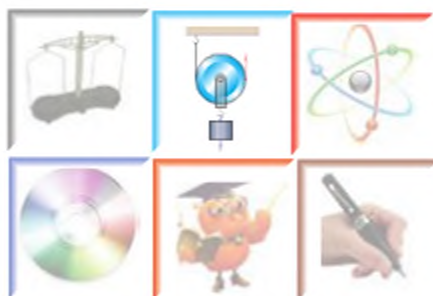


# Фізика

П.Ф. Пістун  
В.В. Добровольський  
П.І. Чопик

# «ФІЗИКА»

підручник для 8 класу загальноосвітніх навчальних закладів



ТЕРНОПІЛЬ  
НАВЧАЛЬНА КНИГА — БОГДАН  
2016

УДК 53 (075.3)  
ББК 22.3я72  
ПЗ4

**Пістун П.Ф.**

ПЗ4 Фізика : підручник для 8 кл. загальноосвітн. навч. закл. / П.Ф. Пістун, В.В. Добровольський, П.І. Чопик. — Тернопіль : Навчальна книга – Богдан, 2016. — 208 с : іл.

ISBN 978-966-10-4498-1

Пропонований підручник відповідає чинній програмі з фізики для 8-го класу й передбачає готовність учнів до широкого і свідомого застосування фізики. Цю орієнтацію забезпечують зміст курсу, характер викладення навчального матеріалу, добір ілюстрацій і приклади застосувань, запитання для самоперевірки знань, завдання на повторення, а також завдання експериментального характеру та лабораторні роботи.

Для учнів і вчителів загальноосвітніх навчальних закладів.


УДК 53 (075.3)  
ББК 22.3я72

Автори і видавництво висловлюють щире подяку  
Н.С. Важеєвській та Н.С. Пуришевій, а також видавництву «Дрофа»  
за надані матеріали, підтримку і сприяння у реалізації проекту

*Охороняється законом про авторське право.  
Жодна частина цього видання не може бути відтворена  
в будь-якому вигляді без дозволу автора чи видавництва*

© Пістун П.Ф., Добровольський В.В.,  
Чопик П.І., 2016  
© Навчальна книга – Богдан, 2016  
© Дрофа, 2012

ISBN 978-966-10-4498-1

Піктограмами  у підручнику позначено ті його електронні складові, які можна відкрити за посиланням:

<http://www.bohdan-digital.com/edu>.

## ПЕРЕДМОВА

*Дорогі друзі!* Вивчаючи фізику у 7 класі, ви дізнались багато нового про фізику як науку про природні явища та методи їхнього вивчення. Для вас експеримент — одне із джерел знань. Ви навчилися самостійно виконувати експериментальні завдання під час виконання лабораторних робіт на уроках і деяких завдань удома.

У 8 класі ви будете вивчати закономірності теплових та електричних явищ. На початку кожного параграфу є запитання, на які ви повинні дати відповіді для повторення раніше вивченого матеріалу. У цьому підручнику нові терміни, визначення, формули в тексті виділені **напівжирним шрифтом**. Їх потрібно запам'ятати. Після того, як ви прочитаєте параграф, постарайтесь його переказати і відповісти на запитання для самоперевірки. Читаючи підручник, звертайте увагу на слова, виділені *курсивом*, наведені в ньому рисунки, які ілюструють викладений матеріал.

Щоби переконатися у тому, що ви зрозуміли матеріал, виконайте завдання, наведені у вправах, поміщених після параграфів. Підручник містить задачі двох рівнів складності. Деякі з них є запитаннями, відповідаючи на які потрібно пояснити відповідне явище або процес.

Інші завдання сформульовані у вигляді задач, при розв'язуванні яких потрібно визначити ту чи іншу фізичну величину, використавши відповідні закони і формули.

Зустрічаються також і графічні задачі, в яких треба виконати обчислення і побудувати графік або з поданого графіка отримати певну інформацію.

Є завдання експериментального характеру, виконання яких передбачає проведення дослідів і спостережень. Такі завдання позначені індексом «е» (експеримент).

Задачі підвищеної складності, а також параграфи, обсяг матеріалу яких дещо виходить за межі діючої програми з фізики, помічені зірочкою. До деяких задач у кінці підручника наведені відповіді. Для тих, хто прагне дізнатися більше чи перевірити свої знання, створено електронний додаток (робота з комп'ютером) де міститься додатковий матеріал, завдання різного рівня складності та тестові завдання для самостійної перевірки знань.

Бажаємо вам успіхів у навчанні.

*Автори*



# Розділ I

## ТЕПЛОВІ ЯВИЩА

До цього часу ви вивчали явища і властивості тіл, не пов'язані зі зміною їхньої температури. Це були механічний рух, механічні властивості твердих тіл, рідин і газів. Тепер ви починаєте вивчати нові явища — теплові. Розділ фізики, що вивчає теплові явища, називають *термодинамікою*. До теплових явищ належать, наприклад, нагрівання і охолодження тіл, плавлення і випаровування та інші. Ви розглянете причини цих явищ і навчитеся їх пояснювати.

### §1. Тепловий рух молекул

✓ Який характер має тепловий рух молекул?

**1** Ви вже знаєте, що всі речовини складаються з частинок (молекул, атомів, іонів), між якими є проміжки і які знаходяться в постійному русі.

Складність експериментальної перевірки цього твердження полягає в тому, що розміри молекул малі і їхній рух спостерігати неможливо. Однак можна вивчати явища, які є наслідком руху молекул. Розглянемо деякі з них.

**2** *Роберт Броун* (1773–1858) у 1827 р. вивчав за допомогою мікроскопа поведінку часточок квіткового пилку, що знаходились у воді. Він помітив, що часточки здійснюють неперервний рух (ніби тремтять у воді). Такий рух називають **броунівським**. На рисунку 1 показана в збільшеному масштабі траєкторія руху часточки.

Броун помилково вважав, що часточки рухаються, тому що вони живі. Пояснити причину броунівського руху вдалося значно пізніше. Ця причина — *рух молекул води*. Молекули води, в якій знаходиться часточка пил-

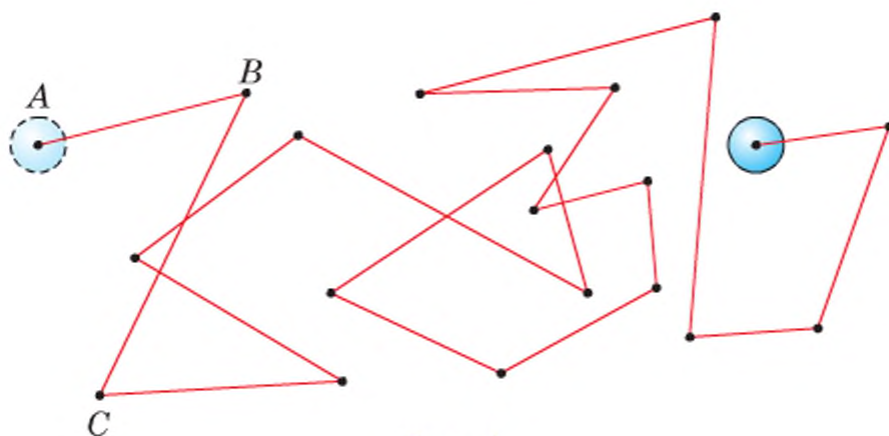


Рис. 1

ку, рухаються і вдаряються в неї. Причому з різних сторін у часточку вдаряється неоднакова кількість молекул, що призводить до її переміщення.

Нехай в момент часу  $t_1$  під дією ударів молекул води часточка перемістилася з точки  $A$  в точку  $B$  (див. рис. 1). У наступний момент часу більша кількість молекул вдаряється в часточку з іншого боку, і напрямок її руху змінюється, вона переміщується з точки  $B$  в точку  $C$ . Таким чином, рух частинки пилку є наслідком руху молекул води, в якій пилочок знаходиться.

Подібне явище можна спостерігати, якщо помістити у воду часточки фарби або сажі. Броунівський рух частинок можна спостерігати і в газах.

**3** Із траєкторії руху частинки пилку видно, що напрямок її руху весь час змінюється. Оскільки рух часточки — наслідок руху молекул води, то можна зробити висновок, що молекули рухаються безладно (хаотично). Іншими словами, не можна виділити якийсь певний напрям, в якому рухаються всі молекули. Рух молекул ніколи не припиняється. Можна сказати, що він — неперервний. Отже, молекули перебувають у **безперервному хаотичному русі**.

Інтенсивність безперервного хаотичного руху молекул пов'язана з температурою тіла. Тому його називають **тепловим**.

**Тепловий рух — безперервний хаотичний рух частинок, з яких складається речовина.**



Роберт Броун (1773–1858) – англійський ботанік. Досліджуючи поведінку частинок пилку, що знаходяться у воді, описав їх рух, який згодом був названий його ім'ям.

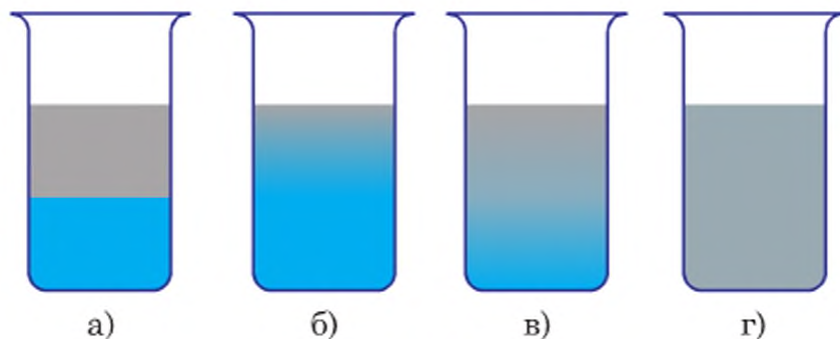
**4** Як вам відомо, запах парфумів поширюється завдяки руху молекул. Молекули парфумів так само, як і молекули повітря, рухаються. Молекули парфумів проникають у проміжки між молекулами повітря, а молекули повітря — у проміжки між молекулами парфумів.

**Явище взаємного проникнення речовин, що контактують між собою, одна в одну називають дифузією.**

Дифузія відбувається внаслідок хаотичного руху молекул.

Поширення запаху — приклад дифузії в газах. Дифузія відбувається і в рідинах. Наприклад, якщо у воду додати краплю чорнила, то ми побачимо, як вона почне розпливатися. Це відбувається тому, що молекули фарби проникають у проміжки між молекулами води.

Наллємо в мензурку розчин мідного купоросу, а зверху — воду так, щоб між цими рідинами було видно межу (рис. 2, а). Через два-три дні зауважимо, що межа вже не буде такою різкою (рис. 2, б); через тиждень вона зовсім розмиється (рис. 2, в). Через місяць рідина стане однорідною і в усій посудині буде забарвлена однаково (рис. 2, г). Молекули мідного купоросу проникають у проміжки між молекулами води, а молекули води — у проміжки між молекулами мідного купоросу.



**Рис. 2**

Дифузія також відбувається і в твердих тілах. Однак, оскільки молекули твердих тіл знаходяться близько одна від одної, дифузія в твердих тілах відбувається дуже повільно. Досліди показують, що дифузія в газах проходить швидше, ніж у рідинах. Це пояснюється тим, що гази мають меншу густину, ніж рідини, тобто молекули газів розташовані на великих

відстанях одна від одної. Швидкість перебігу дифузії також залежить від температури. При високій температурі дифузія відбуватиметься швидше.



### Запитання для самоперевірки

1. Наведіть приклади явищ, які доводять, що молекули рухаються.
2. Як ви розумієте, що рух молекул неперервний і хаотичний?
3. Чим відрізняється рух молекули газу від механічного руху тіла?
4. Який рух називають тепловим?



### Завдання 1

1. Чому дитячі повітряні кульки поступово зменшуються в об'ємі? Відповідь обґрунтуйте.
2. Поясніть, чому цукор та інші пористі продукти не можна довго зберігати біля речовин, що мають сильний запах.
3. В якій воді — холодній чи гарячій — цукор розчиняється швидше? Чому?

## §2. Температура

✓ Який характер має тепловий рух молекул?

**1** Поняттям «температура» люди почали користуватись ще до визнання теорії атомної та молекулярної будови речовини. *Тепловий стан* тіла характеризували за відчуттям тепла чи холоду при дотику. Але чи є об'єктивними такі відчуття?

Торкаючись снігу взимку ми говоримо, що «сніг холодний», оскільки температура снігу менша за температуру руки. Тобто поняття температури в даному випадку можна визначити як *ступінь нагрятості тіла*. Проте не завжди за відчуттям можна визначити гаряче тіло, чи холодне. Наприклад, металеві предмети здаються холоднішими дерев'яних за однакової кімнатної температури. Тому для порівняння температури тіл потрібно використовувати об'єктивні чинники, які ми розглянемо далі.

**2** Досліди показують, що однаково нагріті тіла, які контактують між собою, не змінюють свої властивості як завгодно довго при відсутності зовнішніх впливів. Цей стан називають **тепловою рівновагою**.

Так, наприклад, температура рідини в посудині, що перебуває в тепловій рівновазі з повітрям у кімнаті, не змінюється, якщо для цього не буде будь-яких зовнішніх причин. Звичайно, якщо в кімнаті температура повітря  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а на вулиці  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  і ви відкриєте вікно, то зовнішні умови зміняться і температура рідини в посудині теж буде змінюватися. Проте з плином часу знову встановиться тепла рівновага (якщо не буде інших змін), і температура змінюватися не буде.

**3** Якщо опустити в склянку з гарячим чаєм металеву ложку, то ложка буде нагріватися, а чай — остигати. Це буде відбуватися до тих пір, поки не настане тепла рівновага, при якій температура ложки і чаю стане однаковою. У будь-якому випадку, якщо взяти два нагрітих тіла, нагрітих порівню, і привести їх у зіткнення, то більш нагріте тіло буде остигати, а менш нагріте — нагріватися. Через деякий час система, що складається з цих двох тіл, прийде в теплову рівновагу, і температура цих тіл стане однаковою.

Частинки тіла завжди перебувають в тепловому русі, а значить мають кінетичну енергію. Чим швидше рухаються частинки, тим більша температура тіла, і навпаки: збільшення температури призводить до збільшення швидкості руху частинок та, відповідно, до збільшення кінетичної енергії. Кінетична енергія частинок речовини постійно змінюється, оскільки змінюються швидкості частинок. Але *середня кінетична енергія* частинок всіх тіл, що перебувають в тепловій рівновазі, є однаковою.

Отже, температура — це фізична величина, що характеризує стан теплової рівноваги системи тіл і є мірою середньої кінетичної енергії хаотичного руху частинок речовини.

Її особливістю є те, що значення температури у всіх тіл, що перебувають у стані теплової рівноваги, однакове. Так, однаковою стане температура предмета, внесеного в кімнату, і повітря в ній, коли вони прийдуть в теплову рівновагу.

**4** Температуру вимірюють **термометром**. Дія термометра ґрунтується на залежності властивостей тіл від температури: теплове розши-





Рис. 3

рення тіл, зміні електричних властивостей речовини від температури і т.д. Різні типи термометрів зображено на рис. 3. Вам добре відомо, що тіла при нагріванні розширюються. На залежності об'єму тіла від температури ґрунтується будова найпоширеніших термометрів. У термометрах можуть бути використані різні тіла: і рідкі (спирт, ртуть), і тверді (метали), і газоподібні. Найчастіше використовують рідину або газ.

Рідинний термометр (рис. 4) складається з колби (1), наповненої рідиною і яка з'єднана з довгою тонкою трубкою (2). За довжиною стовпчика рідини в трубці визначають температуру. Для того, щоб за допомогою термометра можна було проводити вимірювання, термометр повинен мати шкалу (3).

Щоб виміряти температуру за допомогою рідинного термометра, його колбу розміщують в тому середовищі, температуру якого хочуть виміряти. Коли встановиться теплова рівновага між рідиною в колбі і середовищем (довжина стовпчика рідини в трубці перестане змінюватися) за шкалою визначають значення температури.

При побудові шкали вибирають дві основні (реперні, опорні) точки, яким приписують певні значення температури, й інтервал між ними ді-



Рис. 4

лять на кілька рівних частин. Значення кожної частини відповідає одиниці температури за даною шкалою.

Рідинні термометри мають ряд недоліків. Наприклад, використовуючи в термометрах властивість теплового розширення, ми вважаємо, що об'єм рідини змінюється однаково (рівномірно) на як завгодно великому температурному інтервалі. Насправді це не так. Причому в різних речовин ця нерівномірність проявляється різною мірою.

**5** Існують різні температурні шкали. Однією з найбільш поширених у практиці і добре відомих вам шкал є шкала Цельсія. Основними точками цієї шкали є температура танення чистого льоду за нормального атмосферного тиску і температура кипіння дистильованої води за нормального атмосферного тиску. Першій точці приписали значення  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а другий —  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Відстань між цими точками розділили на 100 рівних частин і отримали шкалу Цельсія. За одиницю температури за цією шкалою прийнятий  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

*Один градус Цельсія ( $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) — це одна сота частини інтервалу між температурою плавлення льоду і температурою кипіння води за нормального атмосферного тиску.*



*Андерс Цельсій (1701–1744) – шведський астроном і математик. Запропонував стоградусну шкалу для вимірювання температури.*

**6\*** Зрозуміло, що, вибираючи в якості основних різні точки і ділячи відстань між ними на різну кількість частин, можна отримати різні температурні шкали. Так, у США та Великобританії досі застосовують термометри зі шкалою Фаренгейта.

За  $0^{\circ}$  у цій шкалі Фаренгейт прийняв температуру найхолоднішої зими в Голландії в 1709 р. Таку температуру мала, складена ним, суміш льоду з нашатирем чи кухонною сіллю. Другу точку він отримав, занурюючи термометр у суміш льоду і води. Відстань між цими точками він розділив на 32 частини. Таким чином, за цією шкалою вода замерзає при  $32\text{ }^{\circ}\text{F}$ .

Свою шкалу Фаренгейт перевіряв, вимірюючи температуру людського тіла. Нову точку, що відповідає нормальній температурі тіла, він позна-

чив  $98^{\circ}\text{F}$ . Пізніше він увів четверту точку — температуру кипіння води, яка дорівнює  $212^{\circ}\text{F}$ .

У Франції використовувалася шкала Реомюра, запропонована в 1730 р. Основні точки цієї шкали — температура танення льоду ( $0^{\circ}\text{R}$ ) і температура кипіння води ( $80^{\circ}\text{R}$ ).

Існує ще шкала Кельвіна, де за початковою точкою є абсолютний нуль. Одиницею температури є Кельвін, який дорівнює градусу за шкалою Цельсія. Нулю за шкалою Кельвіна відповідає  $-273,15^{\circ}\text{C}$ .

Найбільш поширені температурні шкали наведені на рисунку 5.

### Температурні шкали

Цельсія    Фаренгейта    Реомюра    Кельвіна

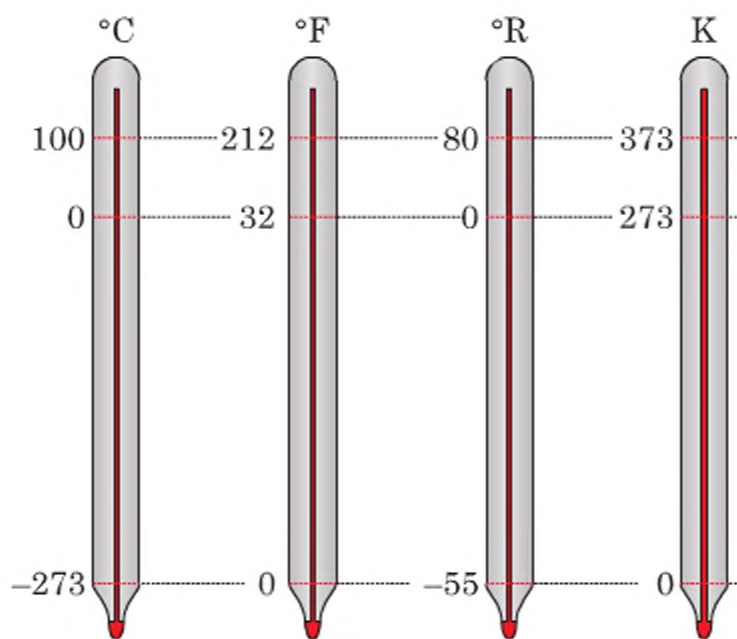


Рис. 5



### Запитання для самоперевірки

1. Наведіть приклади, коли тіла перебувають у стані теплової рівноваги і коли не перебувають у тепловій рівновазі.
2. Сформулюйте означення температури тіла.
3. Яку властивість тіл покладено в основу вимірювання температури?
4. Яка будова рідинного термометра?
5. Як будується шкала Цельсія?



## Завдання 2

1. Чи перебуває полум'я багаття в тепловій рівновазі з навколишнім повітрям?
2. Чому трубка, яка використовується у рідинному термометрі має бути тонкою?
3. Яку рідину використовують у побутових термометрах?
4. Накресліть шкалу термометра, межі вимірювання якого — від  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а ціна поділки дорівнює  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Позначте на шкалі температуру  $8,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ .
- 4\*. Температура повітря в кімнаті  $18\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Яка температура повітря за шкалою Фаренгейта та за шкалою Реомюра?

### §3. Залежність розмірів фізичних тіл від температури

- ✓ Що називається фізичним тілом, речовиною?
- ✓ Які явища доводять складну будову речовини?

**1** Ви вже знаєте, що всі тіла складаються з дрібних частинок (молекул, атомів, іонів), між якими є проміжки. Досліди показують, що як правило при

нагріванні фізичні тіла розширюються, а при охолодженні — стискаються. Зміна розмірів тіла при його нагріванні називається **тепловим розширенням**.

Можна провести наступний дослід. Металева кулька вільно проходить крізь кільце (рис. 6, а). Підвісимо кульку на штативі і нагріємо в полум'ї спиртівки. Кулька через кільце не пройде (рис. 6, б). Це означає, що її об'єм збільшився, або, інакше кажучи, кулька при нагріванні розширилась. Розширення можливе завдяки тому, що частинки, з яких складається кулька, знаходять-

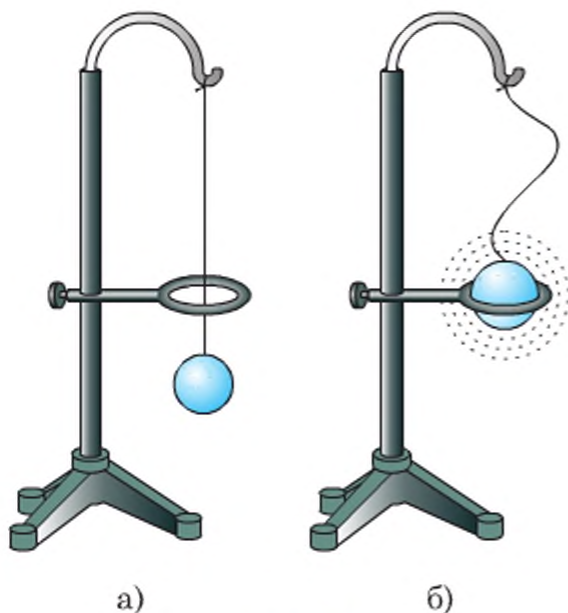


Рис. 6

ся на деяких відстанях одна від одної, тобто між ними є проміжки. При нагріванні ці проміжки збільшуються.

У твердого тіла розрізняють *лінійне розширення* — зміна розмірів (довжини, ширини, висоти) тіла і *об'ємне розширення тіла* — зміна об'єму тіла при нагріванні.

**2** Розширюються при нагріванні і рідини. Оскільки рідини не мають певної форми, то немає змісту говорити про лінійне розширення рідин. Об'ємне розширення рідин можна спостерігати на досліді. Наллємо в колбу воду і закриємо її корком, в яку вставлена скляна трубка так, щоб частина рідини була в трубці (рис. 7, а). Якщо воду в колбі нагріти, то через деякий час можна помітити підвищення рівня води в трубці (рис. 7, б).

**3** Дослідно встановлено, що тверді тіла та рідини при нагріванні розширюються значно менше, ніж гази. Розширення газів можна спостерігати на такому досліді.

Зануримо шийку колби з повітрям у посудину з водою (рис. 8). Нагріємо колбу полум'ям спиртівки чи просто руками. При цьому з неї почнуть виходити бульбашки повітря і підніматися вгору. Це пояснюється тим, що під час нагрівання повітря розширюється і частково виходить із колби.

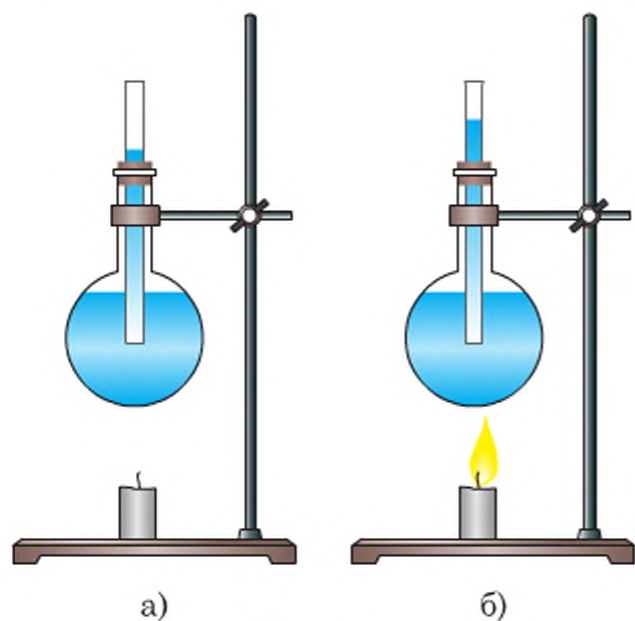


Рис. 7

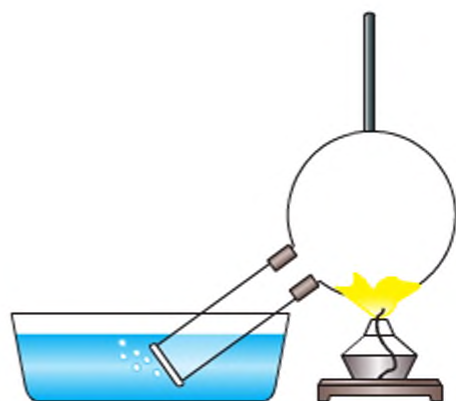


Рис. 8

**4** Отже, внаслідок нагрівання збільшується відстань між молекулами (атомами) речовини, внаслідок чого збільшується і об'єм тіла. При зменшенні температури відстань між молекулами зменшується і, відповідно, зменшується і об'єм тіла. Винятком є вода, чавун та деякі інші речовини. Вода, наприклад, розширюється тільки при нагріванні до температури, більшої за 4 °С, а при нагріванні від 0 °С до 4 °С об'єм води зменшується, а густина збільшується.

Різні тіла по-різному змінюють свої розміри при нагріванні оскільки теплове розширення тіл залежить від речовини, з якої виготовлено тіло.

**5\*** Для того, щоб визначити, яким чином залежать розміри твердого тіла від температури, потрібно знати, як змінюються лінійні розміри тіла при збільшенні температури на 1 °С.

Фізична величина, яка чисельно дорівнює відношенню зміни довжини тіла до його початкової довжини при нагріванні на 1 °С, називається **температурним коефіцієнтом лінійного розширення** і позначається символом  $\alpha$ :

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

де  $\Delta l = l - l_0$  — зміна довжини тіла;  $\Delta t = t - t_0$  — зміна температури тіла;  $l_0$  — початкова довжина тіла при температурі  $t_0$ .

Відповідно довжина тіла при температурі  $t$ :

$$l = l_0(1 + \alpha(t - t_0)).$$

Одиницею коефіцієнта лінійного розширення є 1/°С. Температурні коефіцієнти лінійного розширення деяких речовин подано в таблиці 1.

*Таблиця 1*

### Температурні коефіцієнти лінійного розширення деяких речовин

Тверда речовина	$\alpha$ , 1/°С	Тверда речовина	$\alpha$ , 1/°С
Цегла	0,000005	Срібло	0,000019
Скло	0,000009	Алюміній	0,000024
Сталь	0,000012	Свинець	0,000029
Мідь	0,000017	Золото	0,000014

Теплове розширення враховується в техніці. Залізничні рейки, як і всі тіла, змінюють свою довжину при охолодженні і нагріванні. Якби рейки щільно прилягали одна до одної, то при зміні температури в них виникали би великі напруження, які могли б призвести до їхнього руйнування. Тому, вкладаючи рейки між ділянками довжиною 100 – 150 м, залишають зазор. Зимом цей зазор збільшується, а літом — зменшується.

Властивість тіл, виготовлених з різних речовин, по-різному змінювати свою довжину при нагріванні також широко використовується. Візьмемо дві пластинки, виготовлені, наприклад, з міді та заліза, з'єднаємо їх (рис. 9, а) і будемо нагрівати. Мідна пластинка розширюється сильніше, ніж залізна, тому пластинки прогнуться (рис. 9, б). Такі пластинки називають *біметалічними*. Їх використовують в термометрах і регуляторах температури.

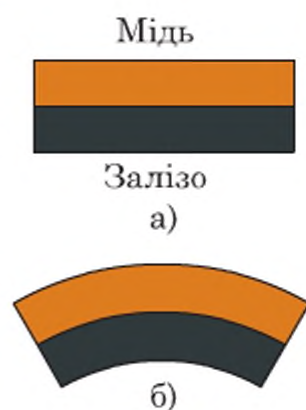


Рис. 9



### Запитання для самоперевірки

1. Що відбувається з тілами при нагріванні?
2. Чи змінюються розміри молекул при нагріванні?
3. Яка причинна розширення тіл при нагріванні?
4. Які речовини розширюються при нагріванні найбільше?
5. Наведіть приклади дослідів, що підтверджують розширення твердих тіл, рідин та газів при нагріванні.
6. Які особливості теплового розширення води?



### Завдання 3

1. Чому стовпчик термометра «піднімається» при підвищенні температури середовища?

2. Що відбуватиметься з повітряною кулькою, якщо її взимку винести з теплого приміщення на вулицю?
- 3\*. На скільки збільшиться довжина алюмінієвого дроту лінії електропередачі літом при температурі  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , якщо зимою при температурі  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  її довжина  $150\text{ м}$ ?
4. Виконайте дослід, який доводить, що тверді тіла при нагріванні розширюються. Візьміть монету, покладіть на дощечку і вбийте в дощечку два цвяхи, що обмежують монету. Вона повинна проходити між цвяхами. Візьміть монету плоскогубцями і нагрійте. Перевірте, чи проходить монета між цвяхами. Поясніть результати дослідів. *Будьте обережні при нагріванні монети!*

## §4. Агрегатні стани речовини. Фізичні властивості твердих тіл, рідин та газів

✓ В яких агрегатних станах може перебувати речовина в природі?

**1** Речовини в природі можуть перебувати в трьох агрегатних станах: у твердому, рідкому і газоподібному. Так, вода при певних значеннях температури може бути твердою (лід), рідкою (вода), газоподібною (пара).

Ртуть, яка застосовується, наприклад, у відомому вам медичному термометрі, знаходиться в рідкому стані; якщо її охолодити до температури нижче  $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$ , то вона стане твердою, а якщо нагріти вище  $357\text{ }^{\circ}\text{C}$ , то вона перетвориться в газ.

З прикладів, які згадувалися вище, а також із ваших власних спостережень можна зробити висновок, що властивості тіл у різних агрегатних станах різні. Розглянемо їх.

**2** Тверде тіло має певну форму і певний об'єм. Його важко стиснути або розтягнути; якщо його стиснути, а потім відпустити, то воно, як правило, відновлює свою форму і об'єм. Виняток становлять деякі речовини, твердий стан яких близький за своїми властивостями до рідин (пластлін, віск).



**3** Наллємо рідину в банку, переллємо її з банки у склянку, а потім — в чашку. У всіх випадках рідина буде набувати форму посудини, в яку вона налита. Це говорить про те, що рідина в земних умовах (де діє сила тяжіння) не має власної форми. Тільки дуже маленькі краплі рідини мають свою форму — форму кулі.

Об'єм рідини змінити надзвичайно важко. Це можна перевірити, якщо набрати воду в насос, закрити отвір внизу і спробувати стиснути воду. Навряд чи ваші спроби виявляться вдалими. Це означає, що рідина має власний об'єм, який не змінюється при деформації.

**4** На відміну від рідини об'єм газу змінити досить легко. Наприклад, стиснувши руками м'яч або повітряну кульку, ми міняємо об'єм повітря, що наповнює їх. Газ не має власного об'єму, він займає повністю об'єм судини, в якій знаходиться. Те ж можна сказати і про форму газу.

З розглянутих прикладів можна зробити висновок:

**тверді тіла зберігають власну форму і об'єм; рідини зберігають власний об'єм, але не мають власної форми; гази не мають ні власного об'єму, ні власної форми. Тверді тіла і рідини важко стиснути, гази легко стискаються.**

**5** Чому ж гази, рідини і тверді тіла мають такі різні властивості? Пояснити це можна, використовуючи знання про те, що речовини складаються з частинок (молекул або атомів), які знаходяться в безперервному і хаотичному русі та взаємодіють між собою.

Перш за все слід мати на увазі, що молекули речовини в різних агрегатних станах однакові. Так, лід, вода і водяна пара складаються з молекул води, які містять два атоми гідрогену і один атом оксигену. Отже, причину відмінності властивостей речовини в різних станах треба шукати в розташуванні, характері руху і взаємодії молекул.

Оскільки гази займають увесь наданий їм об'єм, то очевидно, що сили притягання між молекулами газу малі. А це означає, що молекули перебувають на порівняно великих відстанях одна від одної. В середньому

відстані між молекулами газу в десятки разів більші за відстані між молекулами рідини. Це підтверджується тим, що гази легко стискаються.

Малі сили притягання впливають і на характер руху молекул газу. Молекула газу рухається прямолінійно до зіткнення з іншою молекулою, в результаті чого змінює напрямок свого руху і рухається прямолінійно до наступного зіткнення.

**6** Тверді тіла важко стиснути. Це пов'язано з тим, що їхні молекули (атоми, іони) перебувають близько одна від одної і при невеликій зміні відстані між ними різко зростають сили відштовхування. Порівняно велике притягання між молекулами твердих тіл призводить до того, що вони зберігають форму та об'єм.

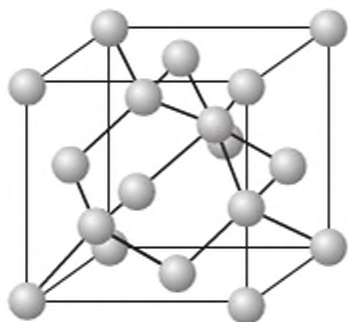


Рис. 10

Атоми або молекули більшості твердих тіл розташовані в певному порядку і утворюють **кристалічну ґратку**. На рисунку 10 зображено кристалічну ґратку алмазу. У вузлах кристалічної ґратки (положеннях рівноваги частинок) розташовані атоми вуглецю (С). Частинки твердого тіла (атоми, молекули або йони) здійснюють коливальний рух відносно вузлів кристалічної ґратки.

**7** У рідинах молекули розташовані також досить близько одна від одної. Тому рідини зберігають свій об'єм і погано стискаються. Але оскільки рідини не зберігають свою форму, можна припустити, що сили притягання між молекулами рідини менші, ніж між молекулами твердого тіла.

Характер руху молекул рідини дуже складний. Вони розміщуються не так упорядковано, як молекули твердих тіл, але в більшому порядку, ніж молекули газів. Молекули рідини здійснюють коливальний рух відносно положень рівноваги, однак з плином часу ці положення рівноваги зміщуються, тобто молекули перескакують з місця на місце.

На рисунку 11 показано розташування молекул води в різних агрегатних станах: а) — у твердому, б) — у рідкому, в) — у газоподібному.

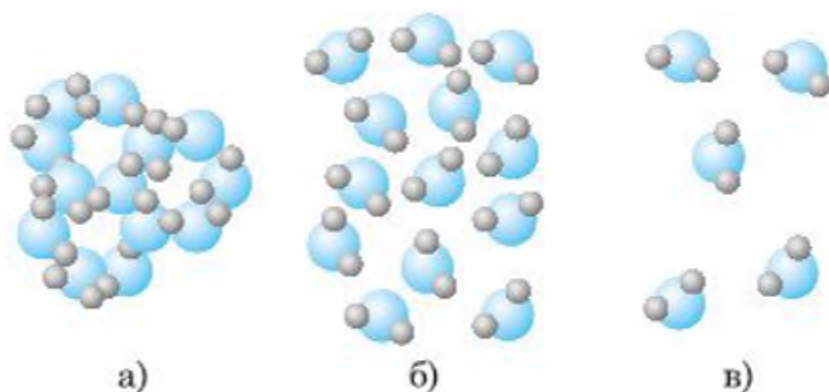


Рис. 11



### Запитання для самоперевірки

1. Назвіть основні властивості твердих тіл; рідин; газів.
2. Користуючись рисунком 11, поясніть:
  - а) чим відрізняється будова газів, рідин і твердих тіл;
  - б) чим відрізняється характер руху молекул газів, рідин і твердих тіл;
  - в) чим відрізняється взаємодія молекул газів, рідин і твердих тіл.
3. Чому гази заповнюють увесь наданий їм об'єм?
4. Чому рідини погано стискаються?
5. Чому рідини не зберігають свою форму?
6. Чому тверді тіла зберігають форму та об'єм?



### Завдання 4

1. Випишіть з тексту параграфа і наведіть свої приклади речовин, що перебувають в різних агрегатних станах при температурах  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  —  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Заповніть таблицю 2.

Таблиця 2

Тверда речовина	Рідка речовина	Газоподібна речовина

2. Заповніть таблицю 3.

Таблиця 3

Агрегатний стан речовини	Власна форма	Власний об'єм	Відстань між молекулами	Сили взаємодії між молекулами	Характер руху молекул
Твердий					
Рідкий					
Газоподібний					

3\*. Наведіть приклади використання властивостей газів, рідин і твердих тіл у техніці.



### Робота з комп'ютером

Вивчіть матеріал уроку та виконайте запропоновані в електронному додатку завдання.

## §5. Внутрішня енергія

- ✓ Яку енергію називають кінетичною; потенціальною?
- ✓ Наведіть приклади, коли тіло, що має кінетичну (потенціальну) енергію, здійснює роботу.

**1** Як ви вже знаєте, існують два види механічної енергії: кінетична і потенціальна. Кінетичну енергією має будь-яке рухоме тіло; вона залежить від маси тіла і його швидкості. Потенціальна енергія визначається взаємним розташуванням взаємодіючих між собою тіл чи частин тіла. Потенціальна енергія тіла, піднятого над землею, залежить від його маси і відстані між тілом та землею.

Якщо тіло має енергію, то воно може здійснити роботу. При здійсненні роботи енергія тіла змінюється. Значення роботи дорівнює зміні енергії тіла.

**2** Виконаємо дослід. Візьмемо товстостінну скляну посудину, дно якої покрите водою, закриємо її корком з уставленою в нього трубкою. Вода в посудині буде випаровуватися, і в повітрі, що знаходиться в ній, буде присутня водяна пара. З'єднаємо трубку з насосом і почнемо накачувати в посудину повітря. Через деякий час корок з посудини вилетить, і в ній утвориться туман (рис. 12).

Туман — це водяна пара, що перетворилася на воду. Таке перетворення відбувається при зниженні температури. Отже, температура повітря в посудині знизилася. Виникає питання: чому це сталося?

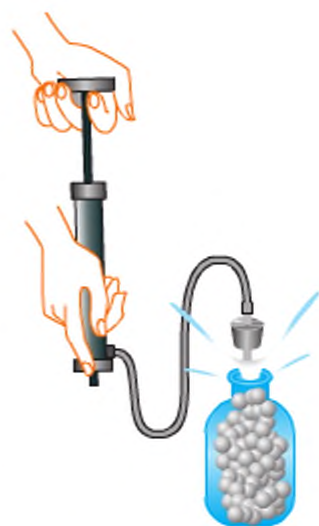


Рис. 12

**3** Корок вилетів з посудини, бо повітря, що перебувало в ній, діяло на корок з певною силою і, виштовхуючи її, здійснило роботу. Ви знаєте, що роботу тіло може здійснити, якщо воно має енергію. Отже, повітря в посудині має енергію.

При виконанні повітрям роботи знизилась його температура, змінився його стан. Механічна енергія повітря при цьому не змінилася: в момент вильоту корка не змінилися ні його швидкість, ні його положення відносно Землі. Отже, робота була здійснена не за рахунок механічної, а за рахунок якоїсь іншої енергії. Ця енергія — *внутрішня енергія* повітря, що знаходиться в посудині.

**4** Що ж таке внутрішня енергія тіла? Ви знаєте, що всі тіла складаються з частинок, які перебувають в безперервному хаотичному русі і взаємодіють одна з одною. Оскільки частинки перебувають у русі, вони мають кінетичну енергію, а оскільки вони взаємодіють одна з одною, то мають і потенціальну енергію.

**Внутрішньою енергією тіла називають суму кінетичної енергії теплового руху частинок, з яких складається тіло, і потенціальної енергії їх взаємодії.**

Внутрішню енергію позначають літерою  $U$ . Одиницею внутрішньої енергії є джоуль (1 Дж).

**5** З'ясуємо, від чого залежить внутрішня енергія тіла.

Ви вже знаєте, що чим вища температура тіла, тим більша швидкість руху молекул. Чим більша швидкість руху молекул, тим більша їхня кінетична енергія, отже, *внутрішня енергія залежить від температури тіла.*

Щоб перевести речовину з рідкого стану в газоподібний (наприклад, щоб перетворити воду в пару при температурі кипіння), потрібно підвести до неї енергію. Отже, пара буде мати більшу внутрішню енергію, ніж вода з тією ж масою. Таким чином, *внутрішня енергія тіла при незмінній масі залежить від його агрегатного стану.*

Оскільки маса тіла дорівнює сумі мас його складових частинок, то внутрішня енергія залежить і від маси тіла.

Внутрішня енергія тіла не залежить від його механічного руху і від його взаємодії з іншими тілами. Так, внутрішня енергія м'яча, що лежить на столі чи на підлозі, однакова, так само як і м'яча, який нерухомий і м'яча, який котиться по підлозі (якщо, звичайно, знехтувати опором його руху).

**6** Значення внутрішньої енергії в більшості випадків обчислити важко, оскільки кожне тіло складається з величезної кількості частинок. Проте нас частіше цікавить не саме значення внутрішньої енергії, а її зміна, і про неї можна судити, зокрема, за значенням виконаної роботи.



### Запитання для самоперевірки

1. Яку енергію називають внутрішньою?
2. Від чого залежить внутрішня енергія тіла і від чого вона не залежить?
3. Як довести, що тіла мають внутрішню енергію?

4. За рахунок чого здійснює роботу повітря, що знаходиться в посудині, в досліді, описаному в тексті параграфа? Які зміни відбуваються з повітрям?



### Завдання 5

1. Як буде змінюватися внутрішня енергія води в чайнику, який поставили на включену газову плиту?
2. Опишіть будь-яке явище, яке доводить, що тіла мають внутрішню енергію.
3. Придумайте і проведіть дослід, що доводить, що тіла мають внутрішню енергію.

## §6. Способи зміни внутрішньої енергії

- ✓ Що називають механічною роботою?
- ✓ Як пов'язані внутрішня енергія і температура тіла?

**1** Ви вже знаєте, що внутрішня енергія тіла залежить від його температури. Чим вища температура тіла, тим більша внутрішня енергія. І навпаки, чим нижча температура тіла, тим внутрішня енергія менша. Отже, за зміною температури тіла можна судити про зміну його внутрішньої енергії. Розглянемо способи зміни внутрішньої енергії тіла.

У розглянутому в попередньому параграфі досліді (див. рис. 12) внутрішня енергія суміші повітря і водяної пари в посудині зменшувалася при здійсненні суміщеної роботи з виштовхування корка. Температура суміші при цьому знижувалася, про що свідчила поява туману.

Можна виконати інший дослід. Якщо по шматку свинцю кілька разів ударити молотком, то навіть на дотик можна визначити, що шматок свинцю нагріється. Отже, його внутрішня енергія так само, як і внутрішня енергія молотка, збільшилася. Це сталося через те, що була здійснена робота над шматком свинцю.

Таким чином, *внутрішня енергія тіла змінюється при виконанні роботи*. При цьому якщо саме тіло виконує роботу, то його внутрішня енергія зменшується, а якщо над ним виконують роботу, то його внутрішня енергія збільшується.

Мірою зміни внутрішньої енергії тіла в процесі виконання роботи є значення виконаної роботи  $A$ .

**2** Знову звернімося до прикладу з металевою ложкою, яку опустили в гарячий чай. З такою ситуацією ви в житті зустрічаєтесь постійно і добре знаєте, що ложка через деякий час теж стає гарячою. У цьому випадку робота не виконується, проте внутрішня енергія ложки збільшується, про що і свідчить підвищення її температури.

Оскільки спочатку температура води вища, ніж температура ложки, то це означає, що молекули води мають більшу кінетичну енергію, ніж частинки металу, з якого зроблено ложку. При зіткненнях з частинками металу молекули води передають їм частину своєї енергії, і кінетична енергія частинок металу збільшується. Кінетична енергія молекул води при цьому зменшується і відповідно зменшується температура води.

Також ви можете спостерігати нагрівання і інших тіл: камін, в якому розпалено багаття, обігрівач включений в електричну мережу (рис. 13) тощо. В наведених прикладах температура тіл зростає, а отже і збільшується їх внутрішня енергія. Такий процес зміни внутрішньої енергії називається **теплообміном**, або **теплопередачею**.



Рис. 13

Теплообміном називають спосіб зміни внутрішньої енергії тіла, при якому енергія передається від однієї частини тіла до іншої або від одного тіла до іншого без здійснення роботи.



Таким чином, можливі два способи зміни внутрішньої енергії: здійснення роботи і теплообмін.



### Запитання для самоперевірки

1. Назвіть способи зміни внутрішньої енергії тіла.
2. Наведіть приклади зміни внутрішньої енергії тіла при здійсненні роботи.
3. Як змінюється внутрішня енергія тіла, коли воно здійснює роботу і коли над ним здійснюють роботу? Теплообмін з оточуючими тілами при цьому відсутній.
4. Що відбувається із сірником при терті його об намазку сірникової коробки? Чи змінюється при цьому його внутрішня енергія?
5. Що називають теплообміном?
6. Наведіть приклади зміни внутрішньої енергії тіла шляхом теплообміну.



### Завдання 6

1. Поясніть процес теплопередачі на основі молекулярно-кінетичної теорії будови речовини.
2. Придумайте і проведіть експеримент, в якому внутрішня енергія тіла змінюється при здійсненні роботи.
3. Потріть інтенсивно лодоні одна об одну кілька секунд. Як зміниться при цьому температура лодоней і чому?
- 4\*. Чи може внутрішня енергія газу залишитися незмінною, якщо мають місце обидва способи її зміни — теплообмін і здійснення роботи?



### Робота з комп'ютером

Вивчіть матеріал уроку і виконайте запропоновані в електронному додатку завдання.

## §7. Види теплообміну

- ✓ Які особливості будови газів, рідин і твердих тіл?
- ✓ Що відбувається з внутрішньою енергією тіла при теплопередачі?
- ✓ Які способи зміни внутрішньої енергії тіла?

**1** Ви вже знаєте, що внутрішню енергію системи можна змінювати шляхом теплообміну. Існує три види теплообміну: *теплопровідність, конвекція і випромінювання.*

Виконаємо дослід. До металевого стержня за допомогою воску прикріпимо кілька кнопок (рис. 14). Один кінець стержня закріпимо в штативі, а інший будемо нагрівати в полум'ї спиртівки. Через деякий час побачимо, що кнопки почнуть відпадати від стержня: спочатку та кнопка, яка ближче до полум'я, потім наступна і т. д.

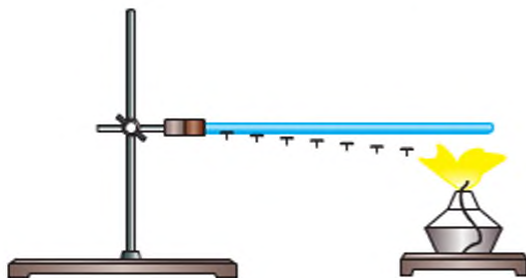


Рис. 14

Оскільки кнопки відпадали неодноразово, то можна зробити висновок, що температура стержня підвищувалася поступово. Отже, поступово збільшувалася і внутрішня енергія стержня — вона передавалася від одного його кінця до іншого.

Оскільки кнопки відпадали неодноразово, то можна зробити висновок, що температура стержня підвищувалася поступово. Отже, поступово збільшувалася і внутрішня енергія стержня — вона передавалася від одного його кінця до іншого.

**2** Механізм передачі енергії при теплопровідності можна пояснити наступним чином. Частинки металу ближчого до полум'я кінця стержня отримують від нього енергію, їхня кінетична енергія збільшується, вони починають більш інтенсивно коливатися. Оскільки частинки взаємодіють одна з одною, то вони передають частину своєї енергії сусіднім частинкам, змушуючи їх коливатися швидше. Ті, у свою чергу, передають енергію своїм «сусідам», і процес передачі енергії поширюється по всьому стержню. Збільшення кінетичної енергії частинок призводить до підвищення температури стержня.

Важливо, що при теплопровідності не відбувається переміщення речовини від одного тіла до іншого або від однієї частини тіла до іншої, але при цьому передається енергія.

Процес передачі внутрішньої енергії від одного тіла до іншого або від однієї частини тіла до іншої завдяки тепловому руху і взаємодії частинок називають теплопровідністю.

**3** Різні речовини мають різну теплопровідність. Для того, щоб з'ясувати, чи хорошу теплопровідність мають рідини, виконаємо дослід. Заповнимо пробірку водою і на дно її покладемо шматочок льоду (рис. 15). Щоб лід не спливав, прикріпимо до нього якийсь металевий предмет. Будемо нагрівати верхню частину пробірки в полум'ї спиртівки. Через деякий час вода у верхній частині пробірки закипить, а лід при цьому не розтане. Отже, вода, так само як і всі рідини, має погану теплопровідність.

**4** З'ясуємо, яку теплопровідність мають гази. Виконаємо з цією метою дослід. Візьмемо суху пробірку, в якій немає нічого, крім повітря, і розташуємо її над полум'ям спиртівки (рис. 16). Палець, яким тримають пробірку, не відчує тепла. Отже, повітря та інші гази мають погану теплопровідність.

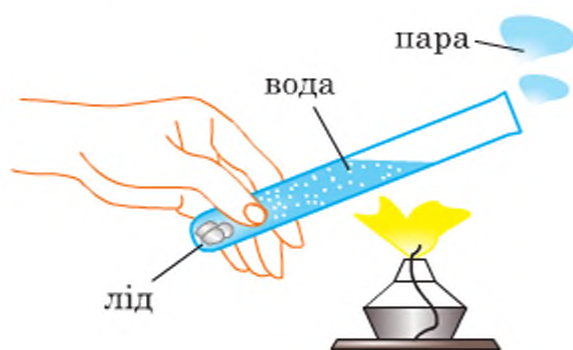


Рис. 15



Рис. 16

Найбільшу теплопровідність мають метали, найменшу — сильно розріджені гази. Це пояснюється особливостями їхньої будови. Молекули газів перебувають одна від одної на відстанях, більших, ніж молекули твердих тіл, і значно рідше стикаються. Тому і передача енергії від одних молекул до інших у газах відбувається не так інтенсивно, як у твердих тілах. Теплопровідність рідин займає проміжне значення між теплопровідністю газів і твердих тіл.

**5** Різна теплопровідність речовин ураховується в побуті, в промисловості. Так, посуд, в якому готують їжу, повинен мати хорошу теплопровідність, аби передавати енергію від джерела (газового пальника, електричної плити) до їжі. Такий посуд, зазвичай, виготовляють з металу. Посуд, з якого їдять, навпаки, виготовляють із матеріалів, що мають погану теплопровідність: зі скла, глини, пластмаси. Для того, щоб можна було взяти в руки гарячу каструлю або сковорідку, їхні ручки виготовляють з дерева або інших матеріалів, що мають погану теплопровідність.

Матеріали з малою теплопровідністю, такі, як дерево, цегла, залізобетон (поєднання бетону і сталевих арматур), використовують для будівництва будинків. Це — пористі матеріали, в порах яких міститься повітря, що має погану теплопровідність.

Погану теплопровідність має сніг. Дослідження його властивостей показали, що шар снігу товщиною 16 см дуже добре захищає землю: за 5 днів при температурі  $-1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  вона промерзає на 2 см. Ґрунт, який не захищений шаром снігу, промерзає на 30 см.

**6** Гази і рідини мають погану теплопровідність. Виникає запитання: чому ж нагрівається повітря від батарей водяного опалення, чому нагрівається вода в каструлі на включеній електричній плиті? Щоб на нього відповісти, виконаємо дослід. Наллємо в колбу воду і акуратно опустимо на дно кілька кристаликів мідного купоросу (рис. 17). Будемо нагрівати колбу знизу так, щоб полум'я дотикалося її в тому місці, де лежать кри-

талики. Можна помітити, що з дна колби будуть підніматися забарвлені струмини води. Досягнувши верхніх шарів води, вони почнуть опускатися.

Це явище можна пояснити наступним чином. Нижній шар води нагрівається від полум'я спиртівки. Нагріваючись, вода розширюється, її об'єм збільшується, а густина відповідно зменшується. На цей шар води діє сила Архімеда, яка виштовхує нагрітий шар рідини вгору. Його місце займає холодний шар води, який опустився вниз. Отже, енергія в даному випадку переноситься потоками рідини, що піднімаються.

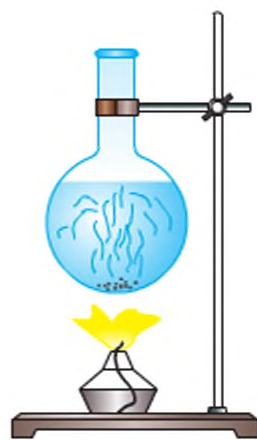


Рис. 17

**7** Подібним чином здійснюється теплопередача і в газах. Зробимо з паперу вертушку і розмістимо її над електричною лампочкою, включеною в мережу (рис. 18). Вертушка почне обертатися. Це відбувається тому, що нагріті від лампочки менш щільні шари повітря під дією сили Архімеда піднімаються вгору, а більш холодні — опускаються вниз і займають їхнє місце. Шари нагрітого повітря, що піднімаються, призводять до обертання вертушки.



Рис. 18

У проведених дослідах ми спостерігали ще один вид теплопередачі — конвекцію.

**Конвекція** — вид теплопередачі, при якому теплота передається потоками рідини або газу.

*Конвекція пов'язана з перенесенням речовини, тому вона може здійснюватися тільки в рідинах і газах; у твердих тілах конвекція не відбувається. Конвекція грає основну роль при утворенні в атмосфері потоків повітря — вітрів.*

**8** Вам добре відомо, що Сонце є джерелом тепла на Землі. Виникає питання: як енергія передається від Сонця до Землі? Оскільки в просторі між Сонцем і Землею немає повітря, то енергія не може передаватися ні

конвекцією, ні теплопровідністю. Передача енергії в цьому випадку здійснюється шляхом **випромінювання**. Розглянемо цей вид теплопередачі.

Усі нагріті тіла випромінюють енергію. Піднісши руку збоку до спіралі електроплитки, включеної в мережу, або до батареї опалення, ви відчуєте тепло. Чим вище температура тіла, тим більше енергії воно випромінює.

Виконаємо дослід. Візьмемо *теплоприймач* — металеву коробку, одна сторона якої блискуча, а інша — покрита чорною матовою фарбою. Усередині коробочки знаходиться повітря. З'єднаємо теплоприймач з манометром (рис. 19). Наллємо в посудину, в якій одна поверхня біла, а інша — чорна, окріп. Повернемо посудину до чорної сторони теплоприймача спочатку білою стороною, а потім — чорною. Рівень рідини в коліні манометра, що з'єднаний з теплоприймачем, знизиться. При цьому він знизиться більше, коли посудина повернена до теплоприймача чорною стороною.

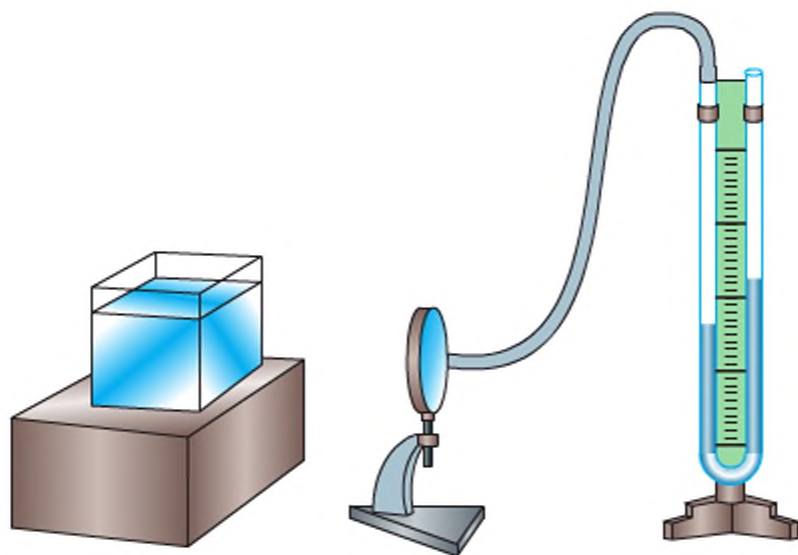


Рис. 19

Зниження рівня рідини в манометрі відбувається через нагрівання і розширення повітря в теплоприймачі. Отже, повітря, отримуючи від посудини з гарячою водою енергію, нагрівається. Оскільки повітря має погану теплопровідність, то за рахунок цього виду теплопередачі повітря

в теплоприймачі нагріватися не може. Не нагрівається він і за рахунок конвекції, тому що посудина і теплоприймач розташовані на одному рівні. Отже, залишається погодитись, що посудина з гарячою водою випромінює енергію.

Дослід також показує, що чорна поверхня посудини випромінює більше енергії, ніж біла.

**9** Виявляється, що чорна поверхня не тільки випромінює більше енергії, а й більше поглинає. Це можна довести експериментально. Піднесемо включену в мережу електроплитку спочатку до блискучої сторони теплоприймача, а потім — до чорної (рис. 20).

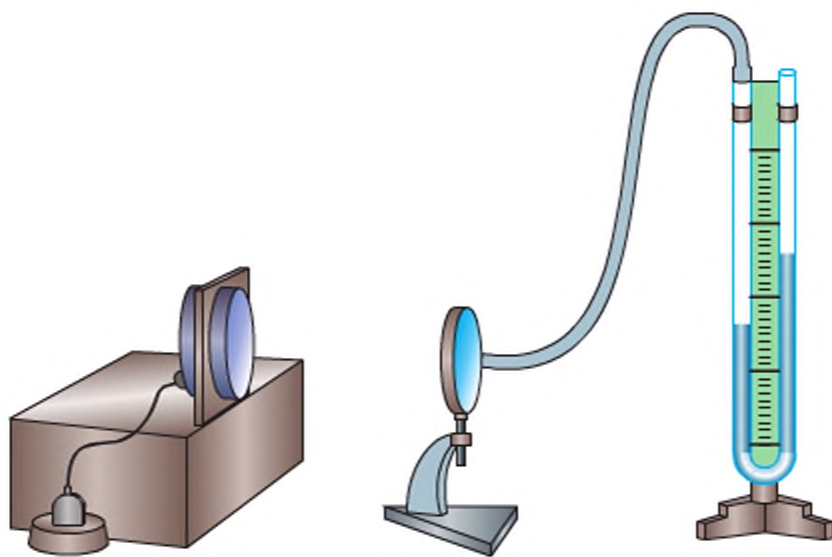


Рис. 20

Зауважимо, що у другому випадку рідина в коліні манометра, який з'єднаний з теплоприймачем, опуститься нижче, ніж у першому.

Таким чином, тіла з темною поверхнею добре поглинають і випромінюють енергію, а тіла з білою або блискучою поверхнею погано випромінюють і погано поглинають її.

Для збереження їжі і напоїв гарячими використовують термос. Це — металева або скляна посудина з подвійними стінками. Внутрішня і зовнішня поверхні скляної посудини покриті блискучим шаром металу. Повітря

між стінками відкачано. Оскільки повітря між стінками посудини немає, то відсутні як конвекція, так і теплопровідність. Стінки посудини, завдяки блискучому покриттю, не дають можливості енергії передаватись і випромінюватись. Скляний посуд термоса поміщають у пластмасовий або металевий корпус, щоб захистити від пошкоджень, і закривають корком.



## Запитання для самоперевірки

1. Який вид теплопередачі називають теплопровідністю? Наведіть приклади теплопередачі шляхом теплопровідності.
2. Який механізм теплопровідності?
3. Порівняйте теплопровідності газів, рідин і твердих тіл та поясніть причину їхніх відмінностей.
4. Який вид теплопередачі називають конвекцією? Наведіть приклади конвекції.
5. Як відбувається нагрівання води в чайнику? Наведіть приклади теплопередачі шляхом випромінювання.
6. Порівняйте випромінювання і поглинання енергії світлими і темними поверхнями тіл.



## Завдання 7

1. Придумайте і проведіть дослід, в якому спостерігається явище теплопровідності води і повітря. Будьте обережні при роботі з вогнем.
2. Чому віконні рами роблять подвійними?
3. У якому випадку швидше розтане лід: якщо в кімнаті його покласти на відкритому місці чи накрити шубою?
4. Придумайте і проведіть дослід зі спостереження конвекції в рідинах і газах.
5. Поясніть, чому опалювальні прилади встановлюють на підлозі (або близько до підлоги) і як відбувається процес нагрівання від них повітря в кімнаті.
6. Чому квартирки для провітрювання кімнат розміщують у верхній частині вікна?
7. Чому в тиху морозну погоду дим, що виходить із труб, піднімається вертикально вгору?
8. Який сніг на відкритій поверхні тане швидше — чистий чи брудний?
9. Чому найвища температура повітря не в полудень, а одразу після полудня?



## §8. Кількість теплоти. Питома теплоємність речовини

- ✓ Що називають теплообміном?
- ✓ Які існують види теплообміну?

**1** Ви знаєте, що можливі два способи зміни внутрішньої енергії тіла: здійснення роботи і теплообмін. Виникає питання: яка величина характеризує зміну внутрішньої енергії тіла при теплообміні, є його мірою? Цю величину називають **кількістю теплоти**.

**Кількістю теплоти називають фізичну величину, значення якої дорівнює зміні внутрішньої енергії тіла в процесі теплообміну без здійснення роботи.**

Кількість теплоти позначають літерою  $Q$ . Одиницею кількості теплоти, як і будь-якого виду енергії, є *джоуль* (1 Дж).

При передачі тілу деякої кількості теплоти без здійснення роботи його внутрішня енергія збільшується; якщо тіло віддає певну кількість теплоти, то його внутрішня енергія зменшується.

**2** З'ясуємо, від чого залежить кількість теплоти.

Якщо взяти дві однакові посудини, в одну з них налити 200 г води, а в іншу 800 г при одній і тій же температурі й поставити їх на однакові нагрівачі, то раніше закипить вода в першій посудині. Таким чином, *чим більша маса тіла, тим більша кількість теплоти потрібна йому для нагрівання*. При охолодженні тіло з більшою масою віддає більшу кількість теплоти. Зрозуміло, що в даному випадку мова йде про тіла з одної і тої ж речовини і нагріваються вони або охолоджуються на одну і ту ж кількість градусів.

Отже, кількість теплоти, необхідна для нагрівання тіла, пропорційна його масі:

$$Q \sim m.$$

**3** Тепер припустимо, що ми будемо нагрівати на однакових нагрівачах в одній посудині 200 г води від 20 °С до 50 °С, тобто на 30 °С, а в іншій такій же посудині 200 г води від 20 °С до 100 °С, тобто на 80 °С. В першому випадку на нагрівання піде менше часу, ніж у другому. Отже, кількість теплоти, яку ми витратимо на нагрівання води на 30 °С, менша, ніж кількість теплоти, необхідної для нагрівання води на 80 °С. Таким чином, *кількість теплоти прямо пропорційна зміні температури.*

У даному випадку кінцева температура  $t_2$  більша за початкову температуру  $t_1$ , тому зміна температури дорівнює  $t_2 - t_1$ .

Тоді

$$Q \sim (t_2 - t_1).$$

При охолодженні тіла кінцева температура  $t_2$  менша від початкової температури  $t_1$ , тому зміна температури дорівнюватиме  $t_1 - t_2$ .

**4** Наллємо в одну посудину 200 г води. В іншу таку саму посудину наллємо трохи води і покладемо в неї таке металеве тіло, щоб загальна маса тіла і води дорівнювала 200 г. Переконаємося, що початкова температура в обох посудинах однакова. Будемо нагрівати посудини на однакових нагрівачах. Через деякий час виміряємо температуру. У посудині, в якій знаходиться тільки вода, температура буде нижча, ніж в тій, де були вода і металеве тіло. Отже, щоб температура вмісту в обох судинах була однаковою, воді потрібно передати більшу кількість теплоти, ніж воді і металевому тілу. Таким чином, кількість теплоти, яка необхідна для нагрівання тіла, залежить від роду речовини, з якого це тіло зроблено.

Таким чином, *щоб розрахувати кількість теплоти  $Q$ , необхідну для нагрівання тіла з масою  $m$  від температури  $t_1$  до температури  $t_2$ , необхідно масу тіла помножити на різницю кінцевої і початкової температур і на коефіцієнт пропорційності  $c$ , що визначається родом речовини з якої складається тіло.*

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

**5** Залежність кількості теплоти, необхідної для нагрівання тіла, від роду речовини характеризується фізичною величиною, що називається **питомою теплоємністю речовини**.

**Питомою теплоємністю речовини називають фізичну величину, яка дорівнює кількості теплоти, яку необхідно надати тілу з масою 1 кг для нагрівання його на 1 °С.**

Таку ж кількість теплоти тіло з масою 1 кг віддає при охолодженні на 1 °С.

Питома теплоємність позначається літерою  $c$ . Одиницею питомої теплоємності є  $1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}}$ .

Значення питомої теплоємності речовин визначають експериментально. Деякі з них наведено в таблиці 4. Рідини мають більшу питому теплоємність, ніж метали; найбільшу питому теплоємність має вода, найменшу питому теплоємність з наведених у таблиці 4 речовин має золото.


Питома теплоємність води  $4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}}$ . Це означає, що для нагрівання 1 кг води на 1 °С необхідно є кількість теплоти, яка дорівнює 4200 Дж. При охолодженні 1 кг води на 1 °С виділиться кількість теплоти, що дорівнює 4200 Дж.

Оскільки кількість теплоти дорівнює зміні внутрішньої енергії тіла, то можна сказати, що *питома теплоємність показує, на скільки змінюється внутрішня енергія речовини з масою 1 кг при зміні її температури на 1 °С*. Зокрема, внутрішня енергія 1 кг води при її нагріванні на 1 °С збільшується на 4200 Дж, а при охолодженні на 1 °С — зменшується на 4200 Дж.

Питома теплоємність деяких речовин,  $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$

Речовина	$c, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$	Речовина	$c, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$
Золото	130	Лабораторне скло	840
Свинець	140	Цегла	880
Олово	230	Алюміній	920
Срібло	250	Соняшникова олія	1700
Мідь	400	Лід	2100
Цинк	400	Гас	2100
Латунь	400	Ефір	2350
Залізо	460	Дерево (дуб)	2400
Сталь	500	Спирт	2500
Чугун	540	Вода	4200
Графіт	750		

### 6 Приклад розв'язування задачі

 Щоб нагріти металеву кульку масою 110 г на  $94^\circ\text{C}$ , потрібно 9,5 кДж енергії. Визначте матеріал, з якого виготовлена кулька та його питому теплоємність.

При розв'язуванні задачі необхідно виконувати наступну послідовність дій: 1) проаналізувати умову задачі, визначення відомі величини та знайти невідому; 2) записати коротко умову задачі в систематизованому вигляді та перевести значення величин в СІ; 3) вибудувати математичну модель фізичної задачі, записати рівняння, що відповідають фізичній моделі задачі; 4) врахувати конкретні умови фізичної ситуації, описаної в задачі; 5) привести загальні рівняння до конкретних умов, відтворених в умові задачі, записати у формі рівняння співвідношення між невідомим і відомими величинами; 6) чисельно розв'язати рівняння відносно невідомого; 7) записати та проаналізувати отриману відповідь.

Дано:	СИ
$m = 110 \text{ г}$	0,11 кг
$\Delta t = 94 \text{ }^\circ\text{C}$	
$Q = 9,5 \text{ кДж}$	$9,5 \cdot 10^3 \text{ Дж}$
$c = ?$	

Розв'язання.

У задачі сказано, що металеву кульку нагрівають. В даному випадку будемо вважати, що теплообміном з оточуючим середовищем можна знехтувати. Кількість теплоти, яка необхідна для нагрівання кульки залежить від матеріалу, з якого вона виготовлена. Знаючи питому теплоємність матеріалу кульки можна визначити який це метал.

Кількість теплоти, яка необхідна для нагрівання кульки, визначається за формулою

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

де  $(t_2 - t_1) = \Delta t$ .

Тоді питома теплоємність матеріалу кульки:

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

Перевіримо одиниці шуканої величини:

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

Знайдемо числове значення шуканої величини:

$$\{c\} = \frac{9,5 \cdot 10^3}{0,11 \cdot 94} \approx 920.$$

За таблицею 4 визначаємо матеріал з якого виготовлена кулька. Це — алюміній.

*Відповідь.* Кулька виготовлена з алюмінію, питома теплоємність якого дорівнює  $c = 920 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ .



### Запитання для самоперевірки

1. Яку фізичну величину називають кількістю теплоти?
2. Яка одиниця кількості теплоти?
3. Від яких величин залежить кількість теплоти, яка передається тілу при нагріванні?

4. Тілу при нагріванні передано кількість теплоти 100 Дж. Як змінилася при цьому його внутрішня енергія? Яку кількість теплоти віддасть це тіло, якщо при охолодженні його температура зміниться на стільки ж градусів, що і при нагріванні? Як при охолодженні зміниться його внутрішня енергія?
5. Яку фізичну величину називають питомою теплоємністю речовини?
6. Порівняйте питому теплоємність сталі та алюмінію. Порівняйте кількість теплоти, яку необхідно затратити для нагрівання сталевих і алюмінієвих деталей із однаковою масою при однаковій зміні температури.



### Завдання 8

1. Чому в радіаторах водяного опалення використовується вода?
2. Представте графічно значення питомих теплоємностей срібла, міді, сталі, графіту та алюмінію у вигляді стовпчастої діаграми.
3. Яку кількість теплоти необхідно надати 5 л води при нагріванні її від кімнатної температури ( $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) до кипіння ( $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ )?
4. Чому дорівнює питома теплоємність срібла, якщо при охолодженні срібної ложки з масою 50 г від  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$  виділилася кількість теплоти, що дорівнює 625 Дж?
5. Чому дорівнює маса шматка міді, якщо на його нагрівання від  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $210\text{ }^{\circ}\text{C}$  було витрачено кількість теплоти, рівну 16000 кДж?
- 6\*. На яку висоту можна підняти воду, затративши таку ж енергію, яка необхідна для нагрівання цієї води на  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ?
- 7\*. Маса води, наливої у сталеву каструлю, вдвічі менша від маси каструлі. Каструлю ставлять на вогонь. На що витрачається більше енергії: на нагрівання каструлі чи води? У скільки разів більше?
8. Порівняйте на дотик температуру дерев'яного й залізного тіл з однаковими масами до занурення в теплу воду і після. Поясніть причину відчуття різної температури в обох випадках



### Робота з комп'ютером

Вивчіть матеріал уроку і виконайте запропоноване в електронному додатку завдання.



## Лабораторна робота №1

### Вивчення теплового балансу за умов змішування води з різною температурою

**Мета роботи:** порівняти кількість теплоти, яку отримала холодна вода, з кількістю теплоти, яку віддала гаряча вода в процесі теплообміну при їхньому змішуванні.

**Обладнання.** 1. Калориметр. 2. Вимірювальний циліндр (мензурка). 3. Термометр. 4. Стакан хімічний. 5. Гаряча і холодна вода.

**Примітка.** *Калориметр* — прилад, що дозволяє вимірювати кількість теплоти, яка виділяється і поглинається в процесі теплообміну. Він сконструйований таким чином, щоб максимально зменшити теплообмін із зовнішніми тілами, що не перебувають в калориметрі. Найпростіший калориметр складається з двох посудин, одна з яких — алюмінієва — вставлена в іншу. Між посудинами утворюється повітряний проміжок. Алюмінієва посудина має блискучу поверхню, що зменшує випромінювання енергії. Так само зменшує втрати енергії шар повітря між посудинами, що має погану теплопровідність.



### Хід роботи

1. Виміряйте об'єм  $V_1$  холодної води за допомогою мензурки, обчисліть її масу  $m_1$ , перелийте холодну воду в калориметр.
2. Виміряйте температуру  $t_1$  холодної води, налітої в калориметр.
3. Виміряйте температуру  $t_2$  гарячої води в посудині, в якій вона нагрівається.
4. Налийте в калориметр гарячу воду.
5. Виміряйте температуру суміші  $t$ , перемішавши воду в калориметрі і дочекавшись моменту, коли температура перестане змінюватися.
6. Вилийте воду в мензурку і виміряйте її об'єм  $V$ .
7. Визначте об'єм гарячої води:  $V_2 = V - V_1$ .
8. Обчисліть масу  $m_2$  гарячої води.
9. Занесіть результати всіх вимірювань у таблицю.
10. Розрахуйте кількість теплоти  $Q_1$ , яку отримала холодна вода, і кількість теплоти  $Q_2$ , яку віддала гаряча вода. Занесіть результати в таблицю.

Об'єм холодної води $V_1, \text{ м}^3$	Маса холодної води $m_1, \text{ кг}$	Температура холодної води $t_1, \text{ }^\circ\text{C}$	Температура гарячої води $t_2, \text{ }^\circ\text{C}$	Температура суміші $t, \text{ }^\circ\text{C}$	Об'єм суміші $V, \text{ м}^3$	Об'єм гарячої води $V_2, \text{ м}^3$	Маса гарячої води $m_2, \text{ кг}$	Кількість теплоти, яку отримала холодна вода $Q_1, \text{ Дж}$	Кількість теплоти, яку віддала гаряча вода $Q_2, \text{ Дж}$

11. Порівняйте кількості теплоти  $Q_1$  та  $Q_2$  і зробіть висновки.





## Домашнє завдання

1. Дайте відповідь на наступні запитання:
  - Які можливі причини в розбіжностях значень кількості теплоти, яку отримала холодна вода і яку віддала гаряча вода?
  - Чому у калориметрі вода остигає значно повільніше ніж у звичайній посудині?
  - Яким чином можна виготовити найпростіший калориметр?



## Лабораторна робота № 2

### Визначення питомої теплоємності речовини

**Мета роботи:** навчитися вимірювати питому теплоємність речовини.

**Обладнання.** 1. Металеве тіло на нитці. 2. Калориметр. 3. Стакан з холодною водою. 4. Термометр. 5. Ваги. 6. Набір важків. 7. Вимірювальний циліндр (мензурка). 8. Посудина з гарячою водою. 9. Шматочок тканини.



### Хід роботи

1. Налийте в калориметр за допомогою вимірювального циліндра холодну воду об'ємом 100 – 150 мл. Виміряйте об'єм цієї води  $V_1$  та обчисліть її масу  $m_1$  ( $m_1 = \rho V_1$ ).
2. Визначте температуру  $t_1$  води в калориметрі за допомогою термометра.
3. Нагрійте металеве тіло опустивши його в посудину з гарячою водою. Після встановлення теплової рівноваги виміряйте температуру  $t_2$  гарячої води. Температура тіла буде дорівнювати температурі гарячої води.
4. Опустіть в калориметр з водою нагріте в гарячій воді металеве тіло.
5. Виміряйте температуру  $t$  води в калориметрі після того, як установиться тепла рівновага між водою й опущеним у неї тілом.
6. Вийміть металеве тіло з калориметра, протріть його тканиною та виміряйте його масу  $m_2$ .
7. Занесіть отримані результати вимірювань у таблицю.

Об'єм води $V_1, \text{ м}^3$	Маса води $m_1, \text{ кг}$	Початкова температура води $t_1, \text{ }^\circ\text{C}$	Початкова температура тіла $t_2, \text{ }^\circ\text{C}$	Температура води і тіла $t, \text{ }^\circ\text{C}$	Маса тіла $m_2, \text{ кг}$	Питома теплоємність речовини твердого тіла $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{ }^\circ\text{C}}$

8. Вважаючи, що калориметр отримав незначну кількість теплоти в порівнянні з водою, обчисліть питому теплоємність речовини металевого тіла за формулою:

$$c_2 = \frac{c_1 m_1 (t - t_1)}{m_2 (t_2 - t)}$$

Результати обчислень занесіть в таблицю.

9. Визначте, з якої речовини зроблено металеве тіло, порівнявши отримане значення питомої теплоємності з табличним значенням.



## Домашнє завдання

1. Дайте відповідь на наступні запитання:
  - Що таке питома теплоємність?
  - Які чинники вплинули на точність отриманого результату?
  - Якою повинна бути різниця температур гарячої та холодної води для одержання більш точних результатів?
2. Запропонуйте метод визначення питомої теплоємності рідин.

## §9. Будова твердих тіл. Кристалічні і аморфні тіла

✓ Які властивості твердих тіл?

**1** Тверді тіла, що оточують нас, мають різну будову. Однак можна виділити велику групу твердих тіл, що мають правильну геометричну форму. Такі тверді тіла називають **кристалами** або **кристалічними тілами**. Вам доводилося спостерігати кристали льоду, цукру, кухонної солі. На рисунку 21 показано, як виглядають деякі кристали. Правильна зовнішня форма кристалів пояснюється тим, що частинки, з яких вони скла-



Природні кристали  
турмаліну

Кристал кварцу

Рис. 21

даються, розташовані в певному порядку одна відносно одної, на строго певній відстані одна від одної. Важливо, що цей порядок в розташуванні частинок повторюється.

Якщо подумки з'єднати лініями положення рівноваги частинок, то отримаємо просторову кристалічну ґратку. Кристалічна ґратка — властиве кристалічній речовині правильне розташування частинок, що повторюється. Приклади кристалічних ґраток наведені на рисунках 22, 23.

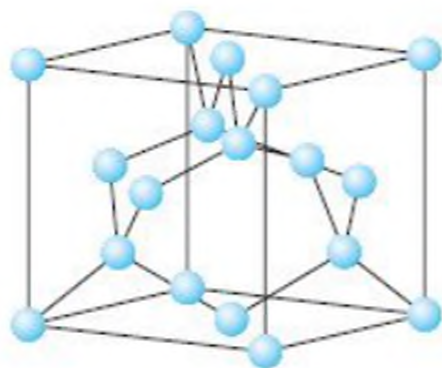


Рис. 22

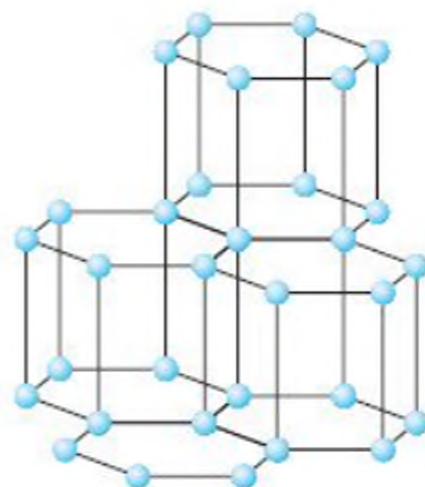


Рис. 23

**2** У вузлах кристалічної ґратки можуть перебувати атоми, молекули або іони. Відповідно існують атомні, молекулярні та іонні кристали.

Прикладом атомного кристала є кристал алмазу (див. рис. 22), який складається з атомів вуглецю. Кристал графіту (див. рис. 23) теж складається з атомів вуглецю, але має іншу будову, тому алмаз і графіт мають різні властивості. Так, алмаз значно твердіший за графіт.

Кристал кухонної солі — іонний кристал. Його кристалічна ґратка складається з іонів натрію та іонів хлору.

**3** У природі можна зустріти тверді тіла, що складаються з одного кристала. Їх називають *монокристалами* (від грецького «μόνος» — один, єдиний).



Олександр Смакула (1900–1983) – український фізик, народився в с. Добриводи на Тернопільщині, працював у США. Відомий своїми роботами в оптиці та вивченні кристалів.

У вигляді окремих монокристалів існують кухонна сіль, цукровий пісок, кварц та ін.

Значно частіше тверде тіло представляє собою безліч зрощених кристалів. Такі тіла називають *полікристалами* (від грецького «poly» — багато). До полікристалів належать, наприклад, метали.

**4\*** Властивості монокристалів різні у різних напрямках. Так, пластинка слюди легко розшаровується на тонкі листи вздовж певного напрямку. В інших напрямках це зробити значно важче. Властивості полікристалів, які не піддавались спеціальній обробці, однакові в усіх напрямках.

Відмінність властивостей монокристалів у різних напрямках пов'язана з їхньою правильною будовою. Якщо в монокристалі виділити кілька напрямків і провести прямі, то на них буде розташовуватися різна кількість частинок (рис. 24). Відповідно відстані між частинками і сили взаємодії між ними в різних напрямках будуть різні. Це і призводить до того, що властивості монокристалів у різних напрямках неоднакові.

Інша річ — полікристал. Оскільки він складається з безлічі кристалів, то на прямих, проведених у різних напрямках, знаходиться одна і та ж кількість частинок (рис. 25). Цим і визначається однаковість властивостей полікристалів у різних напрямках.

**5** Якщо розглянути шматок цукру та льодяник, то можна помітити, що їхня будова різна. Цукор-рафінад

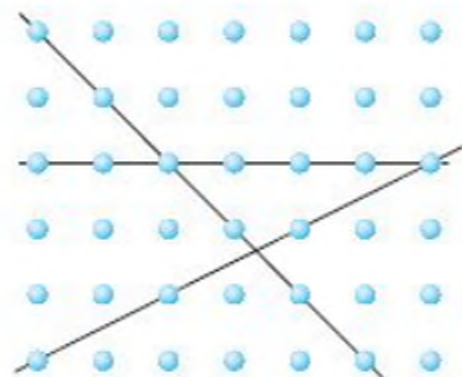


Рис. 24

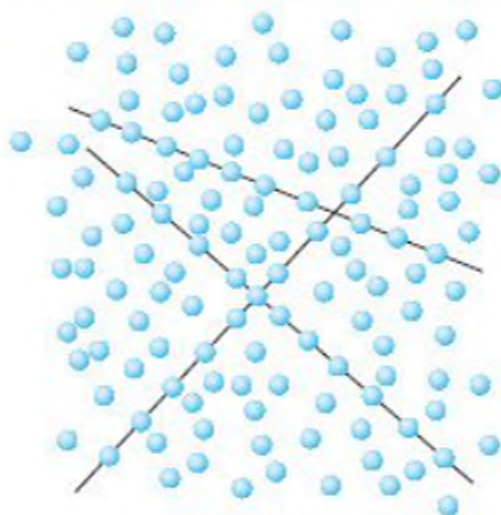


Рис. 25



Лев Шубніков (1901–1937) – український фізик в галузі фізики низьких температур. Працював над вирощуванням монокристалів металів.

має кристалічну будову. Льодяник же не має такого порядку в будові. У цьому випадку одна і та ж речовина знаходиться в різних станах: цукор-рафінад — в кристалічному, а льодяник — в **аморфному**. До тіл, що зазвичай знаходяться в аморфному стані, належать скло, вар, бурштин, більшість пластмас.

Аморфний стан характеризується відсутністю порядку в розташуванні частинок. Деякі властивості аморфних тіл такі ж, як у кристалічних, інші — схожі на властивості рідин. Так, при різкому ударі шматочок вару можна розділити на частини. При тривалій ж дії буде проявлятися така його властивість, як плинність. Якщо помістити вар у посудину, то з часом він набуде форму посудини.

Будова аморфних тіл подібна до будови рідин: молекули коливаються близько положень рівноваги і час від часу здійснюють переходи з одного місця на інше.

Речовина може переходити з аморфного стану в кристалічний і назад. Так, якщо розплавити шматок цукру-рафінаду, а потім дати йому можливість застигнути, то вийде льодяник. На його поверхні з плином часу утворюються кристалики цукру.



### Запитання для самоперевірки

1. Які тіла називають кристалічними?
2. Порівняйте будову кристалічних і аморфних тіл.
3. Наведіть приклади тіл у кристалічному і аморфному станах.
4. Що таке монокристал; полікристал?
5. Наведіть приклади монокристалів і полікристалів та порівняйте їхні властивості.
6. Які властивості тіл в аморфному стані?
- 7\*. В чому полягає відмінність властивостей полікристала і монокристала? Відповідь поясніть.



## Завдання 9

1. Розгляньте монокристали солі і цукрового піску. Якщо у вас є лупа, скористайтеся нею. Намалюйте форму монокристалів. Порівняйте монокристал цукрового піску зі шматком цукру-рафінаду.
2. Розгляньте за допомогою лупи злами різних металів: алюмінію, міді, заліза. Знайдіть у них межі дрібних кристалів, що складають метал.

## §10. Плавлення і твердіння кристалічних речовин

- ✓ В яких агрегатних станах може перебувати речовина?
- ✓ Яка будова кристалічних тіл і рідин?

**1** Ви добре знаєте, що одна і та ж речовина може перебувати в трьох агрегатних станах: у твердому, рідкому і газоподібному. Ці стани речовини розрізняються розташуванням, характером руху і взаємодії молекул.

При деяких умовах, наприклад, при певних значеннях температури і тиску, речовини можуть переходити з одного агрегатного стану в інший. Так, метал при відповідній температурі може плавитися, тобто ставати рідким, при зниженні температури знову переходить в твердий стан; ефір легко випаровується, тобто переходить в газоподібний стан навіть при кімнатній температурі. Переходи речовини з одного агрегатного стану в інший називають **агрегатними перетвореннями**.

Розглянемо процес перетворення речовини з твердого стану в рідкий. Для цього виконаємо дослід. У внутрішню посудину калориметра покладемо трохи подрібненого льоду при температурі  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , опустимо в неї термометр і залишимо на столі. Будемо стежити за зміною температури льоду і процесами, які з ним відбуваються. Спостереження показують, що якийсь час лід залишається в твердому стані і його температура поступово підвищується.

При температурі  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  лід починає плавитися, в посудині з'являється вода, а температура льоду залишається незмінною до тих пір, поки він повністю не перейде в рідкий стан. Після цього температура води, що утворилася з льоду, починає підвищуватися, і це буде відбуватися до тих пір, поки вона не дорівнюватиме кімнатній.

Таким чином, ми спостерігали перехід льоду з твердого стану в рідкий.

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

Зі спостережень випливає, по-перше, що лід починає плавитися при певній температурі. Важливо відзначити, що лід знаходиться в кристалічному стані. Отже, процес плавлення кристалічних тіл відбувається при певній температурі, яку називають **температурою плавлення**.

По-друге: температура льоду і води, що утворилася, під час усього процесу плавлення залишається незмінною. Таким чином, *під час процесу плавлення кристалічної речовини температура речовини залишається сталою.*

**2** Лід брав участь в теплообміні з навколишнім повітрям і посудиною калориметра. Отримуючи від них деяку кількість теплоти, лід нагрівався до температури  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , його внутрішня енергія збільшувалася за рахунок збільшення середньої кінетичної енергії теплового руху його частинок.

Потім лід плавився, і його температура при цьому не змінювалася, але лід отримувал деяку кількість теплоти. Отже, його внутрішня енергія збільшувалася, але не за рахунок кінетичної, а за рахунок потенціальної енергії взаємодії частинок. Отримана ззовні енергія витрачалася на руйнування кристалічної ґратки.

Процес плавлення кристалічних тіл відбувається аналогічно до розглянутого процесу плавлення льоду. Щоб розплавити тверде кристалічне тіло, необхідно нагріти його до температури плавлення і надалі надавати йому енергію до тих пір, поки воно усе не перетвориться в рідину. Виняток становлять ті речовини, які змінюють свій хімічний склад або відразу перетворюються в газ.

Різні кристалічні речовини мають різну температуру плавлення (табл. 5).



**Температура плавлення деяких речовин, °С  
(за нормального атмосферного тиску)**

Речовина	$t, ^\circ\text{C}$	Речовина	$t, ^\circ\text{C}$
Водень	-259	Алюміній	660
Кисень	-219	Срібло	962
Азот	-210	Золото	1064
Спирт	-114	Мідь	1085
Ртуть	-39	Чавун	1200
Лід	0	Сталь	1500
Цезій	29	Залізо	1539
Натрій	98	Платина	1772
Олово	232	Осмій	3045
Свинець	327	Вольфрам	3387
Цинк	420		

**3** Якщо винести посудину з водою на вулицю в зимовий час, то через деякий час вода перетвориться в лід.

**Процес переходу речовини з рідкого стану в твердий називають кристалізацією.**

У розглянутому прикладі вода спочатку буде охолоджуватися до  $0\text{ }^\circ\text{C}$ , віддаючи при цьому деяку кількість теплоти навколишньому повітрю. При цьому буде зменшуватися її внутрішня енергія за рахунок зменшення середньої кінетичної енергії руху частинок. Коли температура води стане рівною  $0\text{ }^\circ\text{C}$ , вона почне перетворюватися в лід. При цьому температура води не буде змінюватися до тих пір, поки вся вона не перейде в твердий стан. Цей процес супроводжується виділенням певної кількості теплоти і відповідно зменшенням внутрішньої енергії води за рахунок зменшення потенціальної енергії взаємодії її частинок.

Таким чином, перехід речовини з рідкого стану в твердий кристалічний відбувається за певної температури, яка називається **температурою кристалізації**. Ця температура залишається незмінною під час усього процесу кристалізації.

Дослід показує, що для кристалічних тіл температура кристалізації дорівнює температурі плавлення.

**4** Аморфне тіло переходить в рідкий стан не за певної фіксованої температури, а в певному інтервалі температур. Тому більш правильно говорити не про плавлення аморфних тіл, а про розм'якшення їх. Це відбувається тому, що, на відміну від частинок кристалічних тіл, частинки аморфних тіл переміщуються одна відносно одної. При нагріванні їхня швидкість збільшується, збільшуються відстані між ними, тіло поступово розм'якшується і стає текучим.

При охолодженні зменшуються швидкості руху частинок і відстані між ними. Ростуть сили взаємодії між частинками. Тіла втрачають плинність, стають густішими, а потім тверднуть.

**5** Різні кристалічні речовини мають різну будову, різні кристалічні ґратки. Відповідно, для того щоб її зруйнувати за температури плавлення, необхідно затратити різну енергію, надати речовині різну кількість теплоти.

**Питома теплота плавлення** — це фізична величина, яка дорівнює кількості теплоти, необхідної для перетворення 1 кг кристалічної речовини при температурі плавлення в рідину тієї ж температури.

Дослід показує, що питома теплота плавлення дорівнює питомій теплоті кристалізації.

Питому теплоту плавлення позначають літерою  $\lambda$ . Її одиниця — джоуль на кілограм (1 Дж/кг).

Різні речовини мають різну питому теплоту плавлення (табл. 6).

*Таблиця 6*

**Питома теплота плавлення деяких речовин, Дж/кг  
(за температури плавлення і нормального атмосферного тиску)**

Речовина	$\lambda$ , Дж/кг	Речовина	$\lambda$ , Дж/кг
Алюміній	$3,9 \cdot 10^5$	Сталь	$0,84 \cdot 10^5$
Лід	$3,4 \cdot 10^5$	Золото	$0,67 \cdot 10^5$
Залізо	$2,7 \cdot 10^5$	Водень	$0,59 \cdot 10^5$
Мідь	$2,1 \cdot 10^5$	Олово	$0,59 \cdot 10^5$
Цинк	$1,12 \cdot 10^5$	Свинець	$0,25 \cdot 10^5$
Спирт	$1,1 \cdot 10^5$	Кисень	$0,14 \cdot 10^5$
Срібло	$0,87 \cdot 10^5$	Ртуть	$0,12 \cdot 10^5$

З таблиці видно, що лід має порівняно велику питому теплоту плавлення і кристалізації. Завдяки цьому процес танення снігу і льоду відбувається навесні досить повільно, що дозволяє уникнути великих паводків і сприяє тому, що ґрунт просочується вологою.

Наприклад, питома теплота плавлення свинцю  $0,25 \cdot 10^5$  Дж/кг.

Це означає, що для перетворення 1 кг свинцю з твердого стану в рідкий за температури плавлення необхідно затратити кількість теплоти  $0,25 \cdot 10^5$  Дж. Цьому ж значенню дорівнює збільшення внутрішньої енергії 1 кг свинцю.

*Питома теплота плавлення показує, на скільки змінюється внутрішня енергія речовини з масою 1 кг, узятій за температури плавлення, при її плавленні або кристалізації.*

Можна сказати, що при переході 1 кг свинцю з рідкого стану в твердий за температури кристалізації виділяється кількість теплоти  $0,25 \cdot 10^5$  Дж. Цьому ж значенню дорівнює зменшення його внутрішньої енергії.

**6** Якщо відома кількість теплоти, яка необхідна для плавлення 1 кг, наприклад, свинцю (питома теплота плавлення  $0,25 \cdot 10^5$  Дж/кг) за температури плавлення, то для плавлення 5 кг свинцю потрібно затратити кількість теплоти в 5 разів більшу, тобто  $1,25 \cdot 10^5$  Дж.

*Таким чином, щоб обчислити кількість теплоти  $Q$ , необхідну для плавлення речовини з масою  $m$ , узятій за температури плавлення, слід питому теплоту плавлення  $\lambda$  помножити на масу речовини:*

$$Q = \lambda m.$$

Ця ж формула використовується при обчисленні кількості теплоти, що виділяється при кристалізації рідини.

**7** Процеси плавлення та тверднення можна зобразити графічно. Для цього вздовж вертикальної осі відкладають значення температури речовини, а вздовж горизонтальної — час нагрівання або охолодження. На рис. 26 зображено графік залежності температури льоду та води при нагріванні та охолодженні.

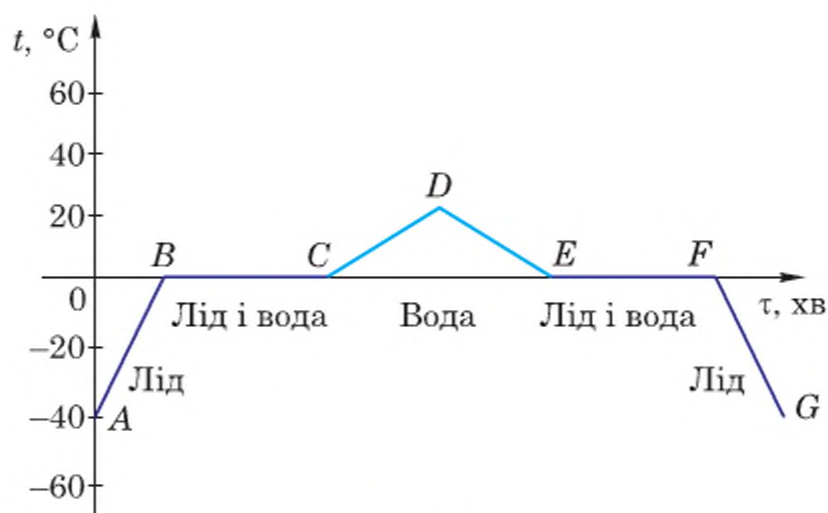


Рис. 26

В початковий момент є лід за температури  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  (точка  $A$ ). В процесі нагрівання температура льоду зростає (ділянка  $AB$ ) до тих пір поки лід не нагріється до температури плавлення. Кут нахилу ділянки  $AB$  визначається питомою теплоємністю речовини.

Після досягнення температури  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  лід почне плавитися. Процес плавлення льоду буде відбуватися при сталій температурі (ділянка  $BC$ ). Енергія, яка надходить від нагрівника, йде на збільшення потенціальної енергії молекул. Відбувається руйнування кристалічної ґратки льоду. Точка  $C$  відповідає стану, коли весь лід розплавився і перетворився на воду. Ділянка  $CD$  відповідає процесу нагрівання води. Нахил ділянки  $CD$  менший за нахил ділянки  $AB$ , оскільки питома теплоємність води більша за питому теплоємність льоду.

Якщо відключити нагрівник (точка  $D$ ) то зростання температури води припиниться. Помістимо воду у морозильну камеру, вода почне охолоджуватися (ділянка  $DE$ ). Коли температура води досягне  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  вода почне перетворюватися на лід. Ділянка  $EF$  відповідає процесу кристалізації за сталої температури. Після того як вся вода перетвориться на лід (точка  $F$ ) температура льоду знову почне знижуватися (ділянка  $FG$ ), що відповідає процесу охолодження льоду.

### 8 Приклад розв'язування задачі.

Яка кількість теплоти необхідна для плавлення 1 т залізного металобрухту, якщо температура в цеху, де він знаходиться, дорівнює  $35\text{ }^\circ\text{C}$ ?

Дано:

$$m = 1\text{ т}$$

$$t_1 = 35\text{ }^\circ\text{C}$$

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

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

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

$$Q = ?$$

СІ

$$1000\text{ кг}$$

Розв'язання.

Для того, щоб розплавити залізо, що знаходиться за температури  $35\text{ }^\circ\text{C}$  його спочатку потрібно нагріти до температури плавлення  $1539\text{ }^\circ\text{C}$  і потім розплавити. Втратами енергії на нагрівання навколишнього повітря знехтуємо.

Кількість теплоти, необхідна для нагрівання заліза:

$$Q_1 = cm(t_2 - t_1).$$

Кількість теплоти, яка необхідна для плавлення заліза:

$$Q_2 = \lambda m.$$

Тоді загальна кількість теплоти, яку необхідно надати:

$$Q = Q_1 + Q_2.$$

Отримаємо:

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

Перевіримо одиниці шуканої величини:

$$[Q] = \text{кг} \cdot \left( \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (^\circ\text{C} - ^\circ\text{C}) + \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \right) = \text{кг} \cdot \left( \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \right) = \text{Дж}.$$

Знайдемо числове значення шуканої величини:

$$Q = 1000 \cdot (460 \cdot (1539 - 35) + 2,7 \cdot 10^5) \approx 962 \cdot 10^6.$$

Відповідь. Необхідна кількість теплоти становить  $Q = 962\text{ МДж}$ .



### Запитання для самоперевірки

1. Що називають агрегатними перетвореннями речовини? Які агрегатні перетворення ви знаєте? Наведіть приклади.
2. Який процес називають плавленням; кристалізацією?

- Опишіть процес плавлення кристалічної речовини і поясніть його на основі молекулярно-кінетичної теорії будови речовини.
- Чим відрізняється плавлення кристалічного тіла від плавлення аморфного тіла?
- Чи можна розплавити свинець в олов'яній мисці?
- Що називають питомою теплою плавлення?
- Питома теплота плавлення заліза  $2,7 \cdot 10^5$  Дж/кг. Що це означає?



### Завдання 10

- Чому для вимірювання температури в північних районах використовують не ртутні, а спиртові термометри?
- На рисунку 27 наведено графік залежності температури цинку від часу його нагрівання. Яким процесам відповідають ділянки графіка *AB*, *BC*, *CD*, *DE*, *EF*?

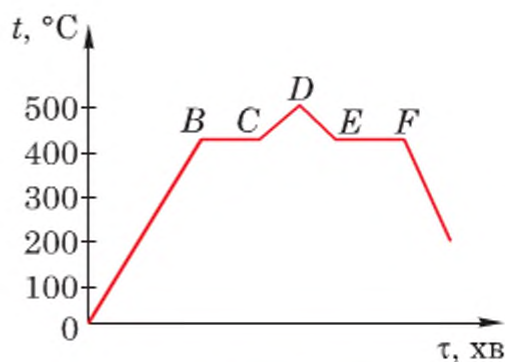


Рис. 27

- Подайте графічно значення температури плавлення свинцю, алюмінію і срібла у вигляді стовпчастої діаграми.
- Порівняйте внутрішню енергію 1 кг кристалічного і рідкого срібла при температурі плавлення.
- \* В залізній коробці з масою 400 г знаходиться олово з масою 200 г при температурі 32 °С. Яка кількість теплоти потрібна, щоб розплавити олово?
- \* Чавунна й алюмінієва деталі однакової маси перебувають при температурі 20°С. Для плавлення якої з цих деталей потрібна більша кількість теплоти? У скільки разів більша?
- \* Виконайте дослід. Заморозьте в холодильнику воду. Одержаний шматок льоду роздробіть і покладіть у стакан. Спостерігайте за зміною стану льоду і вимірюйте температуру. Відзначайте значення температури через рівні проміжки часу. Запишіть дані в таблицю. Побудуйте графік залежності температури льоду в склянці від часу його нагрівання. Якщо у вас є ваги, то попередньо зважте шматок льоду і розрахуйте кількість теплоти, яку отримає лід під час плавлення.



## Робота з комп'ютером

Вивчіть матеріал уроку і виконайте запропоновані в електронному додатку завдання.

### §11. Наноматеріали

✓ В яких станах можуть перебувати тверді тіла?

**1** У 1931 року німецькі фізики *Макс Кнолл* і *Ернст Руска* створили електронний мікроскоп, який уперше дозволив досліджувати об'єкти дуже малих розмірів. Цей рік вважається початком розвитку **нанотехнологій** — науки, в якій вивчаються закономірності фізичних і хімічних систем протяжністю порядку декількох нанометрів або часток нанометра. Один нанометр — це дуже мала величина, яка становить  $10^{-9}$  м.

Вперше використання поняття «нанотехнології» відбулося у доповіді, яку зробив американський фізик *Річард Фейнман* 29 грудня 1959 року. На думку Фейнмана людство з легкістю опанує ноносвіт, якщо навчиться створювати механізми-роботи, які будуть виготовляти зменшені працездатні копії самих себе. Механізми, створені на атомарному рівні, будуть позбавлені дефектів, притаманних макросвіту.

Пізніше японський фізик *Норіо Танігучі* ввів термін «нанотехніка», яким запропонував описувати механізми з розмірами, меншими від одного мікрона. Подальший розвиток науки дозволив використовувати нанотехнології в різних галузях: електроніці, медицині, енергетиці тощо.



*Річард Філіпс Фейнман* (1918–1988) – американський фізик. Лауреат Нобелівської премії з фізики у 1965 р. Його дослідження стосуються актуальних питань сучасної фізики

**2** Основним завданням нанотехнологій є отримання наноматеріалів із заданою структурою і властивостями та їхнє застосування за призначенням.

**Наноматеріали** — це матеріали, що містять структурні елементи (зерна, кристаліти, блоки, кластери), геометричні розміри яких хоча б в одному вимірі не перевищують 100 нм і які мають якісно нові властивості й характеристики. В нанокристалічних матеріалах істотно змінюються механічні властивості. За певних умов ці матеріали можуть бути надтвердими або надпластичними. Наприклад, в кристалічного нікелю при переході до нанорозмірів міцність і твердість зростають у декілька разів; додавання алюмінію, структура якого має нанорозміри, в ракетне паливо значно змінює його швидкість згорання.

Властивості наноматеріалів визначаються їхньою структурою, для якої характерна велика кількість меж поділу. Основний елемент структури — зерно або кристаліт. Якщо наночастинки мають яскраво виражене упорядковане розташування атомів, то їх називають **нанокристалітами**.

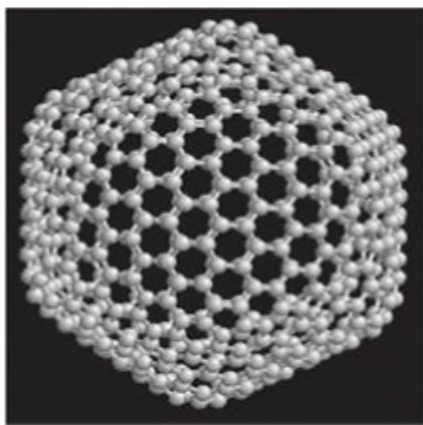


Рис. 28

На рисунку 28 зображено один із наноматеріалів — фулерен. Найвідоміший фулерен — молекула, яка складається з 60 атомів карбону. Молекула має ідеальну форму, схожу на форму футбольного м'яча. Природні фулерени можна знайти в сажі.

Температура плавленням для нанокристалів менша, ніж для звичайних кристалів. Це пов'язано з різким збільшенням кількості атомів, що знаходяться біля поверхні нанокристала.

**3** Використання наноматеріалів дозволяє значно підвищити ефективність існуючих технологій. Сонячні елементи, при виготовленні яких використовують металеві наноантени, можуть поглинати до 80% енергії сонячного світла, тоді як існуючі сонячні батареї можуть використовувати



тільки 20% енергії. В сучасних акумуляторах замість вуглецю використовують іони літію. Це дозволило значно збільшити їхню ємність та розширити діапазон використання. Використання наноматеріалів при виготовленні ліків дозволяє зменшити розмір таблеток та підвищити вміст лікувальної речовини у крові. Наночастинки також широко застосовують у харчовій промисловості та при виготовленні фарб.

Але, з іншої сторони, висока біологічна активність наночастинок може бути небезпечною для здоров'я людини. Багато наночастинок мають високу проникаючу здатність і легко проникають у клітини. Ефекти, пов'язані з попаданням наночастинок у мозок, печінку та інші життєво важливі органи, можуть бути небезпечними для здоров'я та життя живих організмів.



### Запитання для самоперевірки

1. Що таке нанотехнології, які розміри нанооб'єктів?
2. Які властивості змінюються в наноматеріалів у порівнянні зі звичайними речовинами? Наведіть приклади.
3. Наведіть приклади використання наноматеріалів.



### Завдання 11

1. Назвіть матеріали, що використовують у побуті і які містять наноматеріали.
2. Чому наноматеріали мають інші фізичні властивості, ніж звичайні речовини?
3. Яка температура плавлення наноматеріалів у порівнянні зі звичайними речовинами?

## §12. Випаровування і конденсація

✓ Яка будова рідин і газів?

**1** Вам не раз доводилося спостерігати, як після дощу висихають калюжі, сохне випрана білизна, кипить вода в чайнику. У всіх цих випадках вода перетворюється з рідкого стану в газоподібний (в пару).

**Процес перетворення рідини в пару (газ) називають пароутворенням.**

Випаровування може відбуватися по-різному. Відомі два процеси пароутворення: випаровування і кипіння. Вони здійснюються при різних умовах. Розглянемо спочатку процес випаровування.

**2** Ви добре знаєте, що калюжі після дощу висихають і за температури  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , і за  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , і за  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ , і за будь-якої іншої температури. Те ж можна сказати і про випрану білизну. Отже, в даних прикладах вода з рідкого стану в газоподібний перетворюється за будь-якої температури.

**Процес перетворення речовини з рідкого стану в газоподібний, що відбувається з поверхні рідини, називають випаровуванням.**

Спостереження показують, що випаровуються не тільки рідини, але і тверді тіла. Найпростіший приклад — висихання білизни на морозі. Вода, що міститься в білизні, спочатку замерзає, перетворюючись у лід, а потім лід випаровується. Ви, напевно, спостерігали випаровування льоду, який кладуть у холодильники з морозивом. Можна спостерігати випаровування твердого йоду. Якщо кристалики йоду покласти в колбу і нагріти (рис. 29), то через деякий час йод перетвориться в пару, минаючи рідкий стан.

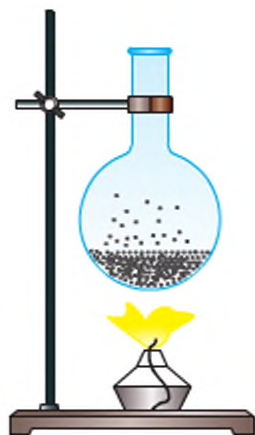


Рис. 29

**3** Пояснимо процес випаровування на основі молекулярно-кінетичної теорії будови речовини. Вам відомо, що молекули рідини неперервно

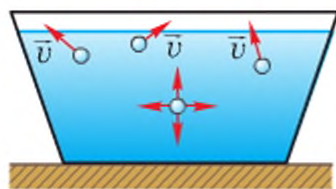


Рис. 30

рухаються з різними швидкостями. Найбільш швидкі молекули, що знаходяться на межі поверхні рідини і повітря, долають притягання сусідніх молекул і залишають рідину (рис. 30). Таким чином, над рідиною утворюється її пара.

**4** З'ясуємо, від чого залежить швидкість випаровування рідини. Виконаємо дослід. Крапнемо на скляну поверхню воду, спирт і рослинну олію. Простежимо, яка з рідин випарується першою. Зауважимо, що раніше за всіх випарується спирт, потім вода, пізніше — соняшникова олія. Отже, *швидкість випаровування залежить від роду рідини.*

Ви добре знаєте, що за вітряної погоди білизна сохне швидше, ніж за відсутності вітру. Це відбувається тому, що вітер відносить молекули, що вилетіли з рідини, звільняючи місце для інших. Зрозуміло, чому ви дме-те на рану після того, як її змажуть йодом. Спирт, в якому розчинений йод, при цьому буде швидше випаровуватися. Таким чином, *швидкість випаровування залежить від руху повітря над поверхнею рідини.*

Як ви думаєте, з якої посудини — склянки або тарілки — вода випарується швидше, якщо маса води буде однаковою? Дослід показує, що з тарілки. Це пояснюється тим, що площа поверхні води в тарілці більша, ніж у склянці, отже, більша кількість молекул зможе виявитися на поверхні і, подолавши сили притягання, вилетіти з неї. Значить, *швидкість випаровування залежить від площі поверхні рідини.*

Ви, звичайно, помічали, що у спекотний літній день калюжі висихають швидше, ніж холодною осінню. Очевидно, що з підвищенням температури швидкість випаровування зростає. І це не дивно, оскільки чим вища температура рідини, тим більша швидкість руху її молекул і, відповідно, їхня кінетична енергія. А раз так, то більша кількість молекул здатна подолати сили притягання і вийти за межі поверхні рідини. Таким чином, *швидкість випаровування залежить від температури рідини.*

**5** З'ясуємо, що відбувається з рідиною в посудині при випаровуванні. Проробимо дослід. Візьмемо термометр, обмотаємо його кінець ганчір-

кою, змоченою водою, а краще — одеколоном. Зауважимо, що стовпчик рідини в термометрі почне опускатися. Це свідчить про зменшення температури рідини при випаровуванні. Наприклад, якщо на руку капнути одеколон або ефір, то рука почне відчувати холод.

Пояснюється цей факт наступним чином. При випаровуванні рідину залишають молекули, що мають найбільшу енергію, тому внутрішня енергія решти рідини зменшується. Отже, зменшується і температура рідини.

**6** Усі ви спостерігали ввечері після спекотного літнього дня випадання роси. Це — водяна пара, що міститься в повітрі, при охолодженні перетворюється в рідину, і крапельки води осідають на листках і на траві.

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

Процес конденсації відбувається одночасно з процесом випаровування. Молекули, що вилетіли з рідини і знаходяться над її поверхнею, беруть участь у хаотичному русі. Вони стикаються з іншими молекулами, в якийсь момент часу їхні швидкості можуть бути спрямовані до поверхні рідини, і молекули повертаються в рідину.

Якщо процес випаровування йде швидше, ніж процес конденсації, то маса рідини в посудині зменшується. Це відбувається, коли посудина відкрита.

**7\*** Тепер з'ясуємо, як відбувається випаровування рідини в закритій посудині. Спочатку кількість молекул, які вилітають з рідини, більша, ніж кількість молекул, які повертаються назад. Через деякий час кількість молекул, що залишають рідину, дорівнюватиме кількості молекул, які повертаються назад. У цьому випадку настає динамічна рівновага між рідиною і паром.

*Пару, що знаходиться в стані динамічної рівноваги зі своєю рідиною, називають насиченою паром.*

Нехай у закритій посудині з рідиною знаходиться насичена пара. Будемо нагрівати цю посудину. Очевидно, що при підвищенні температури більша кількість молекул здатна залишити рідину. Тому в початковий момент часу кількість молекул, що залишають рідину, стане більшою

за кількість молекул, які повертаються до неї, динамічна рівновага порушиться, пара перестане бути насиченою. Однак через якийсь час рівновага відновиться, але густина насиченої пари збільшиться, оскільки зросте кількість молекул в одиниці об'єму. А як відомо, зі збільшенням густини зростає і тиск пари.

Таким чином, густина і тиск насиченої пари залежать від температури: вони збільшуються зі зростанням температури.

*Пару, що не знаходиться в стані динамічної рівноваги зі своєю рідиною, називають ненасиченою.*



### Запитання для самоперевірки

1. Який процес називають пароутворенням; випаровуванням; конденсацією?
2. Поясніть процеси випаровування і конденсації на основі молекулярно-кінетичної теорії будови речовини.
3. Які чинники впливають на швидкість випаровування?
4. Що відбувається з рідиною при випаровуванні? Чому?
- 5\*. Яка пара називається насиченою; ненасиченою?
- 6\*. Як залежать густина і тиск насиченої пари від температури? Чому?



### Завдання 12

1. Після дощу зазвичай стає прохолодно. Чому?
2. На одну шальку терезів поставили склянку з холодною водою, на іншу — з гарячою і зрівноважили їх. Чи зміниться рівновага терезів через деякий час?
3. Чому вода, пролита на підлогу, випаровується швидше, ніж така ж кількість води в склянці?
4. Чому в закритій каструлі вода нагрівається швидше, ніж у відкритій?
5. Проведіть спостереження за швидкістю випаровування різних речовин. Продумайте експеримент і здійсніть його. Опишіть дослід і його результати в зошиті.
6. Придумайте досліди, що дозволяють довести, що швидкість випаровування залежить від температури рідини, площі поверхні і стану повітря над поверхнею, і виконайте їх. Опишіть досліди і їхні результати в зошиті.

## §13. Кипіння. Розрахунок кількості теплоти при пароутворенні та конденсації

- ✓ Який механізм конвекції?
- ✓ Які умови плавання тіл?

**1** Розглянемо процес переходу рідини в пару при кипінні. Наллємо в колбу воду, закріпимо її в штативі і почнемо нагрівати (рис. 31). Будемо спостерігати за зміною стану води в колбі.

Через деякий час у воді з'являються бульбашки. Ці бульбашки містять повітря і насичену водяну пару, що утворюється при випаровуванні води всередину бульбашок. При підвищенні температури зростає тиск насиченої пари в бульбашках, і їхні розміри збільшуються. Під дією сили Архімеда бульбашки починають спливати.

Оскільки вода ще не прогрілася і температура верхніх шарів води менша, ніж нижніх, пара в бульбашках починає конденсуватися. Їхній об'єм зменшується, бульбашки стискаються, і ми чуємо шум.

Коли вода прогріється по всьому об'єму, бульбашки з паром вже зможуть піднятися до поверхні. Досягнувши поверхні рідини, бульбашки лопаються, і пара виходить назовні. Рідина кипить. Це відбувається тоді, коли тиск насиченої пари в них дорівнює атмосферному.

Процес пароутворення, що відбувається в усьому об'ємі рідини за певної температури, називають кипінням.

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

Температура кипіння рідини залежить від атмосферного тиску. При підвищенні атмосферного тиску вона збільшується, при зниженні — зменшується.

У таблиці 7 представлені значення температури кипіння деяких рідин за нормального атмосферного тиску.



Рис. 31

**Температура кипіння деяких рідин, °С  
(за нормального атмосферного тиску)**

Рідина	$t, ^\circ\text{C}$	Рідина	$t, ^\circ\text{C}$
Водень	-253	Вода	100
Кисень	-183	Молоко	100
Ефір	35	Ртуть	357
Спирт	78		

Як видно з даної таблиці, більш леткі рідини — ефір, спирт — киплять за більш низької температури, ніж, наприклад, вода. Це пов'язано з тим, що тиск насиченої пари цих рідин уже за кімнатної температури досить великий, оскільки їхні молекули слабкіше пов'язані між собою силами притягання, ніж молекули інших речовин.

Тиск пари ртуті за кімнатної температури малий. Він стає рівним атмосферному лише за температури 357 °С.

**3** Дослід показує, що як тільки рідина закипає, її температура перестав змінюватися і залишається постійною під час усього процесу кипіння, незважаючи на те, що ззовні продовжує надходити енергія.

З'ясуємо, на що витрачається енергія, що надходить до рідини. Поки рідина, що нагрівається, не кипить, пароутворення відбувається тільки з її поверхні. Частина енергії, яку отримує рідина, витрачається на компенсацію втрати рідиною енергії при випаровуванні, а частина — на збільшення внутрішньої енергії рідини, зокрема середньої кінетичної енергії молекул, про що свідчить підвищення її температури.

При досягненні температури кипіння пароутворення відбувається вже в усьому об'ємі рідини. Перехід рідини в газоподібний стан пов'язаний зі збільшенням відстаней між молекулами і, відповідно, з подоланням притягання між ними. На здійснення роботи з подолання сил притягання між молекулами і витрачається енергія, що підводиться до рідини. Так відбувається до тих пір, поки вся рідина не перетвориться в пару.

Ось чому температура кипіння залишається постійною до тих пір, поки вся рідина не перетвориться в пару.

Під час кипіння збільшується потенціальна енергія молекул, а їхня середня кінетична енергія залишається незмінною.

**4** Для перетворення різних речовин з рідкого стану в газоподібний потрібна різна енергія. Ця енергія характеризується величиною, яка називається **питомою теплотою пароутворення**.

**Питомою теплотою пароутворення називають фізичну величину, що дорівнює кількості теплоти, яку потрібно надати речовині з масою 1 кг для перетворення її з рідкого стану в газоподібний за температури кипіння.**

Питома теплота пароутворення позначається літерою  $L$ , її одиницею є джоуль на кілограм  $\left(1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}\right)$ .

*Питома теплота пароутворення показує, на скільки збільшується внутрішня енергія речовини з масою 1 кг при перетворенні її з рідкого стану в газоподібний без зміни температури (за температури кипіння).*

Значення питомої теплоти пароутворення визначаються експериментально. У таблиці 8 наведені значення питомої теплоти пароутворення деяких речовин.

Таблиця 8

**Питома теплота пароутворення, Дж/кг  
(за нормального атмосферного тиску і температури кипіння)**

Речовина	$L$ , Дж/кг	Речовина	$L$ , Дж/кг
Вода	$2,3 \cdot 10^6$	Ефір	$0,4 \cdot 10^6$
Аміак (рідкий)	$1,4 \cdot 10^6$	Ртуть	$0,3 \cdot 10^6$
Спирт	$0,9 \cdot 10^6$	Повітря (рідке)	$0,2 \cdot 10^6$

Наприклад, питома теплота пароутворення ефіру  $0,4 \cdot 10^6$  Дж/кг. Це означає, що для перетворення 1 кг ефіру з рідкого стану в газоподібний за температури кипіння необхідно затратити кількість теплоти  $0,4 \cdot 10^6$  Дж, або внутрішня енергія 1 кг ефіру при перетворенні з рідкого стану в газоподібний за температури кипіння збільшується на  $0,4 \cdot 10^6$  Дж.



**5** Якщо необхідно перетворити на пару за температури кипіння не 1 кг ефіру, а 5 кг, то потрібно затратити кількість теплоти в 5 разів більше, тобто  $2 \cdot 10^6$  Дж.

Таким чином, щоб знайти кількість теплоти  $Q$ , яку необхідно надати речовині з масою  $m$ , щоб перетворити її з рідкого стану в газоподібний, необхідно питому теплоту пароутворення  $L$  помножити на масу речовини:

$$Q = Lm.$$

**6** При конденсації пари виділяється певна кількість теплоти; причому її значення дорівнює значенню кількості теплоти, отриманої рідиною при пароутворенні за тої ж температури. Так, якщо для перетворення 1 кг спирту з рідкого стану в газоподібний за температури кипіння  $78^\circ\text{C}$  необхідно затратити кількість теплоти  $0,9 \cdot 10^6$  Дж, то при конденсації 1 кг пари спирту за цієї ж температури виділиться кількість теплоти  $0,9 \cdot 10^6$  Дж — на таке ж значення зменшиться внутрішня енергія спирту.

**7** Процеси пароутворення та конденсації можна зобразити графічно. Вздовж вертикальної осі відкладемо значення температури речовини,

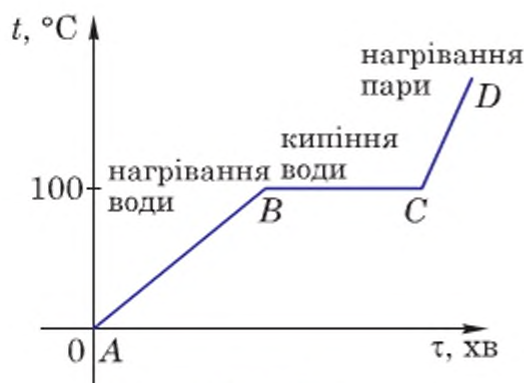


Рис. 32

а вздовж горизонтальної — час нагрівання або охолодження. На рис. 32 зображено графік залежності температури води та пари при нагріванні (за нормального атмосферного тиску).

В початковий момент є вода за температури  $0^\circ\text{C}$  (точка  $A$ ). В процесі нагрівання температура води зростає (ділянка  $AB$ ) до тих пір поки вода не нагріється до температури кипіння.

При досягненні температури  $100^\circ\text{C}$  вода почне кипіти (точка  $B$ ). Процес кипіння води буде відбуватися за сталої температури (ділянка  $BC$ ). Енергія, яка надходить від нагрівника, йде на збільшення потенціальної енергії молекул. Точка  $C$  відповідає стану, коли вся вода перетвориться на пару. Ділянка  $CD$  відповідає процесу нагрівання пари.

## 8 Приклад розв'язування задачі.

Яка кількість теплоти необхідна, щоб перетворити 5 л води, яка має температуру  $80\text{ }^\circ\text{C}$ , у пару при температурі  $100\text{ }^\circ\text{C}$ ?

Дано:

$$V = 5 \text{ л}$$

$$t_1 = 80\text{ }^\circ\text{C}$$

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

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

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

$$\rho = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$Q = ?$$

СІ

$$5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

Розв'язання.

Для того, щоб перетворити воду на пару необхідно спочатку її нагріти до температури кипіння. При температурі  $100\text{ }^\circ\text{C}$  вода почне кипіти і її температура не буде змінюватися поки вся вода не википить. Втратами енергії на нагрівання навколишнього повітря знехтуємо.

Кількість теплоти, яка необхідна для нагрівання води:

$$Q_1 = cm(t_2 - t_1).$$

Кількість теплоти, яка необхідна для пароутворення:

$$Q_2 = Lm.$$

Тоді загальна кількість теплоти:

$$Q = Q_1 + Q_2.$$

Враховуючи, що  $m = \rho V$ , отримуємо:

$$Q = cm(t_2 - t_1) + Lm = m(c(t_2 - t_1) + L) = \rho V(c(t_2 - t_1) + L).$$

Перевіримо одиниці шуканої величини:

$$[Q] = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \text{м}^3 \cdot \left( \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot (^\circ\text{C} - ^\circ\text{C}) + \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \right) = \text{кг} \cdot \left( \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \right) = \text{Дж}.$$

Знайдемо числове значення шуканої величини:

$$Q = 5 \cdot 10^{-3} \cdot 1000 \cdot (4200 \cdot (100 - 80) + 2,3 \cdot 10^6) \approx 11,9 \cdot 10^6.$$

Відповідь. Необхідна кількість теплоти становить  $Q = 11,9 \text{ МДж}$ .



### Запитання для самоперевірки

1. Який процес називають кипінням?
2. Поясніть, як відбувається кипіння рідини.

3. Чому за температури, яка нижча від температури кипіння, бульбашки пари, піднімаючись угору, зменшуються в об'ємі?
4. Від чого залежить температура кипіння?
5. Чому під час кипіння температура речовини не змінюється?
6. Що називають питомою теплою пароутворення?
7. Питоме тепло пароутворення води  $2,3 \cdot 10^6$  Дж/кг. Що це означає?



### Завдання 13

1. Водяна пара за температури  $100^\circ\text{C}$  сконденсувалася у воду з тією ж температурою. Як змінився при цьому об'єм, маса, густина і внутрішня енергія речовини?
2. Чому ви відчуваєте холод, коли виходите з річки після купання?
3. Після змочування руки спиртом відчуття холоду сильніші, ніж після змочування водою. Чому?
4. Яку максимальну температуру можна виміряти спиртовим термометром?
- 5\*. Дві рідини (I і II), маси яких рівні, нагрівають в однакових посудинах на однакових пальниках. За графіками залежності температури від часу (рис. 33) порівняйте значення питомої теплоємності, температури кипіння і питомої теплоти пароутворення цих рідин.
6. Зобразіть графічно значення температури кипіння ефіру, спирту, води і ртуті у вигляді стовпчастої діаграми.
7. Яка кількість теплоти виділяється при конденсації  $0,1$  кг ефіру, взятої за температури кипіння, і при подальшому його охолодженні до температури  $15^\circ\text{C}$ ?
8. Скільки спирту, доведеного до кипіння, можна випарувати, затративши  $3600$  кДж теплоти?
- 9\*. Каструлю, в якій міститься вода за температури  $20^\circ\text{C}$  поставили на електроплитку. Вода закипіла через  $5$  хвилин. Чи википить вся вода через  $10$  хвилин після початку кипіння?

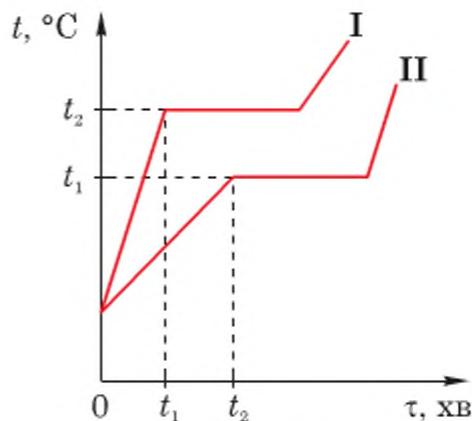


Рис. 33



### Робота з комп'ютером

Вивчіть матеріал уроку і виконайте запропоноване в електронному додатку завдання.

## §14. Тепловий баланс. Рівняння теплового балансу

- ✓ Як визначити кількість теплоти, необхідну для нагрівання тіла?
- ✓ Які існують види теплообміну?

**1** Тіла з різними температурами при теплообміні обмінюються між собою теплотою. Припустимо, що є система тіл, яка не одержує енергію ззовні і не віддає енергію назовні (така система тіл називається *ізолюваною*). Тоді збільшення або зменшення внутрішньої енергії тіл системи відбувається тільки внаслідок теплопередачі. Більш нагріті тіла віддають енергію менш нагрітим, поки їх температури не стануть однаковими. Наприклад, при теплообміні кількість теплоти  $Q_1$ , яку віддає гаряча вода, рівна кількості теплоти  $Q_2$ , яку отримує холодна вода, тобто

$$Q_1 = Q_2.$$

Записане рівняння називають **рівнянням теплового балансу**. Воно пов'язує кількість теплоти, яку отримує одне тіло, і кількість теплоти, яку віддає друге тіло при теплообміні. При цьому в теплообміні можуть брати участь не тільки два тіла, а три і більше. Наприклад, якщо у склянку з гарячим чаєм опустити ложку, то в теплообміні беруть участь склянка і чай (віддають енергію), ложка й оточуюче повітря (отримують енергію). Як уже наводилось, в конкретних задачах можна знехтувати кількістю теплоти, яку отримують чи віддають деякі тіла при теплообміні, вважаючи її невеликою.

**2** Рівняння теплового балансу дає можливість визначити, наприклад, масу тіл, що беруть участь в теплообміні; температуру, яка встановиться в результаті теплообміну. Використовуючи рівняння теплового балансу, можна розрахувати значення питомої теплоємності речовини.

### **3** Приклад розв'язування задачі.

✎ У калориметр, що містить воду з масою 500 г за температури 10 °С, впустили пару за температури 100 °С. При тепловій рівновазі в калориметрі встановилася температура 40 °С. Визначте масу пари.

Дано:

$$m_{\text{в}} = 500 \text{ г}$$

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

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

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

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

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

$$m_{\text{п}} = ?$$

СІ

$$0,5 \text{ кг}$$

Розв'язання.

Між паром і водою в калориметрі відбувається теплообмін. Пара конденсується і віддає воді кількість теплоти  $Q_1$ , вода, що утворилася з пари, віддає кількість теплоти  $Q_2$  і охолоджується від  $100 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ . Вода, яка перебувала в калориметрі, отримує кількість теплоти  $Q_3$  і нагрівається від  $10 \text{ }^\circ\text{C}$  до  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ . Нехтуючи втратами енергії на нагрівання калориметра і навколишнього повітря, можна записати рівняння теплового балансу:

$$Q_1 = Q_2 + Q_3.$$

Кількість теплоти, яка виділяється при конденсації пари:

$$Q_1 = Lm_{\text{п}}.$$

Кількість теплоти, яку віддає вода, що утворилася при конденсації пари:

$$Q_2 = cm_{\text{п}}(t_2 - t).$$

Кількість теплоти, яку отримала вода в калориметрі:

$$Q_3 = cm_{\text{в}}(t - t_1).$$

З урахуванням цього отримуємо:

$$Lm_{\text{п}} + cm_{\text{п}}(t_2 - t) = cm_{\text{в}}(t - t_1).$$

$$\text{Звідси } m_{\text{п}} = \frac{cm_{\text{в}}(t - t_1)}{L + c(t_2 - t)}.$$

Перевіримо одиниці шуканої величини:

$$[m_{\text{п}}] = \frac{\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{ }^\circ\text{C}} \cdot \text{кг} \cdot \text{ }^\circ\text{C}}{\frac{\text{Дж}}{\text{кг}} + \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{ }^\circ\text{C}} \cdot \text{ }^\circ\text{C}} = \frac{\text{Дж}}{\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}} = \text{Дж}.$$

Знайдемо числове значення шуканої величини:

$$\{m_{\text{п}}\} = \frac{4200 \cdot 0,5 \cdot 30}{2,3 \cdot 10^6 + 4200 \cdot 60 \text{ }^\circ\text{C}} \approx 0,025.$$

Відповідь.  $m_{\text{п}} \approx 25 \text{ г}$ .



## Запитання для самоперевірки

1. Опишіть процес теплообміну, який відбувається при зануренні в калориметр з гарячою водою тіла, що має кімнатну температуру.
2. Яке рівняння називають рівнянням теплового балансу?



## Завдання 14

1. У посудину налили 25 л води за температури  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Чому дорівнює маса гарячої води за температури  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ , яку потрібно долити в посудину, щоб у ній встановилася температура  $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ ?
2. У скляний стакан із масою 100 г, що має температуру  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , налили воду за температури  $80\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Через деякий час температура води стала рівною  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Яка маса води, наливої в стакан?
3. На рисунку 34 наведено графіки залежності температури від часу при нагріванні двох різних рідин (I і II) із однаковою масою на однакових нагрівних приладах. У чому полягає різниця процесів нагрівання цих рідин і чому?
4. У воду з масою 300 г, температура якої  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , опускають нагріті у киплячій воді металеві важки загальною масою 1 кг. Температура води підвищується на  $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ . З якого матеріалу можуть бути зроблені важки?
- 5\*. У калориметрі знаходиться лід із масою 500 г при температурі  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Яка температура встановиться у калориметрі, якщо в нього впустили водяну пару з масою 80 г, що має температуру  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ?
- 6\*. У калориметрі при температурі  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  знаходиться 500 г води і 300 г льоду. Яка температура встановиться в калориметрі, якщо долити у нього 100 г окропу?
- 7\*. Алюмінієвий кубик ставлять на лід, що має температуру  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . До якої температури має бути нагрітий кубик, щоб він занурився повністю у лід?

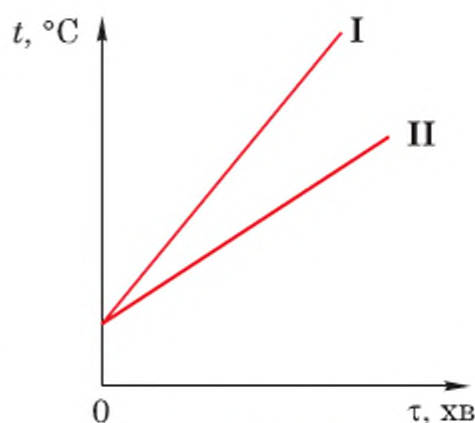


Рис. 34

## §15. Згоряння палива. Питома теплота згоряння палива

✓ Що називають кількістю теплоти?

**1** Для того, щоб приготувати їжу, обігріти приміщення, привести в рух автомобіль, потрібно затратити енергію. Існують різні джерела енергії. Одним із них є паливо. Наприклад, природний газ, дрова, вугілля, нафта тощо.

Паливо містить у своєму складі вуглець. При згорянні вуглецю відбувається хімічна реакція окислення — атоми вуглецю з'єднуються з атомами кисню, що містяться в повітрі, й утворюється молекула діоксиду вуглецю (вуглекислого газу)  $\text{CO}_2$ . При цьому виділяється енергія.

**2** При згорянні різного палива з однаковою масою виділяється різна кількість теплоти. Наприклад, добре відомо, що природний газ є енергетично більш вигідним паливом, ніж дрова. Це означає, що для отримання одної і тої ж кількості теплоти маса дров, які потрібно спалити, повинна бути істотно більшою за масу природного газу. Енергія, що виділяється при згорянні різного палива, характеризується величиною, яка називається **питомою теплотою згоряння палива**.

**Питомою теплотою згоряння палива називають фізичну величину, що показує, яка кількість теплоти виділяється при повному згорянні палива з масою 1 кг.**

Питома теплота згоряння палива позначається літерою  $q$ , її одиницею є джоуль на кілограм  $\left(1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}\right)$ .

Значення питомої теплоти згоряння палива визначають експериментально. У таблиці 9 наведені значення питомої теплоти згоряння деяких видів палива.

Питома теплота згоряння деяких видів палива, Дж/кг

Паливо	$q$ , Дж/кг	Паливо	$q$ , Дж/кг
Порох	$0,38 \cdot 10^7$	Деревне вугілля	$3,4 \cdot 10^7$
Сухі дрова	$1,0 \cdot 10^7$	Природний газ	$4,4 \cdot 10^7$
Торф	$1,4 \cdot 10^7$	Нафта	$4,4 \cdot 10^7$
Антрацит	$3,0 \cdot 10^7$	Бензин	$4,6 \cdot 10^7$
Кам'яне вугілля	$2,7 \cdot 10^7$	Гас	$4,6 \cdot 10^7$
Спирт	$2,7 \cdot 10^7$	Водень	$12,0 \cdot 10^7$

З цієї таблиці видно, що найбільшу питому теплоту згоряння має водень, найменшу — порох.


Питома теплота згоряння сухих дров  $1,0 \cdot 10^7$  Дж/кг, а нафти —  $4,4 \cdot 10^7$  Дж/кг. Це означає, що при повному згорянні 1 кг сухих дров виділяється кількість теплоти  $1,0 \cdot 10^7$  Дж, а при повному згорянні 1 кг нафти — кількість теплоти  $4,4 \cdot 10^7$  Дж. Таким чином, при згорянні 1 кг сухих дров виділяється кількість теплоти в 4,4 рази менша, ніж при згорянні 1 кг нафти.

**3.** Якщо згоряє не 1 кг сухих дров, а, наприклад, 20 кг, то при їхньому повному згорянні виділиться кількість теплоти у 20 разів більша, тобто  $20 \cdot 10^7$  Дж.

У загальному випадку *кількість теплоти  $Q$ , що виділяється при повному згорянні палива, дорівнює добутку питомої теплоти згоряння палива  $q$  і його маси  $m$ :*

$$Q = qm.$$

#### **4** Приклад розв'язування задачі

 Визначте масу природного газу, який потрібно спалити для того, щоб нагріти 22 л води від  $20^\circ\text{C}$  до кипіння ( $100^\circ\text{C}$ ).



Дано:

$$V = 22 \text{ л}$$

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

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

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

$$q = 4,4 \cdot 10^7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

$$\rho = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$m_1 = ?$$

СІ

$$22 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

Розв'язання.

У теплообміні беруть участь продукти згоряння природного газу та вода. При спалюванні природного газу виділяється кількість теплоти  $Q_1$ . Якщо знехтувати втратами енергії на нагрівання навколишнього повітря і посудини, в якій знаходиться вода, то, відповідно до закону збереження енергії, кількість теплоти  $Q_1$ , яка виділяється при згорянні природного газу, дорівнює кількості теплоти  $Q_2$ , яка витрачається на нагрівання води:

$$Q_1 = Q_2.$$

Кількість теплоти, яка виділяється при згорянні палива:

$$Q_1 = qm_1.$$

Кількість теплоти, яка необхідна для нагрівання води, рівна:

$$Q_2 = cm_2(t_2 - t_1).$$

Прирівнявши вирази, отримаємо:

$$qm_1 = cm_2(t_2 - t_1).$$

Маса води дорівнює добутку густини на її об'єм:

$$m = \rho V.$$

З урахуванням цього отримаємо:

$$qm_1 = c\rho V(t_2 - t_1).$$

Звідси

$$m_1 = \frac{c\rho V(t_2 - t_1)}{q}.$$

Перевіримо одиниці шуканої величини:

$$[m_1] = \frac{\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{ }^\circ\text{C}} \cdot \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \text{м}^3 \cdot \text{ }^\circ\text{C}}{\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}} = \text{кг}.$$

Знайдемо числове значення шуканої величини:

$$m_1 = \frac{4200 \cdot 10^3 \cdot 22 \cdot 10^{-3} \cdot 80}{4,4 \cdot 10^7} = 0,17.$$

Відповідь.  $m_1 = 0,17$  кг.



### Запитання для самоперевірки

1. Чому при згорянні палива виділяється енергія?
2. Яку фізичну величину називають питомою теплотою згорання палива? Яка її одиниця?
3. Питома теплота згорання гасу  $4,6 \cdot 10^7$  Дж/кг. Що це означає?
4. При згорянні якого палива з однаковою масою — торфу або гасу — виділяється більша кількість теплоти?



### Завдання 15

1. Яка кількість теплоти виділяється при повному згорянні 10 кг кам'яного вугілля?
2. Чому дорівнює маса згорілого деревного вугілля, якщо при цьому виділилася теплота кількістю  $10,2 \cdot 10^7$  Дж?
3. Чому дорівнює маса води, яку можна нагріти від  $25^\circ\text{C}$  до  $85^\circ\text{C}$ , передаючи їй усю енергію, що виділилася при повному згорянні 2,1 кг антрациту?
- 4\*. Чому дорівнює маса природного газу, який потрібно спалити для того, щоб 4 кг води нагріти в алюмінієвій каструлі із масою 0,6 кг від  $10^\circ\text{C}$  до кипіння?
- 5\*. Яке співвідношення мас спирту та бензину в суміші, якщо питома теплота згорання цієї суміші 40 МДж/кг?



### Робота з комп'ютером

Вивчіть матеріал уроку і виконайте запропоноване в електронному додатку завдання.

## §16. Принципи роботи теплових двигунів

- ✓ Яку фізичну величину називають питомою теплотою згорання палива?
- ✓ Що називають коефіцієнтом корисної дії?

**1** Теплові двигуни — це пристрої, які здійснюють механічну роботу за рахунок внутрішньої енергії палива.

Розглянемо, як працює найпростіший тепловий двигун. Виконаємо дослід. Наллємо в пробірку воду, закриємо її корком і закріпимо в штативі (рис. 35). Будемо нагрівати пробірку з водою. Коли вода закипить, пара, що утворилася над нею, виштовхне корок із пробірки.

Пара при цьому виконає роботу з переміщення корка за рахунок своєї внутрішньої енергії. Ми, таким чином, отримали найпростіший тепловий двигун. Такий двигун може виконати роботу одноразово. Щоб він знову виконав роботу, його потрібно повернути в початковий стан.

**2** З'ясуємо, з яких частин складається описаний вище двигун. Пара, яка здійснювала роботу, являє собою робоче тіло. Робоче тіло (пара) отримувало енергію від нагрівача, в даному випадку — від спиртівки, в якій згорає спирт (паливо), розширювалося і здійснювало роботу, виштовхуючи корок. Щоб повернути робоче тіло в початковий стан (стиснути), його треба охолодити, отже, потрібно мати холодильник, якому робоче тіло віддає певну кількість теплоти. В даному випадку роль холодильника відіграє навколишнє повітря.

Таким чином, в тепловому двигуні розширення робочого тіла відбувається при більш високій температурі, ніж стиснення.

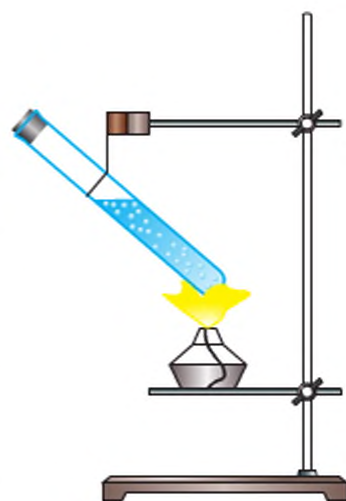


Рис. 35

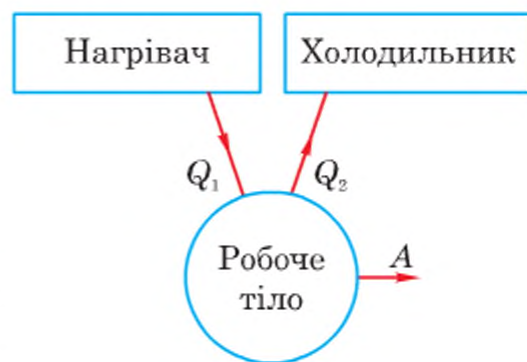


Рис. 36

Будь-який теплової двигун складається з *робочого тіла, нагрівача і холодильника*. На рисунку 36 зображено принципову схему теплового двигуна. Робочим тілом зазвичай є газ або пара, тому що вони добре стискаються. Холодильником може бути доквілля. Робоче тіло отримує енергію від нагрівача, здійснює роботу і віддає деяку кількість теплоти холодильнику, повертаючись у початковий стан.

**3** У теплового двигуна перетворюється в механічну енергію тільки частина енергії, яку робоче тіло отримує від нагрівача. Частина енергії передається холодильнику, а частина енергії йде на здійснення роботи проти сил опору.

Нехай  $Q_1$  — кількість теплоти, яку отримало робоче тіло від нагрівача;  $Q_2$  — кількість теплоти, яку робоче тіло віддало холодильнику;  $A$  — виконана робота. Тоді  $A = Q_1 - Q_2$ .

Відношення виконаної двигуном роботи  $A$  до кількості теплоти  $Q_1$ , отриманої ним від нагрівача, називають коефіцієнтом корисної дії теплового двигуна (ККД)  $\eta$ :

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

Коефіцієнт корисної дії показує, яка частина енергії, отриманої від нагрівача, пішла на здійснення роботи. Зазвичай його виражають у відсотках.

**4** Для підвищення коефіцієнта корисної дії теплового двигуна необхідно збільшити кількість теплоти, яку він отримує від нагрівача, і зменшити кількість теплоти, що віддається холодильнику.

Кількість теплоти, отримана від нагрівача, тим більша, чим вища його температура, а кількість теплоти, що віддається холодильнику, тим менша, чим нижча його температура. Тому для підвищення ККД двигуна слід підвищити температуру нагрівача і знизити температуру холодильника. Крім того, для підвищення ККД необхідно зменшити втрати енергії через стінки двигуна, зменшити тертя в його робочих частинах.



## Запитання для самоперевірки

1. Які двигуни називають тепловими?
2. Які основні частини теплового двигуна?
3. Чому робочим тілом двигуна є газ або пара?
4. Навіщо теплового двигуна потрібен холодильник?
5. Що називають коефіцієнтом корисної дії теплового двигуна?
6. Від чого залежить ККД теплового двигуна?
7. Що потрібно зробити, аби підвищити ККД теплового двигуна?



## Завдання 16

1. Чи можна механічну енергію повністю перетворити у внутрішню енергію тіла?
2. Чи можна внутрішню енергію робочого тіла повністю перетворити в механічну енергію?
3. Які перетворення енергії відбуваються при пострілі з гвинтівки?
4. Двигун здійснив роботу 28 МДж, отримавши кількість теплоти 70 МДж. Чому дорівнює ККД двигуна?
5. Обчисліть ККД двигуна, якщо він отримав від нагрівача кількість теплоти 150 МДж, а передав холодильнику 100 МДж.

## §17. Двигун внутрішнього згорання

- ✓ Яке призначення в теплому двигуні робочого тіла; нагрівача; холодильника?

**1** Розглянемо будову і роботу двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ). Перевагою ДВЗ перед іншими двигунами є те, що паливо згорає всередині циліндра двигуна. Це робить їх більш дешевими і економічними, менш металомісткими.

Існують два типи двигунів внутрішнього згорання: *карбюраторні* і *дизельні*. У карбюраторному двигуні горюча суміш (суміш палива з повітрям)

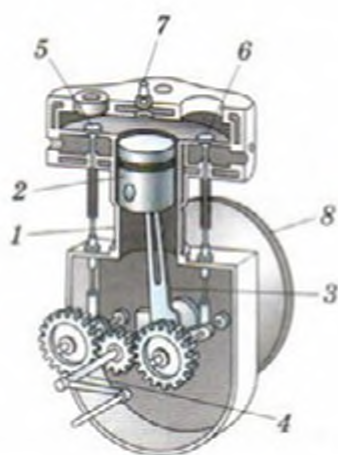


Рис. 37

готується поза двигуном у спеціальному пристрої і з нього надходить у двигун. У дизельному двигуні горюча суміш готується в самому двигуні.

**2** Двигун внутрішнього згоряння (рис. 37) складається з циліндра 1, в якому переміщається поршень 2, з'єднаний з шатуном 3. Шатун насаджений на колінчастий вал 4 і приводить його в обертання при поступальному русі поршня в циліндрі. У верхній частині циліндра є два отвори, в які вставлено клапани 5 (впускний) і 6 (випускний). Через них у циліндр надходить горюча суміш і виходять відпрацьовані гази.

**3** У чотиритактному двигуні внутрішнього згоряння робочий цикл складається з наступних чотирьох тактів (рис. 38).

I такт — *впуск*. Під час цього такту відбувається рух поршня вниз від верхньої мертвої точки в нижню мертво точку. **Мертвими точками** називають крайнє верхнє і крайнє нижнє положення поршня в циліндрі двигуна. Тиск газу в циліндрі над поршнем при його русі вниз зменшується, і в нього через клапан 5 надходить горюча суміш (в карбюраторному двигуні) або повітря (в дизельному двигуні). Другий клапан 6 при цьому закритий.

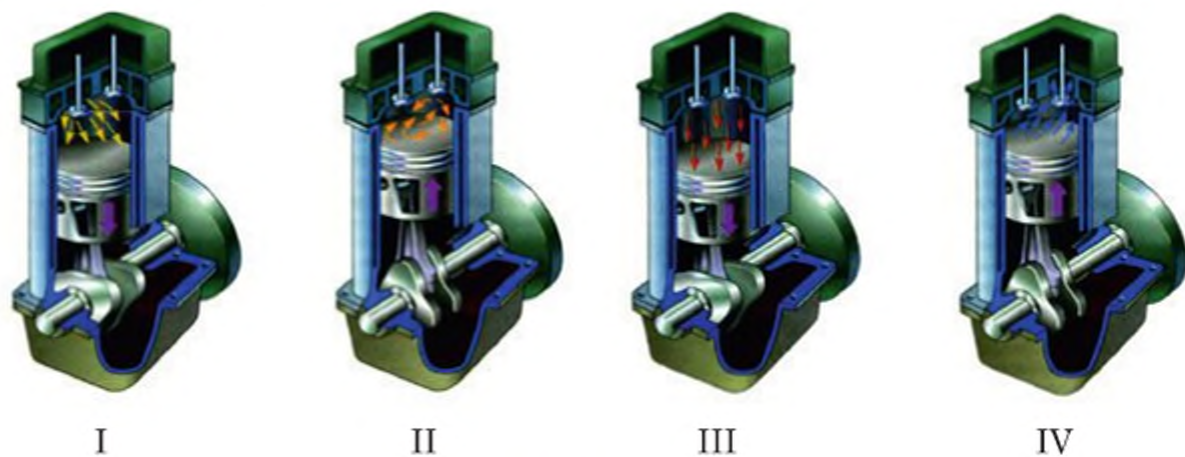


Рис. 38

Коли поршень прийде в нижню мертву точку, закриється і впускний клапан.

II такт — *стиск*. Поршень рухається з нижньої точки вгору, клапани залишаються закритими, і робоча суміш або повітря стискається. В результаті стиснення температура горючої суміші в карбюраторних двигунах досягає  $300\text{ }^{\circ}\text{C}$  —  $350\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а температура повітря в дизельних двигунах —  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$  —  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

При наближенні поршня до верхньої мертвої точки в свічці запалювання 7 карбюраторного двигуна проскакує іскра, і горюча суміш запалюється. У дизельних двигунах у сильно нагріте повітря впорскується паливо, і суміш, що утворилася, самозаймається.

III такт — *робочий хід*. При згорянні горючої суміші виділяється велика кількість теплоти, різко підвищуються тиск і температура газу. Оскільки цей процес здійснюється дуже швидко, то можна вважати, що зміна тиску і температури газу відбувається при сталому об'ємі. Потім газ розширюється: його об'єм збільшується, а тиск зменшується за незмінної температури. Розширюючись, газ штовхає поршень і з'єднаний з ним колінчастий вал, здійснюючи механічну роботу. При цьому газ охолоджується, оскільки частина його внутрішньої енергії перетворюється в механічну енергію.

IV такт — *випуск*. Після того, як поршень прийде в нижню мертву точку, тиск у циліндрі зменшується. При русі поршня вгору відкривається клапан 6, і починається випуск відпрацьованих газів. В кінці четвертого такту клапан 6 закривається. Потім цикл повторюється.

З чотирьох тактів тільки один — третій — є робочим. Для того, щоб поршень проходив нижню і верхню мертві точки, на колінчастий вал насаджують масивний маховик 8. Завдяки його інертності колінчастий вал відразу не припиняє обертання, і поршень проходить мертві точки.

**4** Двигуни внутрішнього згорання використовують в автомобілях, комбайнах, тракторах, тепловозах, теплоходах тощо. Зазвичай двигун складається з чотирьох (рис. 39) або восьми циліндрів. У чотирициліндровому двигуні в кожному з циліндрів по чергово здійснюється робочий хід, і колінчастий вал увесь час отримує енергію від одного з поршнів, тому

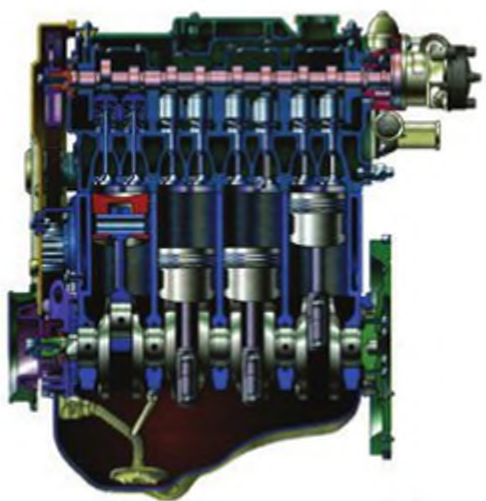


Рис. 39

його обертання відбувається безперервно, без зупинок.

У даний час чотиритактні карбюраторні двигуни встановлюються тільки на автомобілях. На сучасних марках тракторів, теплоходів і тепловозів їхнє місце зайняли дизельні двигуни через більшу економічність останніх. Потужність таких двигунів досягає декількох тисяч кіловат.

Карбюраторні двигуни внутрішнього згоряння мають досить низький ККД — від 21%; ККД дизельних двигунів вищий — до 42%.



### Запитання для самоперевірки

1. Як влаштований двигун внутрішнього згоряння?
2. З яких тактів складається робота двигуна внутрішнього згоряння?
3. Який з тактів називають робочим ходом?
4. Чим відрізняється карбюраторний двигун внутрішнього згоряння від дизельного?
5. Що є робочим тілом, нагрівачем і холодильником у двигуні внутрішнього згоряння?
6. Які перетворення енергії відбуваються при роботі двигуна внутрішнього згоряння?
7. У яких видах транспорту застосовують двигуни внутрішнього згоряння?
8. Навіщо на вісь колінчастого вала двигуна внутрішнього згоряння насаджують маховик?



### Завдання 17

1. Чому між поршнем і стінкою циліндра двигуна внутрішнього згоряння залишають зазор?
2. Коли внутрішня енергія газу в циліндрі двигуна внутрішнього згоряння більша — при проскакуванні іскри чи в кінці робочого ходу?



3. Розмір махового колеса залежить від числа циліндрів двигуна внутрішнього згоряння. Яка ця залежність? Чим вона зумовлена?
4. Двигун внутрішнього згоряння виконав роботу, рівну 55,2 МДж, і витратив при цьому 6 кг бензину. Чому дорівнює коефіцієнт корисної дії цього двигуна?
5. Подумайте, як впливає робота двигуна внутрішнього згоряння на стан навколишнього середовища.

## §18. Парова турбіна. Теплові двигуни і охорона навколишнього середовища

✓ Яке перетворення енергії відбувається в тепловому двигуні?

**1** Парова турбіна — інший тип теплового двигуна, який широко застосовують на сучасних теплових електростанціях.

Парова турбіна являє собою насаджений на вал 1 (рис. 40) масивний диск 2, на якому закріплені лопаті 3. На лопаті надходить пара із сопла 4.

Працює турбіна наступним чином. Пара, отримана в паровому котлі, має температуру, близьку до 600 °С. Вона прямує в сопло і в ньому розширюється. При розширенні пари відбувається перетворення її внутрішньої енергії в кінетичну енергію спрямованого руху струменя пари.

Струмінь пари, що має велику кінетичну енергію, надходить із сопла на лопаті турбіни і передає їм частину своєї енергії, приводячи турбіну в обертання.

Вал і диск з лопатями утворюють ротор турбіни, який поміщається в корпусі. По всій поверхні корпусу встановлюються сопла. Зазвичай турбіни мають кілька дисків, кожен з яких отримує частину енергії пари. Завдяки цьому вал з насадженими дисками здійснює швидке обертання,

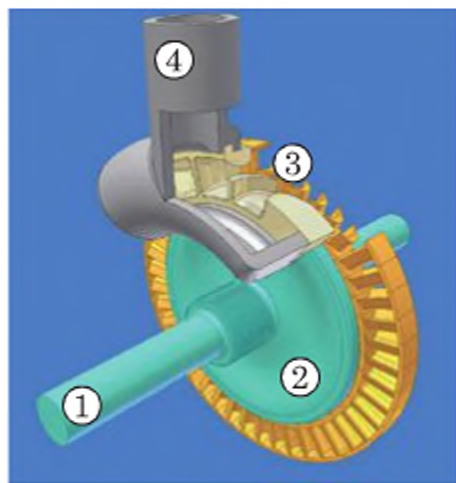


Рис. 40



Рис. 41

яке передається генератору електричного струму (турбогенератору). На рисунку 41 показаний ротор парової турбіни.

**2** Турбіни мають ряд переваг у порівнянні з іншими тепловими двигунами. Вони вигідні й економічні, оскільки використовують як робоче тіло водяну пару, а для її отримання можливе застосування будь-якого, в тому числі і досить дешевого, палива. Крім того, турбіни дозволяють отримувати досить великі потужності, а їхній ККД становить 30 ... 40%.

**3** При роботі теплових двигунів продукти згоряння палива йдуть в атмосферу. Двигунами автомобілів за добу в атмосферу викидається велика кількість шкідливих речовин; концентрація окису вуглецю та оксиду азоту поблизу основних транспортних магістралей перевищує норму в декілька разів. Ця ситуація ускладнюється тим, що в двигунах автомобілів часто використовують неякісне пальне, самі двигуни автомобілів часом є несправними. Зрозуміло, що все це справляє негативний вплив на здоров'я людей, на навколишнє природне середовище.

Викиди продуктів згоряння палива супроводжуються виділенням в атмосферу енергії. Це призводить до зміни теплового балансу Землі. Тепловий баланс передбачає, що енергія, яку отримує поверхня Землі від Сонця, дорівнює енергії, яку Земля втрачає при випромінюванні, випаровуванні, танен-

ні льоду і снігу тощо. Викид енергії в атмосферу порушує існуючий баланс, і результатом цього є зміна клімату. Великий вплив на клімат роблять коливання в атмосфері концентрації вуглекислого газу ( $\text{CO}_2$ ), підвищення якої призводить до парникового ефекту. Парниковий ефект проявляється в тому, що вуглекислий газ затримує енергію випромінювання Землі. Відповідно температура нижнього шару атмосфери підвищується. Передбачається, що до 2030 р. середня температура на Землі підвищиться на  $2,6^\circ\text{C}$ .

Великої шкоди навколишньому середовищу завдають теплові електростанції. При їхній експлуатації відбуваються значні викиди твердих, рідких і газоподібних речовин, що забруднюють атмосферу.

На фізико-хімічний склад атмосфери впливає робота електростанцій, які споживають буре вугілля. Вони викидають в атмосферу сірку, яка випадає на землю у вигляді опадів. Окрім сірчаних опадів, теплові електростанції разом із димом викидають радіоактивний ізотоп вуглецю.

У глобальну проблему перетворилося випадання кислотних опадів, що містять велику кількість двоокису сірки та оксидів азоту. Ці опади знижують урожай, гублять рослинність, знищують життя у водоймах, руйнують будівлі. В результаті, для прикладу, зелений покрив нашої планети щорічно скорочується на 1%.

**4** Розглянуті екологічні проблеми ставлять перед людством завдання розробки таких технологій, створення таких машин і механізмів, використання яких не спричиняло б згубного впливу на навколишнє середовище.

Так, багато автомобілів переводять на використання в двигунах газового палива. Воно має цілий ряд переваг перед бензином. Зокрема, видобуток газу вимагає менших трудових і матеріальних витрат. Його використання збільшує термін служби двигуна, скорочує витрату палива і, найголовніше, суттєво зменшує шкідливий вплив відпрацьованих газів.

Перспективними є двигуни, що працюють на водні. Висока питома теплота згоряння водню робить двигуни більш економічними. При горінні водню утворюється водяна пара, тому відсутні шкідливі викиди. Такі двигуни є екологічно чистими.

Ведеться боротьба і з шкідливими викидами теплових електростанцій. Для їх зниження встановлюють спеціальне обладнання з уловлювання окису сірки, що виходить з димарів. Це дозволяє знизити викиди шкідливих речовин в атмосферу на третину.

Таким чином, науково-технічний прогрес, з одного боку, полегшує працю і життя людини, з іншого — призводить до погіршення екологічної обстановки на планеті. Темпи його в даний час такі, що природа сама відновлюватися і тим самим підтримувати необхідні для всього живого, в тому числі і для людини, умови життя не може. Тому найважливішим завданням людства є охорона навколишнього середовища.



### Заяпитання для самоперевірки

1. З яких частин складається турбіна? Як вона працює?
2. Які перетворення енергії відбуваються при роботі турбіни?
3. Що є нагрівачем, робочим тілом і холодильником турбіни?
4. Які переваги має турбіна в порівнянні з двигуном внутрішнього згорання?
5. У чому причина забруднення навколишнього середовища при роботі теплових двигунів?
6. Що таке парниковий ефект? Як він утворюється і до яких наслідків призводить?
7. Які напрямки вдосконалення автомобільних двигунів?



### Завдання 18

1. Чи змінюється тиск пари при її русі в соплах парової турбіни?
2. Чому температура відпрацьованої пари в турбіні менша від температури пари, що падає на її лопаті?
3. В одній паровій турбіні використовується  $1/6$  енергії, що виділяється при згоранні палива, а в іншій —  $1/4$ . ККД якої турбіни більший? Визначте ККД кожної турбіни.
- 4\*. В одну з парових турбін надходить пара за температури  $250\text{ }^{\circ}\text{C}$ , в іншу — за температури  $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Яка турбіна має більший ККД, якщо температура відпрацьованої пари у них однакова?



## Робота з комп'ютером

Вивчіть матеріал уроку і виконайте запропонований в електронному додатку підсумковий тест для самоперевірки знань за розділом I.



## Навчальний проект №1

Використовуючи набуті знання та отриманий досвід при виконанні лабораторних робіт та завдань, виконайте навчальний проект на одну із запропонованих тем:

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

## Основне у розділі I «Теплові явища»

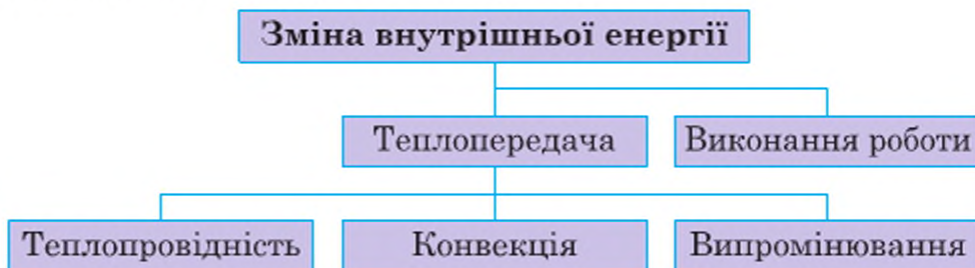
### 1. Основні властивості і будова твердих тіл, рідин та газів.

	Агрегатні стани речовини		
	Твердий	Рідкий	Газоподібний
Об'єм	Зберігають об'єм	Зберігають об'єм	Займають об'єм посудини
Форма	Зберігають форму	Приймають форму посудини	Приймають форму посудини
Рух молекул	Коливальний відносно вузлів кристалічної ґратки	Коливальний, зі зміною положення рівноваги	Поступальний

### 2. Основні величини, які характеризують теплові явища.

Величина	Позначення	Визначення	Одиниця
Температура	$t$	Фізична величина, що характеризує стан теплової рівноваги системи тіл і є мірою середньої кінетичної енергії хаотичного руху частинок речовини.	°C
Внутрішня енергія	$U$	Фізична величина, яка дорівнює сумі кінетичної енергії теплового руху частинок, з яких складається тіло, і потенціальної енергії їх взаємодії.	Дж
Кількість теплоти	$Q$	Фізична величина, значення якої дорівнює зміні внутрішньої енергії тіла в процесі теплообміну без здійснення роботи	Дж

### 3. Способи зміни внутрішньої енергії.



4. Основні величини, що характеризують теплові властивості речовин.

Величина	Позначення	Визначення	Одиниця	Зв'язок з іншими величинами (формула)
Питома теплоємність	$c$	Фізична величина, яка дорівнює кількості теплоти, яку необхідно надати тілу з масою 1 кг для нагрівання його на 1 °С.	$\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}}$	$c = \frac{Q}{t_2 - t_1}$
Питома теплота плавлення	$\lambda$	Фізична величина, яка дорівнює кількості теплоти, необхідної для перетворення 1 кг кристалічної речовини при температурі плавлення в рідину тієї ж температури.	$\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	$\lambda = \frac{Q}{m}$
Питома теплота пароутворення	$L$	Фізична величина, що дорівнює кількості теплоти, яку потрібно надати речовині з масою 1 кг для перетворення її з рідкого стану в газоподібний за температури кипіння.	$\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	$L = \frac{Q}{m}$

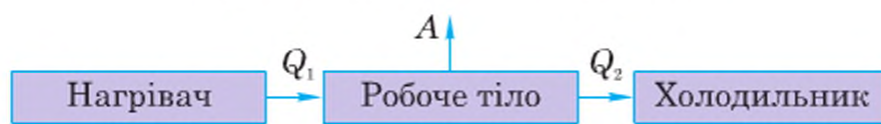
#### 5. Рівняння теплового балансу.

У теплоізолюваній системі тіл при теплообміні кількість теплоти  $Q_1$ , яку віддають всі тіла, що охолоджуються, дорівнює кількості теплоти  $Q_2$ , яку одержують всі тіла, що нагріваються:

$$Q_1 = Q_2.$$

6. Теплові двигуни — це пристрої, які здійснюють механічну роботу за рахунок внутрішньої енергії палива.

Принцип дії теплового двигуна:



7. Величини, що характеризують паливо, теплові двигуни.

Величина	Позначення	Визначення	Одиниця	Зв'язок з іншими величинами (формула)
Питома теплота згоряння палива	$q$	Фізична величина, що показує, яка кількість теплоти виділяється при повному згорянні палива з масою 1 кг	$\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	$q = \frac{Q}{m}$
Коефіцієнт корисної дії теплового двигуна (ККД)	$\eta$	Відношення виконаної двигуном роботи $A$ до кількості теплоти $Q_1$ , отриманої ним від нагрівача	%	$\eta = \frac{A}{Q_1} \cdot 100\%$





## Розділ II

# ЕЛЕКТРИЧНІ ЯВИЩА. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ

Про особливі явища природи, які називають електричними, люди знають уже кілька тисяч років. Однак пояснити більшість із них виявилось зовсім непросто. Тільки до середини XIX ст. з'явилася теорія, яка змогла не тільки пояснити, а й передбачити безліч нових явищ і фактів. З вивчення найпростіших електричних явищ ви починаєте знайомство з цією галуззю фізичного знання.

### §19. Електричні явища. Електричний заряд

✓ Який фізичний зміст поняття «сила»?

**1** Електричні явища, що відбуваються в природі, у повсякденному житті, в техніці, добре вам відомі. Розряд блискавки, сухе волосся, що розлітається і потріскує при розчісуванні пластмасовим гребінцем, вогні міст і селищ і т. д. – все це явища, пов'язані з тим, що прийнято називати словом «електрика». Причини цих явищ дуже різні.

**2** Розглянемо спочатку найпростіші явища. Для цього виконаємо дослід. Візьмемо скляну паличку і потremo нею по аркушу паперу. Паличка набуде властивість притягувати до себе легкі папірці, пушинки, тонкі цівки води. Якщо наблизити таку паличку до руки, то можна почути легке потріскування, а в темряві – навіть побачити іскорки.

Здатність притягувати до себе легкі тіла має не тільки потерта до паперу скляна паличка, а й багато інших речовин. Цікаво, що ще в Стародавній Греції вчені проводили подібні дослід, натираючи шерстю шматочки бурштину. Саме завдяки слову «бурштин» (по-грецьки «бурштин» — електрон) і утворилися слова «електрика», «електричний», «електризація» і т. д.



Шарль Огюстен Кулон (1736–1806) — французський фізик. Досліджував взаємодію електричних зарядів, сформулював основний закон електростатики названий його ім'ям.

**4** Причина різного характеру взаємодії наелектризованих тіл полягає в тому, що в природі існують два види електричних зарядів, що мають протилежні знаки: позитивний (+) та негативний (-). Усі наелектризовані тіла мають певний позитивний або негативний заряд. І значення заряду може бути різним. Отже, електричний заряд — це *фізична величина*, яка може мати позитивне або негативне значення. Заряд позначають літерою  $q$ .

За одиницю електричного заряду прийнято *кулон* (1 Кл). Ця одиниця названа на честь французького фізика Шарля Кулона (1736–1806), який відкрив основний закон взаємодії електрично заряджених тіл.

**5** Приписування заряду позитивного і негативного значення умовне. Просто домовилися вважати, що заряд, набутий склянню паличкою, потертою об папір (або шовк), — **позитивний**, а заряд, отриманий на ебонітовій паличці (або бурштині), потертій об хутро, — **негативний**.

Отже, численні досліди переконали вчених (а експерименти, описані вище, це підтвердили), що тіла, які мають електричні заряди однакового знака (однойменні), взаємно відштовхуються, а тіла, що мають заряди протилежного знака (різнойменні), взаємно притягуються.

Тепер сформулюємо означення електричного заряду.

Електричний заряд — це *фізична величина*, яка є мірою взаємодії (притягання, відштовхування) заряджених частинок.

**6** На явищі відштовхування заряджених тіл базується принцип дії найпростішого приладу, за допомогою якого з'ясовують, чи наелектризоване тіло. Цей прилад називають **електроскопом** (рис. 44). Він складається з металевого стержня, до кінця якого прикріплено дві тонкі паперові смужки. Стержень з паперовими смужками вставляється в металеву

оправу, зашклену з обох сторін. Щоб стержень не торкався оправу, його пропускають через пластмасовий корок.

Якщо зарядженим тілом або паличкою доторкнутися до стержня електроскопа, то паперові смужки відштовхнуться одна від одної. При цьому чим більше наелектризоване тіло, тим на більший кут вони розходяться. Отже, за зміною кута, на який розходяться смужки електроскопа, можна говорити про ступінь наелектризованості тіла.

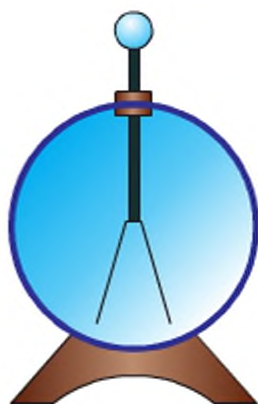


Рис. 44



### Запитання для самоперевірки

1. Які тіла називають наелектризованими (чи зарядженими)?
2. Як взаємодіють скляна паличка, потерта об папір, і заряджена нею кулька? Чи зміниться характер взаємодії між кулькою і паличкою, якщо взяти ебонітову паличку, потерту об хутро?
3. Які два види електричних зарядів існують у природі?
4. Який електричний заряд, за домовленістю, вважають позитивним, а який — негативним?
5. Як взаємодіють тіла, які мають однойменні електричні заряди; різнойменні?
6. Яку взаємодію називають електричною?
7. Який принцип дії електроскопа?



### Завдання 19

1. У шкільному кабінеті фізики є електроскоп більш складної конструкції, ніж той, який був описаний у тексті параграфа. Він називається електрометром. Уважно розгляньте рисунок 45, на якому зображений електрометр, і порівняйте його з електроскопом (див. рис. 44). Що спільного у цих приладів і які відмінності між ними?
2. Виготовте вдома електроскоп. Для цього візьміть скляну банку і довгий металевий цвях (або кусок товстого дроту). За допомогою шовкової нитки прикріпіть на кінці цвяха легкі паперові ли-



Рис. 45

сточки. Пропустіть цвях через пластмасову кришку, як показано на рисунку 46. Проведіть за допомогою такого приладу експеримент. В яких випадках вам вдасться зарядити електроскоп?

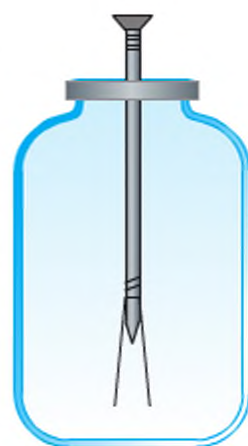


Рис. 46

3. Розгляньте рисунок 47. На ньому зображено струмінь води, до якого піднесена наелектризована паличка. Що відбувається зі струменем води? Чому? Виконайте цей дослід удома. Замість палички візьміть пластмасовий гребінець або ручку. Посудину зробіть з консервної банки, пробивши дірочку біля дна. Можна пустити тонку цівку води з водопровідного крана.
4. Доторкнувшись паличкою до електроскопа, його зарядили (рис. 48). Визначте, який знак заряду на паличці. Пунктиром показано початкове положення листочків електроскопа.

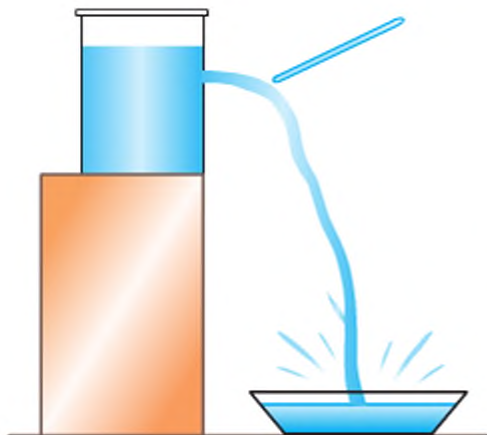


Рис. 47

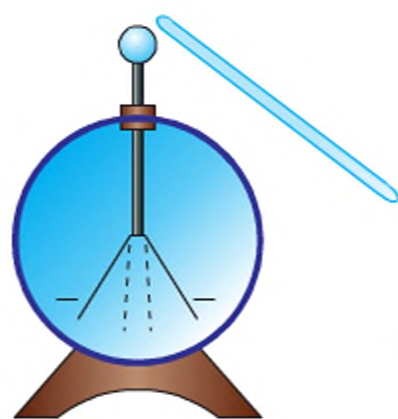


Рис. 48

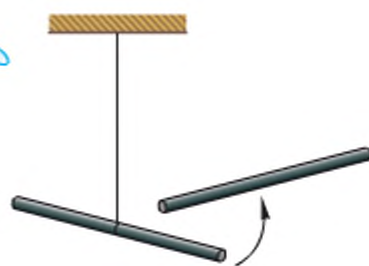


Рис. 49

5. На рисунку 49 зображено дві взаємодіючі наелектризовані палички. Що ви можете сказати про заряди цих паличок? З яких матеріалів вони можуть бути зроблені?
6. Визначте знак заряду кулі *A* в кожному із випадків, зображених на рисунку 50.

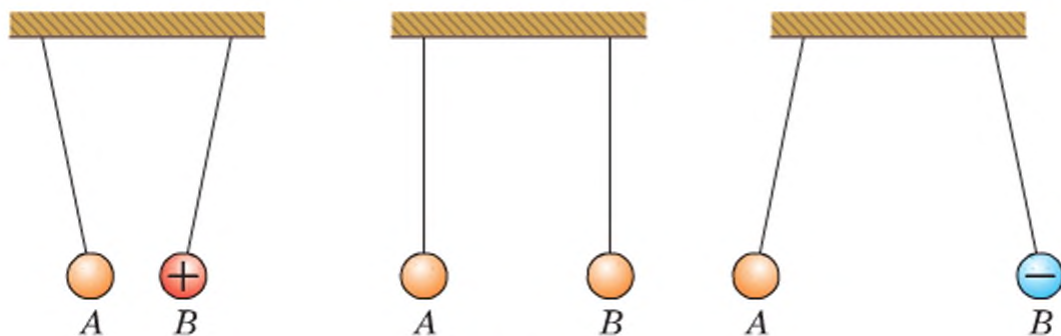


Рис. 50

сточки. Пропустіть цвях через пластмасову кришку, як показано на рисунку 46. Проведіть за допомогою такого приладу експеримент. В яких випадках вам вдасться зарядити електроскоп?

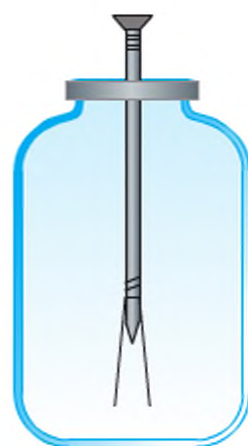


Рис. 46

3. Розгляньте рисунок 47. На ньому зображено струмінь води, до якого піднесена наелектризована паличка. Що відбувається зі струменем води? Чому? Виконайте цей дослід удома. Замість палички візьміть пластмасовий гребінець або ручку. Посудину зробіть з консервної банки, пробивши дірочку біля дна. Можна пустити тонку цівку води з водопровідного крана.
4. Доторкнувшись паличкою до електроскопа, його зарядили (рис. 48). Визначте, який знак заряду на паличці. Пунктиром показано початкове положення листочків електроскопа.

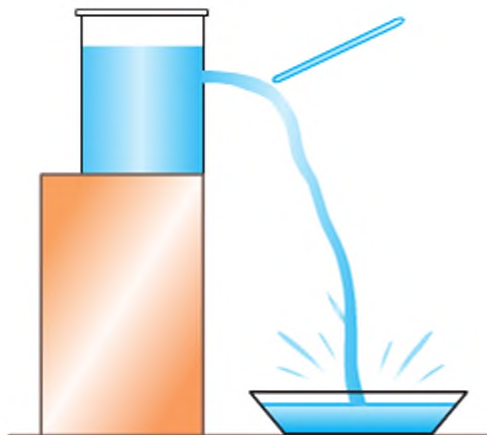


Рис. 47

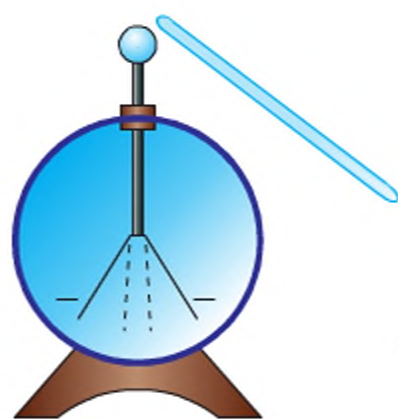


Рис. 48

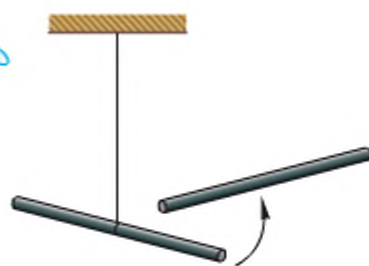


Рис. 49

5. На рисунку 49 зображено дві взаємодіючі наелектризовані палички. Що ви можете сказати про заряди цих паличок? З яких матеріалів вони можуть бути зроблені?
6. Визначте знак заряду кулі *A* в кожному із випадків, зображених на рисунку 50.

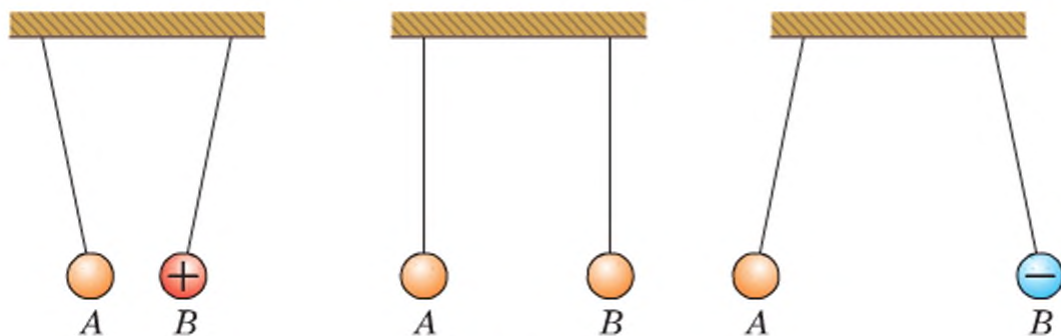


Рис. 50

## §20. Подільність електричного заряду

- ✓ Який принцип дії електроскопа?
- ✓ Як залежить кут, на який розходяться листочки електроскопа, від наданого йому заряду?

**1** Ви вже знаєте, що електричний заряд – це фізична величина, і знаєте одиницю заряду. З'ясуємо, яка природа електричного заряду.

Для цього виконаємо дослід. Заряджений електроскоп 1 з'єднаємо металевою паличкою, закріпленою в пластмасовій ручці, з незарядженим електроскопом 2 (рис. 51). Частина заряду, точніше, половина (оскільки електроскопи однакові), перейде з електроскопа 1 на електроскоп 2. Тепер роз'єднаємо електроскопи і розрядимо другий з них, торкнувшись рукою. Його листочки опадуть, фіксуючи відсутність заряду.

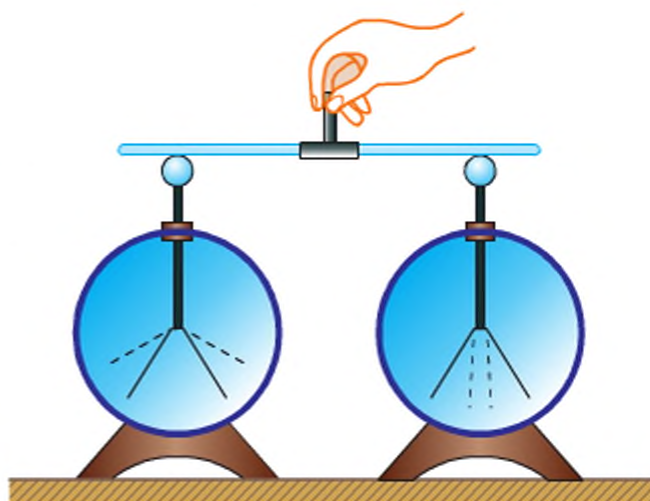


Рис. 51

Потім знову приєднаємо другий електроскоп до першого, на якому залишилася половина початкового заряду. Листочки, які відхилилися, але вже на менший кут, знову показують присутність заряду на обох електроскопах. На кожному з них уже тільки по чверті початкового заряду.

Очевидно, що, продовжуючи такий поділ, можна отримати одну восьму, одну шістнадцяту і т. д. частину початкового заряду.

Цікаво, як довго можна дробити початковий заряд? Чи існує межа такого поділу?

Шкільні електроскопи — не дуже чутливі прилади. Досить скоро заряд на кулі електроскопа настільки зменшиться, що електроскоп перестане його фіксувати і листочки електроскопа не будуть розходитися.

З історії фізики відомо, що вже 100 років тому вчені вміли ділити заряд. Але найважливішим для них було з'ясувати: чи існує в природі найменший заряд, тобто такий, який розділити вже неможливо?

**2** Розмірковуючи про подільність заряду і виконавши ряд дослідів англійський учений **Джозеф Джон Томсон** (1856–1940) в 1897 р. прийшов до висновку: *в природі існує частинка, що має найменший електричний заряд*. Цю частинку назвали електроном. Заряд електрона негативний і дорівнює  $1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл.

Будь-який інший заряд, який має тіло, кратний заряду електрона, тобто він може бути більший за заряд електрона тільки в ціле число разів.

Значення заряду електрона з достатньою точністю визначив американський фізик **Роберт Міллікен** та незалежно від нього російський фізик **А.Ф. Йоффе**.

**3** Ви вже знаєте, що речовини в природі складаються з атомів і молекул. Але і атоми, і молекули у звичайному стані електрично нейтральні. Що ж тоді таке «електрон»? Які його маса і розміри? Де він знаходиться? Які його властивості та особливості?

Вчені всього світу виконали величезну кількість експериментів для того, щоб відповісти на всі ці запитання. З результатами експериментів ви познайомитеся пізніше. Відзначимо лише основні властивості електрона.

Електрон — дуже маленька частинка, набагато менша за атом або молекулу. Маса електрона —  $9,1 \cdot 10^{-31}$  кг — в 3700 разів менша від маси молекули водню, яка є найменшою з усіх молекул. Електрон входить до складу атома речовини. Але він може і вийти з атома, стати вільним і рухатися в речовині (наприклад, в ме-



*Роберт Ендрюс Міллікен* (1868–1953) — американський фізик. Отримав Нобелівську премію з фізики у 1923 році за вимірювання заряду електрона.



*Абрам Йоффе* (1880–1960) — російський та радянський фізик, народився у м. Ромни (Сумська область). Працював над вивченням властивостей напівпровідників та діелектриків. У 1913 р. провів дослідження з вимірювання заряду електрона.

талі), а може навіть за певних умов, наприклад, при нагріванні, вийти з речовини. Так, промінь в електронній трубці, що створює зображення на екрані телевізора або монітора, — це потік електронів, які вирвалися з речовини.

**4** І, нарешті, звертаємо вашу увагу на те, що електричний заряд не існує сам по собі. Частинка може і не мати заряду, але носієм заряду може бути тільки частинка. Заряд без частинки не існує.



### Запитання для самоперевірки

1. Що таке електрон? Який його заряд?
2. Як на досліді показати, що електричний заряд можна розділити?
3. Чи можна електричний заряд ділити нескінченно?
4. Чи можна надати дуже маленькому тілу заряд менший, ніж заряд електрона; заряд більший, ніж заряд електрона, в 1,5 рази?
5. Чи може електричний заряд існувати без електрона або без будь-якої іншої частинки речовини? Відповідь поясніть.



### Завдання 20

1. Як ви поясните, що незаряджена легка кулька з фольги спочатку притягується до наелектризованої палички і торкається її, а потім від неї відштовхується?
2. Як відомо, відокремити частину заряду електрона неможливо. У чому тут причина? Можливо, експериментальні можливості вчених ще недостатні для цього? Відповідь поясніть.
3. Як ви думаєте, чому ми вважаємо, що електрон — це частинка речовини? Можливо, це якась ефемерна істота з блакитним бантиком або фантастичний прибулець з космосу (сподіваємося, що уява підкаже вам більш цікаві варіанти)? Висувайте гіпотези і намагайтеся їх підтвердити або спростувати.
4. Чи може тіло мати заряд  $+4,8 \cdot 10^{-19}$  Кл?  $-8,1 \cdot 10^{-19}$  Кл?  $+3,2 \cdot 10^{-17}$  Кл? Чому?
5. Електричний заряд частинки дорівнює  $-8 \cdot 10^{-13}$  Кл? Якій кількості електронів відповідає цей заряд?



## §21\*. Будова атома

- ✓ Чи має атом заряд?
- ✓ Який заряд електрона?

**1.** Для того, щоб зрозуміти, в чому причина електричних явищ, в тому числі й електризації, необхідно розглянути будову речовини. Ви саме так і робили, вивчаючи теплові явища: спочатку спостерігали їх, а потім пояснювали, використовуючи знання про будову речовини. Однак для пояснення електричних явищ знань про те, що речовина складається з молекул і атомів, недостатньо. Адже атом – частинка нейтральна, а електрон, який входить до складу атома, заряджений негативно. Виникає питання: яку будову має атом, чому він нейтральний, хоча в його склад входить негативно заряджена частинка – електрон?



Ернест Резерфорд (1871–1937) – британський фізик, лауреат Нобелівської премії з хімії. Проводив дослідження з встановлення структури атома.

**2** Великий внесок у вивчення будови атома здійснив англійський фізик *Ернест Резерфорд* (1871 – 1937).

На підставі результатів проведених дослідів Резерфорд зробив висновок про те, що всередині будь-якого атома є позитивно заряджена центральна частина — атомне ядро. Крім того, до складу будь-якого атома входить певне число електронів, які рухаються навколо ядра по орбітах. Запропонована Резерфордом модель будови атома дуже схожа на Сонячну систему: в її центрі знаходиться Сонце, навколо якого обертаються планети. За допомогою подібної моделі, яку названо *планетарною*, можна пояснити лише найпростіші явища. Насправді будова атома набагато складніша.

**3** Оскільки атом — частинка нейтральна, сума всіх негативних зарядів електронів дорівнює позитивному заряду ядра.

Ядро будь-якого атома — теж утворення складне. Воно складається з позитивно заряджених частинок — *протонів* і нейтральних — *нейтронів*. Заряд протона дорівнює за модулем заряду електрона.

Отже, число протонів в атомі дорівнює числу електронів у ньому.

На рисунку 52 представлені моделі атомів гідрогену, гелію і літію. Електрон на рисунку позначається за допомогою значка «-», протон — значком «+», а електрично нейтральний нейтрон не має в центрі ніякого значка.

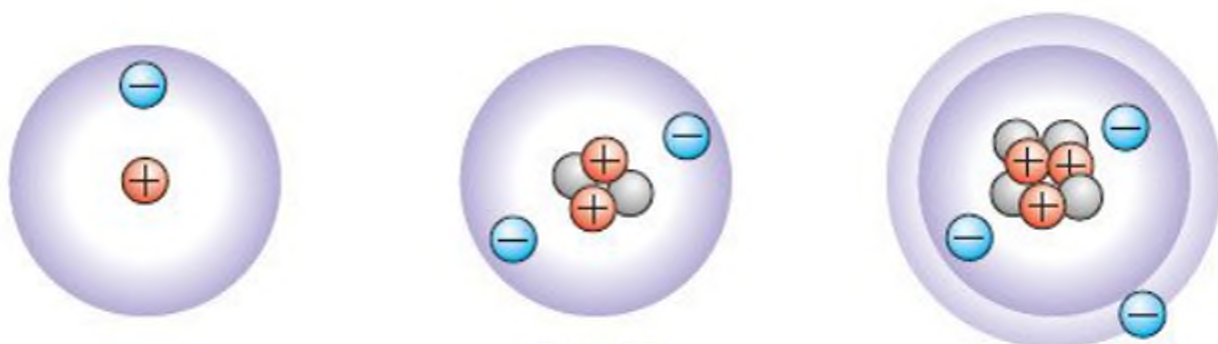


Рис. 52

Кількість протонів і нейтронів, а отже, і електронів у атомів різних речовин різна і може бути досить великою. Так, в атомі оксигену — 8 електронів, а навколо ядра урану рухається 92 електрони.

**4** Основна маса будь-якого атома зосереджена в ядрі, оскільки електрон — дуже легка частинка в порівнянні з протоном і нейтроном (їхні маси майже однакові). Так, маса електрона в 1840 разів менша за масу протона.

**5** Якщо будь-яким способом видалити з атома (рис. 53, а) один або кілька електронів (рис. 53, б), то у атома виявиться надлишок позитивного заряду. Отриману частинку називають позитивним іоном. Якщо

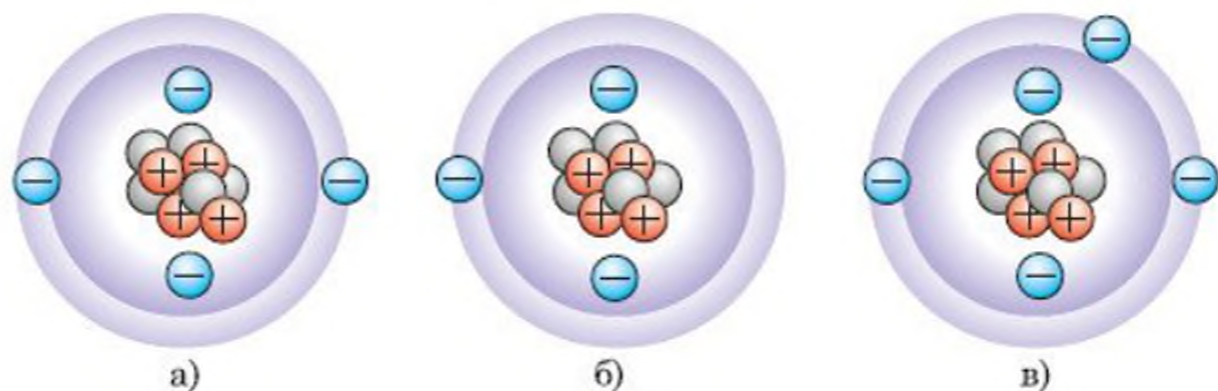


Рис. 53

атом приєднає надлишкові електрони (рис. 53, в), то вийде **негативний іон**. Пам'ятайте, що рисунки показують лише моделі реальних атомів і іонів.



### Запитання для самоперевірки

1. Яка будова атома?
2. Які частинки входять до складу ядра атома?
3. Порівняйте три частинки: електрон, протон і нейтрон. Що у них спільного, чим вони відрізняються?
4. Використовуючи рисунок 52, розкажіть, яка будова атомів гідрогену, гелію і літію.
5. Як утворюються позитивні і негативні іони?
6. Як ви думаєте, чому, зображуючи на рисунку будову атомів (або іонів), говорять про те, що це лише моделі, а не реальні частинки?



### Завдання 21

1. В ядрі атома нітрогену міститься 14 частинок, 7 з них – нейтрони. Скільки протонів і електронів в атомі нітрогену?
2. Чим відрізняються один від одного ядра різних хімічних елементів? Виберіть правильну відповідь.
  - 1) Кількістю електронів.
  - 2) Кількістю протонів в ядрі.
  - 3) Кількістю нейтронів в ядрі.
  - 4) Кількістю нейтронів і протонів.
3. Як ви думаєте, чи можна було назвати заряд електрона позитивним, а заряд протона – негативним? Свою відповідь поясніть.
4. Якщо тілу, зарядженому позитивно, надати такий самий за модулем негативний заряд, то тіло виявиться електрично нейтральним. Чи можемо ми стверджувати, що заряди в цьому тілі зникли? Відповідь обґрунтуйте.
5. Атом хлору приєднав один електрон. Як називають отриману частинку? Який її заряд?



## Робота з комп'ютером

Вивчіть матеріал уроку і виконайте запропоновані в електронному додатку завдання.

### §22. Електризація тіл. Закон збереження заряду

- ✓ Як можна визначити, що тіло наелектризоване?
- ✓ Як взаємодіють однойменно заряджені тіла; різнойменно заряджені тіла?

**1** Ви вже знаєте, що тіла є зарядженими або наелектризованими, якщо в результаті тертя вони набули властивість притягувати легкі предмети. Явище, коли тіла отримують електричні заряди, називають **електризацією**. З'ясуємо причину цього явища.

Зарядити тіло можна не тільки тертям, а й іншими способами. Так, легка кулька з фольги заряджається від дотику до неї іншого зарядженого тіла. Наведемо ще один приклад. Якщо поставити на скляну пластинку чавунну гирю і «побити» її кілька разів шматочком хутра, то з'єднаний з гирею електроскоп зафіксує наявність на ній заряду (рис. 54, а).

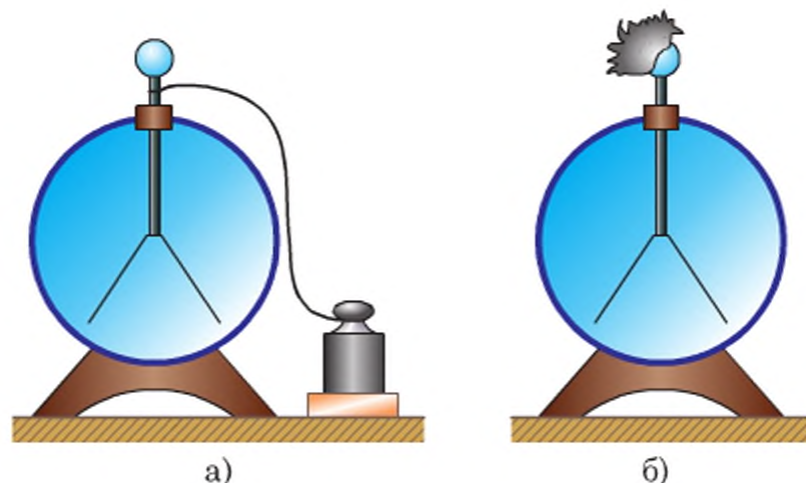


Рис. 54

Зарядженим виявиться і шматочок хутра, що можна встановити, доторкнувшись ним до іншого електроскопа (рис. 54, б).

**2** Нагадаємо, що при терті скляної палички об шовк паличка отримує позитивний заряд. Як це може статися? Адже до початку досліду і паличка, і шматочок шовку були нейтральні, в чому легко переконатися за допомогою електроскопа. Можна висунути гіпотезу: в результаті тертя негативний заряд переходить зі скляної палички на шовк, паличка стає позитивно зарядженою, а шматочок шовку – негативно зарядженим.

**3** Щоб підтвердити або спростувати будь-яку гіпотезу, її треба перевірити за допомогою експерименту. Проведемо дослід. До підвішеної на нитці скляної палички піднесемо шматочок шовку, по якому її попередньо потерли. Паличка до нього притягнеться (рис. 55, а). Це підтверджує припущення про те, що паличка і шовк отримують заряди протилежного знака. Оскільки скляна паличка заряджена позитивно, то можна зробити висновок, що шовк заряджений негативно. Будемо вважати, що одного експерименту недостатньо, він може дати випадковий результат. Проведемо інший дослід: до негативно зарядженої ебонітової палички піднесемо той самий шматочок шовку. Паличка від нього відштовхнеться (рис. 55, б). Можна зробити той самий висновок: шовк заряджений негативно.

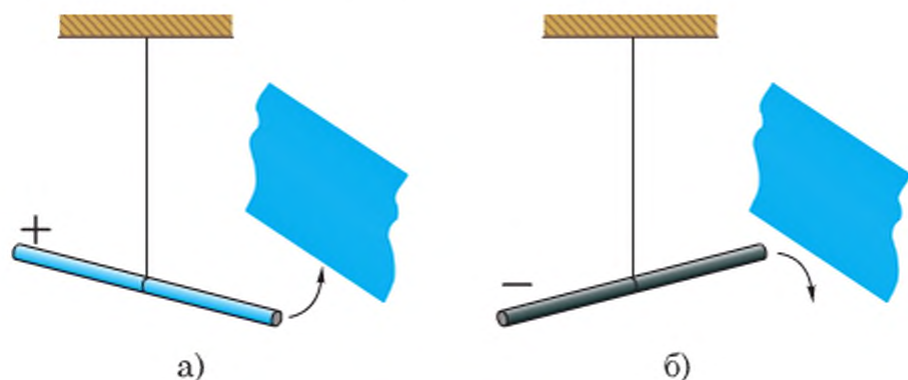


Рис. 55

Таким чином, в результаті електризації, в якій обов'язково беруть участь два тіла, відбувається перерозподіл зарядів. При цьому електризуються обидва тіла, набуваючи заряди протилежних знаків.

**4** Для того, щоб пояснити, чому при електризації тіло стає зарядженим, виконаємо дослід. Використовуємо для цього електрометр, на який зверху надіто порожнисту металеву кулю. Наелектризуємо тертям одна до одної дві пластинки — ебонітову і плексигласову. Помістимо спочатку одну з них усередину порожнистої кулі електрометра і переконаємося, що він зарядився (рис. 56, а). Потім помістимо усередину кулі другу пластинку. Результат буде таким самим: стрілка електрометра відхилиться на такий самий кут. Це переконує нас у тому, що внаслідок тертя одна до одної зарядилися обидві пластинки. Тепер помістимо всередину кулі одночасно обидві заряджені пластинки (рис. 56, б). Електрометр в цьому випадку не виявляє заряду — стрілка його не відхиляється.

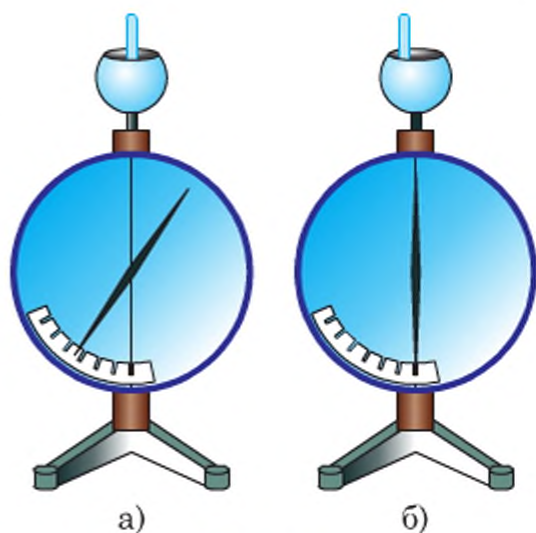


Рис. 56

Даний дослід дозволяє ще раз переконатися не тільки в тому, що при електризації тіла набувають заряди протилежних знаків, а й в тому, що ці заряди рівні за модулем. Саме тому стрілка електрометра при внесенні всередину кулі двох пластин, які торкалися одна до одної, залишається на нулі (див. рис. 56, б). Інакше кажучи, алгебраїчна сума зарядів обох пластинок до і після електризації дорівнює нулю.

**5\*** Знаючи будову атома, можна пояснити, що відбувається при електризації тіл. Атом може втратити один або декілька електронів. Відокремившись від одного атома, ці електрони можуть приєднатися до іншого. Цим і пояснюється, що на одному тілі може утворитися надлишок електронів, а на іншому — нестача; в першому випадку тіло стає негативно зарядженим, у другому — позитивно.

**6** Розглянемо ще один спосіб електризації тіл, що відрізняється від електризації тертям або дотиком.

Проведемо дослід. Піднесемо позитивно заряджену скляну паличку до незарядженої кульки із фольги, але доторкатися до неї не будемо. Кулька, як це не дивно, відхилиться від свого початкового положення і притягнеться до палички (рис. 57, а). Ще більш дивно, що ця незаряджена кулька притягнеться до палички і в тому випадку, якщо до неї піднести (не доторкаючи) негативно заряджену ебонітову паличку (рис. 57, б). Якщо наелектризовані палички забрати, то кулька повернеться у своє початкове положення. За допомогою електromетра можна перекопати, що кулька під час дослідів залишалася незарядженою.

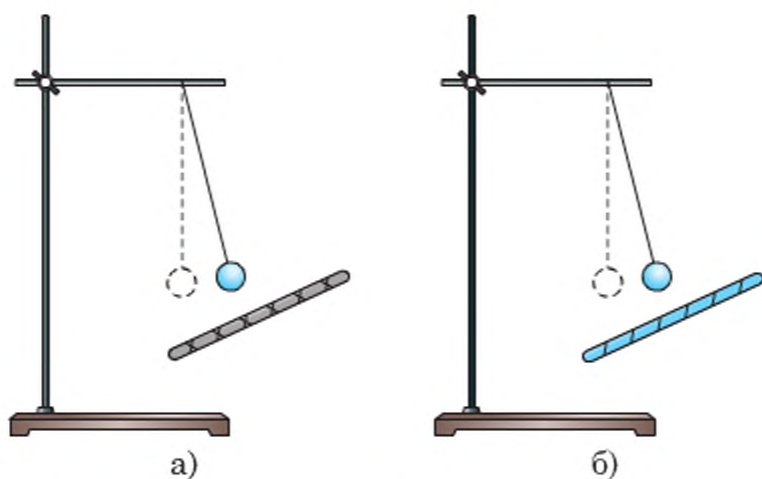


Рис. 57

Щоб пояснити цей факт, досить пригадати, що негативно заряджені електрони можуть вільно переміщатися по металевому провіднику. Оскільки електрони мають негативний заряд, то вони притягуються до позитивно зарядженої палички і тому їх стає надлишок на ближній від палички частині кульки. На дільній від палички частині кульки буде їх нестача.

Описаний спосіб електризації тіл називають **електризацією через вплив** або *електростатичною індукцією*. А такі заряди часто називають *індукованими*.

**7** Під час експерименту (див. рис. 52) ні позитивні, ні негативні заряди не утворювалися при терті. Вони існували в кожній із пластинок уже до дослідів. При цьому позитивний заряд кожної з пластинок дорівнює-

вав її негативному заряду. Тому пластинки спочатку були електрично нейтральні.

В результаті тертя електрони перейшли з плексигласової пластинки на ебонітову. Плексигласова пластинка виявилася зарядженою позитивно (через нестачу електронів), а ебонітова – негативно (через їх надлишок).

Таким чином, при електризації заряди не утворюються, а тільки перерозподіляються.

Слід, однак, відразу ж зробити одне дуже важливе уточнення: алгебраїчна сума зарядів зберігається тільки в **замкнутій системі**. Замкнута система являє собою сукупність тіл, ізольованих від інших об'єктів. Так, у розглянутих дослідах з електризації – це два тіла: скляна паличка і шматок шовку; ебонітова паличка і шматок хутра; плексигласова і ебонітова пластинки.

Тепер можна сформулювати **закон збереження електричного заряду**.

**Алгебраїчна сума електричних зарядів тіл у замкнутій системі залишається сталою:**

$$q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n = \text{const.}$$

Це один з найважливіших законів природи (його називають *фундаментальним*).

Закон збереження електричного заряду має дуже глибокий фізичний зміст. Якщо кількість зарядів не змінюється, то виконання цього закону очевидне. Однак у старших класах ви дізнаєтеся, що частинки можуть народжуватися і зникати, утворюючи нові заряджені частинки, можуть взаємно перетворюватися. Але найголовніше, у всіх цих складних процесах закон збереження електричного заряду завжди виконується!



### Запитання для самоперевірки

1. Що таке електризація тіл?
2. Чому при терті двох тіл одне до одного заряджаються обидва тіла?



3. Поясніть, чому електрометр, зображений на рисунку 56, а), розрядився (див. рис. 56, б).
4. Чи рівні модулі зарядів наелектризованих пар тіл? Чому в звичайному стані тіла електрично нейтральні?
5. Сформулюйте закон збереження електричного заряду. Наведіть приклади, що підтверджують цей закон.
- 6\*. Чи можна зарядити тіло, не доторкаючись до нього іншим зарядженим тілом?
7. Чи завжди справедливий закон збереження електричного заряду?
8. Учень дав наступне формулювання закону збереження електричного заряду: «Сума зарядів усіх частинок залишається незмінною». Як ви думаєте, чи є це формулювання правильним?



## Завдання 22

1. Електризація тіл відбувається і в природі, і в побуті. Поясніть наступні приклади. Після посадки літака до нього не можна відразу ж приставляти металевий трап. Тому в деяких випадках спочатку опускають на землю металевий трос, з'єднаний з корпусом літака, і вже потім підганяють трап. Чому? Чому при розчісуванні волосся пластмасовим гребінцем чисте волосся прилипає до нього?
2. Виріжте дві однакові смужки: одну – з паперу, іншу – з поліетиленової плівки. Складіть їх разом, покладіть на стіл і міцно притисніть рукою. Потім розведіть смужки і спробуйте знову наблизити їх одну до одної. Що ви спостерігаєте? Поясніть це явище.
3. Надуйте дитячу гумову кульку. Потріть її об вовну, хутро або, найкраще, по власному волоссю. Куля почне прилипати до вашого тіла, до стіни і т. д. Поясніть явище, що спостерігається.
4. Чому ворсинки і пил прилипають до одягу при чищенні його щіткою?
- 5\*. Розгляньте уважно рисунок 58. Чистим сухим піском заповнюють скляну воронку, в яку вставлено металевий стержень, з'єднаний з одним з електрометрів. Проходячи через воронку, пісок падає в металевий стакан, з'єднаний з іншим електрометром. Стрілки обох електрометрів фіксують наявність електричного заряду, рівного за модулем. Поясніть явище, що спостерігається.

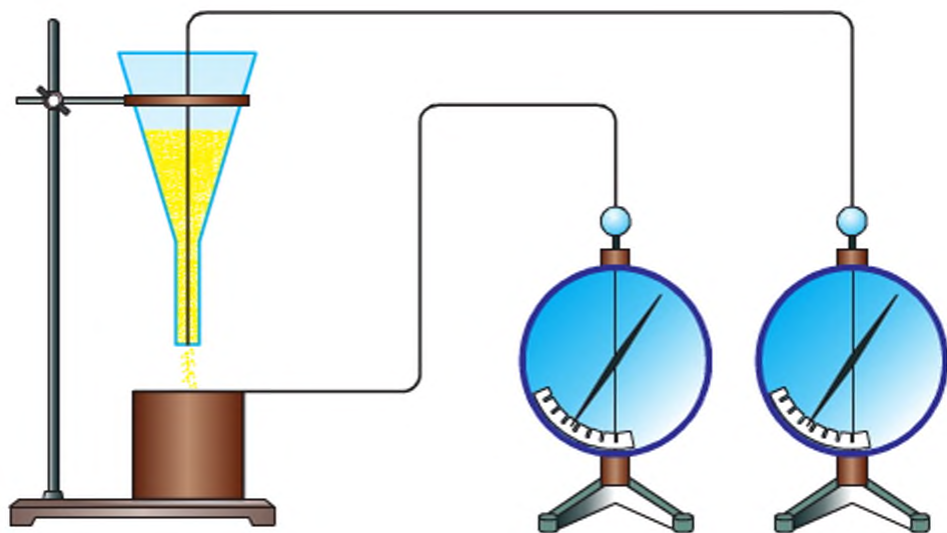


Рис. 58

6. При електризації тертям пластинок з ебоніту і плексигласу одна до одної на плексигласовій пластинці виявився заряд  $10^{-9}$  Кл. Який заряд буде на ебонітовій пластинці?

## §23. Закон Кулона

- ✓ Чи залежить сила взаємодії наелектризованих тіл від заряду, який їм надали?
- ✓ Пригадайте закон всесвітнього тяжіння.

**1** Електричні заряди взаємодіють один з одним, і сила їхньої взаємодії може бути різною.

Кількісне вивчення електричних явищ, які дуже давно відомі людству, почалося лише в кінці XVIII століття. Кулон в 1785 р. встановив на досліді закон взаємодії електричних зарядів і вивів формулу, за якою може бути розрахована електрична сила.

**2** Закон Кулона був установлений експериментально за допомогою спеціального приладу — *крутильних терезів* (рис. 59).

Розглянемо, як влаштовані і діють крутильні терези.

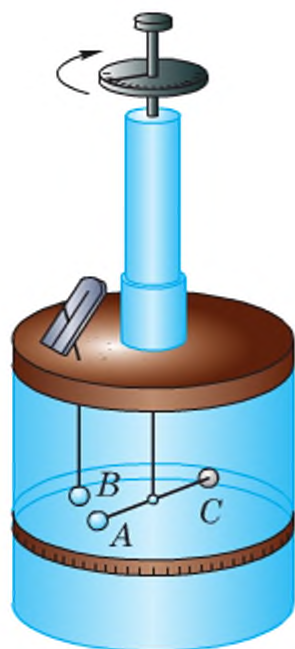


Рис. 59

Усередині скляного циліндра на тонкому міцному дроті підвішене легке скляне коромисло. На одному кінці коромисла закріплено маленьку металеву кульку  $A$ , а на іншому — протियाгу  $C$ . За допомогою ще одної металеві кульки  $B$ , насадженої на ізолюючий стержень, можна заряджати кульку  $A$ .

Якщо зарядженою кулькою  $B$  доторкнутися до кульки  $A$ , заряд розділиться між ними і кульки відштовхнуться одна від одної. При цьому скляне коромисло повернеться і закрутить дротину. За кутом закручування дротини можна визначити силу взаємодії зарядів.

Провівши велику кількість дослідів, Кулон прийшов до висновку, що сила взаємодії наелектризованих кульок обернено пропорційна квадрату відстані між ними

$$\left( F \sim \frac{1}{r^2} \right).$$

За допомогою ще однієї кульки, точно такої самої, як і кулька  $B$ , можна змінювати заряди взаємодіючих куль  $A$  і  $B$ . Справді, якщо до наелектризованої раніше кульки  $B$  доторкнутися точно такою самою незарядженою кулькою, то заряди розділяться порівну. В результаті заряд на кульці  $B$  стане вдвічі меншим. Подібний розподіл можна продовжити і зменшувати заряд на кульці  $B$  в 4, 8 і т. д. разів. Змінюючи заряди кульок, Кулон установив, що сила їхньої взаємодії прямо пропорційна добутку зарядів ( $F \sim q_1 q_2$ ).

**3** Однак, перш ніж сформулювати закон Кулона, необхідно ввести кілька припущень, за умови виконання яких закон стає справедливим.

По-перше, мова в законі йде про так звані **точкові заряди**. Точковим зарядом називають заряджене тіло, розміри якого в багато разів менші від відстані від цього тіла до іншого зарядженого тіла (або точкового заряду), взаємодія з яким досліджується.

По-друге, закону Кулона підпорядковується взаємодія тільки зарядів, що перебувають у стані спокою.

**4** Закон взаємодії електричних зарядів, або закон Кулона, говорить: сила взаємодії двох точкових нерухомих зарядів у вакуумі прямо пропорційна добутку модулів зарядів і обернено пропорційна квадрату відстані між ними:

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

де  $q_1$  і  $q_2$  — модулі зарядів,  $r$  — відстань між точковими зарядами,  $k$  — це коефіцієнт пропорційності, який чисельно рівний силі, з якою взаємодіють два точкових заряди по 1 Кл кожний, розташовані у вакуумі на відстані 1 м один від одного. В системі СІ  $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$ .

Слід також урахувати, що сили взаємодії двох точкових зарядів спрямовані вздовж прямої, що з'єднує їх (рис. 60). Закон Кулона справджується на будь-яких відстанях: від атомних до космічних.

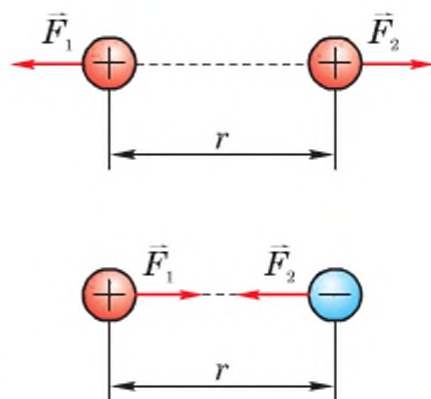


Рис. 60

**5\*** Якщо заряди перебувають в якому-небудь середовищі, то сила взаємодії між зарядами буде меншою ніж у вакуумі. Формула закону Кулона буде мати вигляд:

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

де  $\epsilon$  — діелектрична проникність середовища. Для вакууму вона дорівнює 1, для інших речовин дані наведено в таблиці 10.

Таблиця 10

#### Діелектрична проникність деяких речовин

Речовина	$\epsilon$	Речовина	$\epsilon$
Вакуум	1	Віск	5,8
Повітря (за тиску 0,1 МПа)	1,0006	Гас	2
Вода	88	Гліцерин	39
Бензин	2,3	Гума	7
Анілін	84	Папір	3
		Слюда	6 – 9

Коефіцієнт  $k$  можна визначити через іншу константу:

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0},$$

де  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}$  — електрична стала.

**6\*** Закон Кулона, що характеризує електричну взаємодію, за формою запису подібний на закон всесвітнього тяжіння Ньютона, який визначає силу гравітаційної взаємодії:

$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}.$$

В обох випадках сила взаємодії обернено пропорційна квадрату відстані між тілами. Ця сила пропорційна величинам, що характеризують ті властивості тіл, які визначають взаємодію, — мас в одному випадку і зарядів — у іншому. Крім того, ученими для вимірювання і електричних, і гравітаційних сил використовувався один і той самий принцип — за закручуванням нитки.

Але між ними існує і важлива відмінність. Сила всесвітнього тяжіння — це завжди сила тяжіння. Кулонівська ж сила взаємодії зарядів може бути і силою притягання (між різнойменними зарядами), і силою відштовхування (між однойменними зарядами).

Проте аналогічність цих найважливіших, як кажуть, фундаментальних законів природи не обмежується тільки їхньою зовнішньою подібністю. Аналогічні основні особливості цих законів і наслідки, що випливають з них. Така подібність законів природи — одна з багатьох загадок, які ще доведеться вирішувати вченим.

**7** Таким чином, починаючи з кінця XVIII ст. вчення про електрику, а точніше — *електростатику* (так називається розділ фізики, в якому вивчається взаємодія зарядів, що перебувають у спокої), стало перетворюватися в кількісну науку, де можна вимірювати, розраховувати, пояснювати і будувати припущення.

## 8 Приклад розв'язування задачі.

Дві невеликі кульки, розташовані на відстані 10 см одна від одної у вакуумі, мають рівні негативні заряди і взаємодіють між собою із силою  $2,3 \cdot 10^{-4}$  Н. Скільки надлишкових електронів  $e$  на кожній кульці?

Дано:	СИ
$r = 18$ см	0,18 м
$F = 1,6 \cdot 10^{-2}$ Н	
$r = 0,5$ м	
$k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$	
$e = -1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл	
$N - ?$	

Розв'язання.

Заряджені кульки будемо вважати точковими зарядами.

Оскільки будь-який заряд кратний елементарному, то кількість надлишкових електронів на кожній кульці:

$$N = \frac{|q|}{|e|}.$$

Заряд кожної кульки визначимо за допомогою закону Кулона, врахувавши, що заряди кульок однакові:

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

Звідси:

$$q = \sqrt{\frac{Fr^2}{k}} = \sqrt{\frac{F}{k}} r.$$

Отримаємо:

$$N = \sqrt{\frac{F}{k}} \cdot \frac{r}{|e|}.$$

Перевіримо одиниці шуканої величини:

$$[N] = \sqrt{\frac{\text{Н}}{\frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}}} \cdot \frac{\text{м}}{\frac{\text{Кл}}{\text{м}}} = \frac{\text{Кл}}{\text{м}} \cdot \frac{\text{м}}{\text{Кл}} = 1.$$

Знайдемо числове значення шуканої величини:

$$[N] = \sqrt{\frac{1,6 \cdot 10^{-2}}{9 \cdot 10^9}} \cdot \frac{0,18}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 1,5 \cdot 10^{12}.$$

Відповідь.  $N = 1,5 \cdot 10^{12}$ .



## Запитання для самоперевірки

1. Який заряд називають точковим?
2. Сформулюйте закон Кулона. Запишіть формулу цього закону.
3. Чи завжди справедливий закон Кулона?
4. Поясніть суть дослідів Кулона з крутильними терезами.
- 5\*. Формулі якого іншого відомого вам фізичного закону аналогічна формула закону Кулона?



## Завдання 23

1. На якій відстані один від одного у вакуумі перебувають два заряди 1 мкКл і 10 нКл, якщо вони взаємодіють з силою 9 мН?
2. У скільки разів потрібно збільшити відстань між зарядами при збільшенні одного з них у 9 разів, щоб сила взаємодії між ними не змінилася?
3. Яка сила кулонівської взаємодії між ядром і електроном в атомі водню, якщо відстань між ними наближено дорівнює  $10^{-10}$  м, а модулі їхніх зарядів однакові?
- 4\*. Яка сила діє на заряд, розміщений посередині між двома іншими однаковими точковими зарядами?

## §24. Електричне поле. Силкові лінії електричного поля

- ✓ Яку взаємодію називають електричною?
- ✓ Що характеризує фізична величина «енергія»?

**1** Ви спостерігали і самі виконали вже досить багато дослідів, які свідчать про те, що заряджені тіла взаємодіють одне з одним. Вони притягуються або відштовхуються, внаслідок цього змінюють своє положення, траєкторію руху. Проте причини виникнення подібної взаємодії зарядів довго залишалися незрозумілими.

Учені XIX ст. висували дві гіпотези для пояснення взаємодії зарядів:

- 1) *заряди взаємодіють через порожнечу і миттєво;*

2) заряди взаємодіють через посередника — поле, яке породжують самі заряджені тіла, і не миттєво.

Відповісти на питання про те, яка з гіпотез правильна, було дуже не просто, пошуком відповіді займалися вчені багатьох країн протягом багатьох десятиліть. І тільки в кінці ХІХ ст. було встановлено, що перша із запропонованих гіпотез неправильна.

**2** З'ясуємо, чи не передається взаємодія електричних зарядів через повітря. Інакше кажучи, чи не є повітря тим посередником, через який здійснюється взаємодія зарядів? Для цього помістимо заряджений електроскоп під ковпак повітряного насоса (рис. 61). Відкачаємо з-під нього повітря. Дослід показує, що і в безповітряному просторі листочки електроскопа, як і раніше, відштовхуються один від одного.

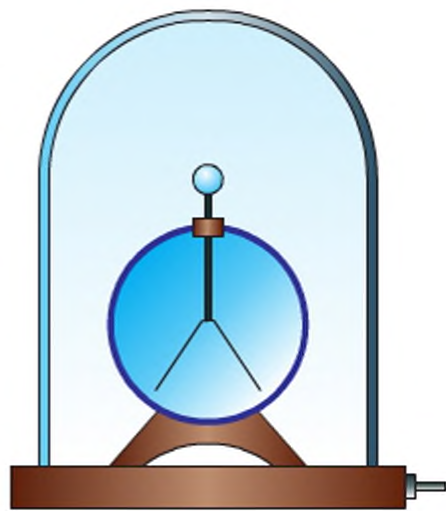


Рис. 61

Отже, електрична взаємодія передається не через повітря. Проте, виходячи з цього досліду, не можна відповісти на запитання: електричні заряди діють один на одного через порожнечу чи між ними все ж існує якийсь матеріальний посередник, хоч ми його і не бачимо?

**3** Прихильники другої гіпотези — англійські вчені *Майкл Фарадей* (1791 – 1867) і *Джеймс Максвелл* (1831–1879) стверджували, що простір, що оточує заряджене тіло, відрізняється від звичайного простору, в якому знаходяться незаряджені тіла. У просторі, де є електричний заряд, існує **електричне поле**. Саме за допомогою електричного поля одне заряджене тіло діє на інше.

**4** Найбільш суттєва особливість електричного поля — його матеріальність, тобто електричне поле — вид матерії. До цього часу вам був знайомий лише один вид матерії — речовина. У тому, що речовина реальна, що вона існує незалежно від нас, переконатися неважко: вона так



чи інакше діє на органи чуття. Для спостереження за будь-яким об'єктом речовини використовуються зір, слух, дотик і т. ін.; саме вони дають нам інформацію про об'єкт або явище, що спостерігаються, і переконують в їхньому існуванні.

Електричне поле відрізняється від речовини насамперед тим, що його не можна безпосередньо сприймати за допомогою органів чуття. В існуванні електричного поля можна переконатися тільки за його діями.

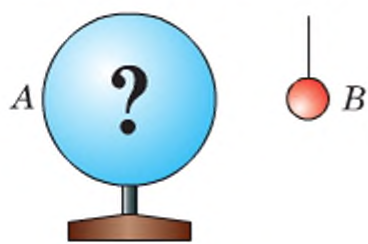


Рис. 62

Уявіть собі, що ви не знаєте, існує електричне поле біля металеві кулі *A* чи його немає (рис. 62). Заряджена куля чи ні, ви теж не знаєте. Чи можна це як-небудь з'ясувати? Можна, і ви навіть знаєте як: якщо маленька незаряджена кулька з металеві фольги *B* ніяк не реагує на велику, — поля немає.

Якщо ж вона притягнеться, отже, куля *A* заряджена і за допомогою електричного поля діє на кульку *B*. Отже, навколо кожного зарядженого тіла існує електричне поле. Якщо в поле зарядженого тіла помістити інше заряджене тіло, ці тіла почнуть взаємодіяти — притягатися або відштовхуватися одне від одного. При цьому сила їхньої взаємодії буде залежати від відстані між зарядженими тілами. *Чим ближче один до одного розташовані заряди, тим сильніше вони будуть притягатися або відштовхуватися, тобто тим сильнішою буде їхня взаємодія.*

**5** Ви вже знаєте, що електрична взаємодія передається завдяки електричному полю. Електричне поле матеріальне, тобто реально існує біля всіх заряджених тіл, однак побачити його неможливо. Це створює певні незручності для його вивчення. Тому вченими була запропонована модель, яка характеризує електричне поле та силу, з якою поле діє на деякий заряд.

Проведемо дослід. Скористаємося тим, що сухе чисте волосся, як і хутро, легко електризуються. Дрібно пострижемо волосся і насипимо його рівним шаром на скло. Помістимо скло над наелектризованою кулею. Дрібні шматочки волосся злегка переорієнтуються, і можна побачити картину, подібну до тієї, що зображена на рисунку 63.

Якщо повторити дослід, але взяти не одне наелектризоване тіло, а два і зарядити їх спочатку різнойменними, а потім однойменними зарядами, то волосся розташується так, як показано на рисунку 64.

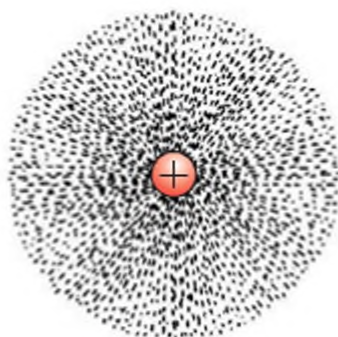
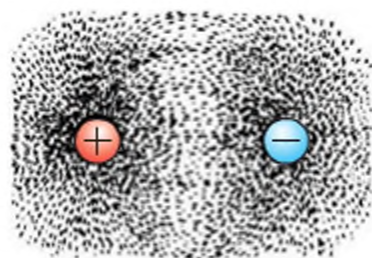
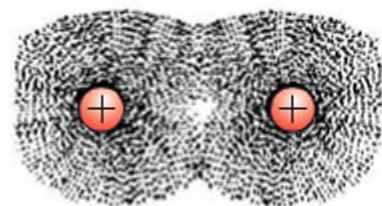


Рис. 63



а)



б)

Рис. 64

**6** Лінії, уздовж яких розташовуються волосинки, називають **силовими лініями електричного поля**.

Силкові лінії електричного поля — це певна модель, що характеризує електричне поле і дозволяє уявити собі його наочно. Насправді силових ліній не існує, як не існує, наприклад, паралелей і меридіанів на земній кулі.

Лінії напруженості електричного поля неперервні і ніколи не перетинаються. Якщо в будь-яку точку електричного поля помістити невеликий позитивний заряд, то *дотична, проведена в цій точці до силових ліній, збігається з напрямком сили, з якою електричне поле діє на даний заряд у даній точці*.

Прийнято вважати, що силкові лінії електричного поля починаються на позитивних зарядах, а закінчуються — на негативних (для одиночних зарядів силкові лінії йдуть у нескінченність).

Силкові лінії поля, створеного позитивним зарядом, виглядають так, як показано на рисунку 65, а), а негативним — на рисунку 65, б). Силкові лінії в першому випадку спрямовані від заряду, а в другому — в бік негативного заряду.

На рисунку 66 зображені силкові лінії різних електричних полів: двох різнойменно заряджених кульок (рис. 66, а); двох однойменно заряджених кульок (рис. 66, б); двох пластин, заряди яких протилежні за знаком і рівні за модулем (рис. 66, в)

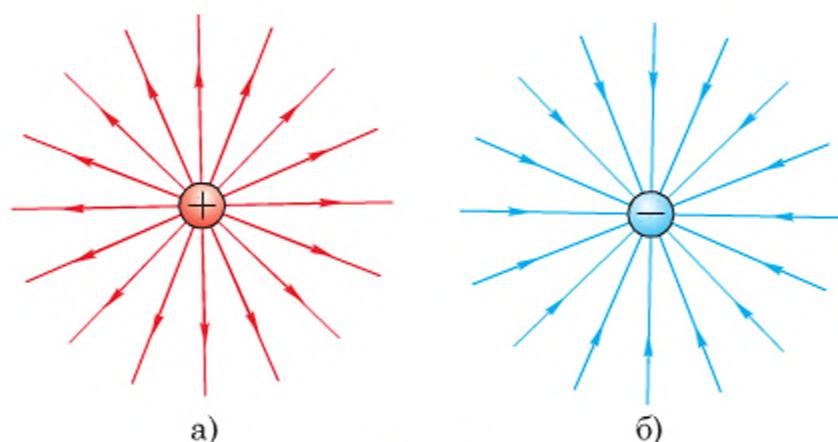


Рис. 65

За густиною силових ліній можна судити про величину електричного поля: *чим густіші лінії, тим сильніше поле*, тобто тим з більшою силою воно діє на позитивний заряд, який міг би виявитися в цьому полі. Зверніть увагу на рисунок 66, в): силові лінії паралельні одна одній, це означає, що поле у всіх точках простору між пластинами однакове. Подібного роду електричне поле називають *однорідним*.

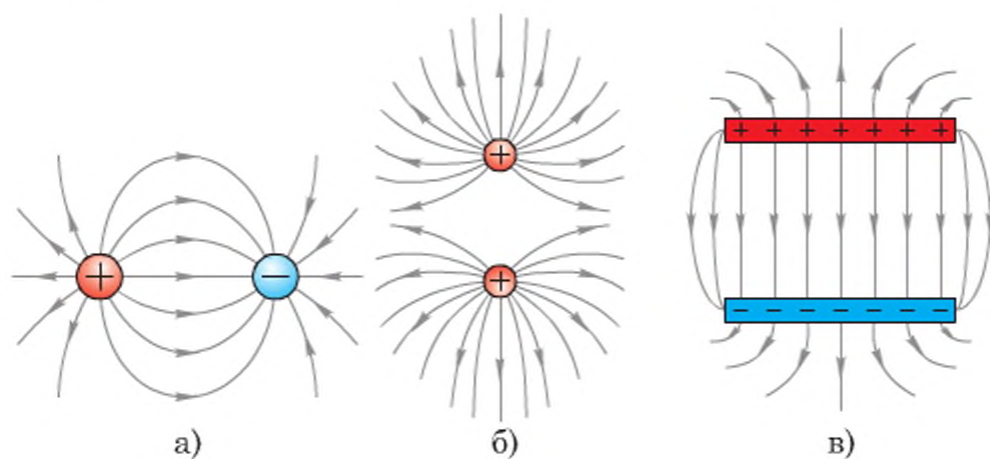


Рис. 66



## Запитання для самоперевірки

1. Які гіпотези висувалися для пояснення взаємодії зарядів?
2. Які висновки можна зробити з досліду, установка для проведення якого зображена на рисунку 61?
3. Як ви можете пояснити, що таке електричне поле?
4. Як можна виявити електричне поле? Наведіть приклад.
5. Що таке силові лінії електричного поля?
6. Для чого вводяться силові лінії електричного поля?
7. Як взаємопов'язані напрямки силових ліній і сил, що діють на позитивний заряд у різних точках електричного поля?
8. Про що можна судити за густотою силових ліній електричного поля?
9. Яке електричне поле називають однорідним?
10. Чи існують у природі силові лінії?



## Завдання 24

1. Легка незаряджена металева порошок  $A$  знаходиться в електричному полі зарядженої кулі  $B$  (рис. 67). Визначте напрям сили, що діє на порошок з боку поля, яке створене зарядженою кулею.
2. Куди почне рухатися маленьке позитивно заряджене тіло, яке опинилося в полі позитивно зарядженої кулі (рис. 68)?
3. Два заряди, значення одного з яких у 2 рази більше за інше, помістили в поле великої однойменно зарядженої кулі на однаковій відстані від неї, як показано на рисунку 69. Що ви можете сказати про сили, що діють на ці заряди? Чи зміняться ці сили, якщо заряд кулі збільшити?

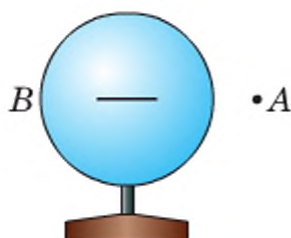


Рис. 67

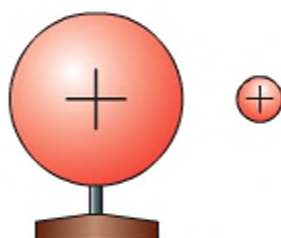


Рис. 68

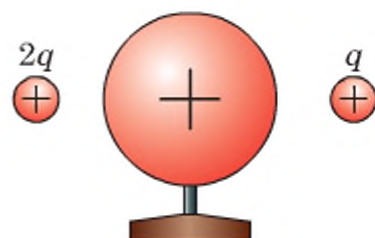


Рис. 69

- 4\*. Одне і те саме невелике заряджене тіло поміщають у різні точки електричного поля, створеного зарядом  $q$ , як показано на рисунку 70. У яких точках на заряд будуть діяти: найбільша сила; найменша сила; рівні сили?
5. На рисунку 71 зображені лінії напруженості полів, створених двома позитивними зарядами. Який з цих зарядів більший за величиною?

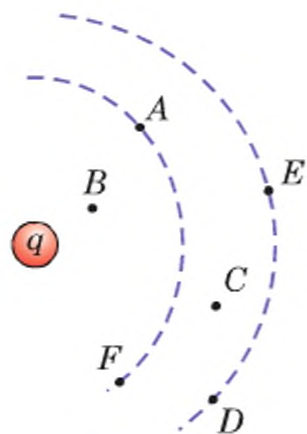


Рис. 70

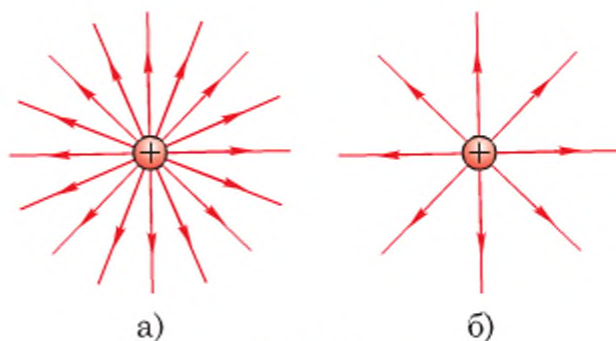


Рис. 71

- 6\*. Чому силові лінії електричного поля не перетинаються? Відповідь обґрунтуйте.
- 7\*. Намалуйте силові лінії поля позитивно зарядженої палички.
8. Запропонуйте спосіб виявлення електричного поля поблизу зарядженого тіла та випробуйте його.



# ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ

Без електричного струму уявити собі існування людського суспільства сьогодні вже неможливо. Здається, що ми повернемося в кам'яний вік, якщо раптом з якихось причин електричний струм зникне з нашого життя — згаснуть вогні міст, зупиниться транспорт, усе прийде в повний хаос. Що ж таке електричний струм? Які його дії? Як він працює на благо людини? Відповіді на ці та багато інших запитань ви отримаєте при вивченні цього розділу.

## §25. Електричний струм. Дії електричного струму

✓ Що таке електричне поле? Як воно може бути створено?

**1** Вираз «електричний струм» досить часто використовується в житті. Наприклад, коли запалюється лампочка, то кажуть, що по її спіралі проходить електричний струм. При нагріванні води в електричному чайнику або нагріванні електричної праски кажуть, що по їхніх нагрівальних елементах також проходить електричний струм.

Що ж таке електричний струм? Що необхідно для його виникнення та існування? Спробуємо в цьому розібратися.

Перш за все, слово «струм» означає течію (рух) чого-небудь. Нам зрозуміло, коли говорять про течію в певному напрямку води або іншої рідини в трубах, про потік води в руслі річки і т. ін.

Але що ж може переміщуватися в електричних проводах?

Пригадаймо, що слово «електрика» пов'язане з поняттям «електричний заряд». Отже, електричний струм пов'язаний з рухом електричних зарядів.

Отже, електричним струмом називають упорядкований рух заряджених частинок.

**2** Зверніть увагу на дуже важливе слово в цьому визначенні: упорядкований. Інакше кажучи, не всякий рух заряджених частинок є електричним струмом. Наприклад, у металах за нормальних умов вільні електрони рухаються хаотично, тобто в усіх напрямках (рис. 72, а). Для того, щоб в цьому шматочку металу виник струм, електрони повинні почати рух в одному певному напрямку (рис. 72, б).

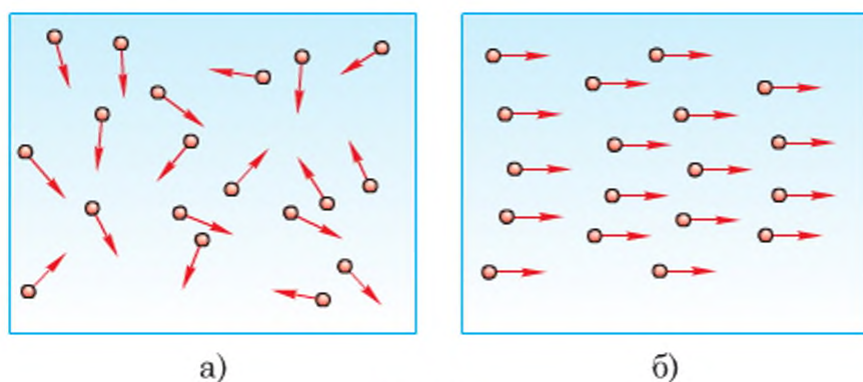


Рис. 72

**3** Як же можна створити такі умови, за яких усі заряджені частинки почали б рухатися в одному напрямку?

З найпростішим випадком виникнення електричного струму в провіднику ви вже зустрічалися. Заряджений електроскоп достатньо з'єднати провідником з незарядженим (див. рис. 51), і заряди будуть перетікати з зарядженого тіла на незаряджене, тобто почнеться впорядкований рух заряджених частинок. Але як тільки заряди на кулях стануть рівними, струм припиниться.

У загальному ж випадку, щоб отримати електричний струм у провіднику, треба створити в ньому електричне поле. Заряджені частинки під дією поля почнуть рухатися в напрямку дії на них електричних сил, тобто в провіднику виникне електричний струм. При цьому струм буде іс-

нувати так довго, як довго буде діяти електричне поле на заряджені частинки. Електричним струмом у металах є напрямлений рух електронів, а в розчинах солей і кислот — напрямлений рух іонів.

Таким чином, для того, щоб в провіднику існував електричний струм, необхідна наявність електрично заряджених частинок і електричного поля, під дією якого частинки приходять в напрямлений рух.

**4** Як ви вже знаєте, побачити заряди (електрони, позитивно або негативно заряджені іони) неможливо. Вони дуже малі. Але існують процеси, які нас переконують в їхній реальності. Це, перш за все, різні процеси, які викликані рухомими зарядженими частинками, тобто електричний струм. Такі процеси прийнято називати діями електричного струму. До числа найбільш очевидних належать теплова, хімічна та магнітна дії струму.

**5** Розглянемо теплову дію електричного струму. Піднесіть руку до палаючої електричної лампи, і ви відразу ж відчуєте біля неї тепло. Нагріта електричним струмом лампа випромінює енергію. А чому взагалі світиться електрична лампа? Тонкий вольфрамовий дріт усередині лампи, який добре видно через прозоре скло, нагрівається при проходженні через нього електричного струму, розжарюється і починає світитися.

Можна виконати простий дослід, який демонструє теплову дію струму. Будемо пропускати електричний струм через тонкий дріт, краще залізний або нікеліновий (рис. 73). Через деякий час цей дріт спочатку трохи провисне (він нагрівся і подовжився), потім почне розжарюватися і червоніти.

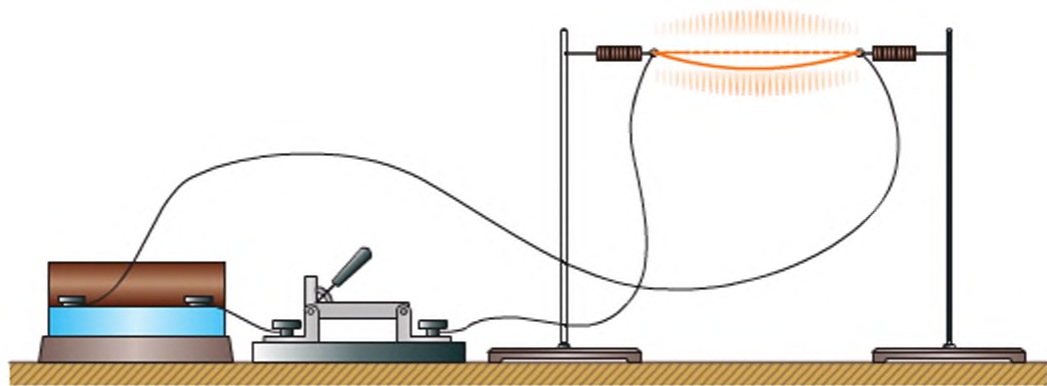


Рис. 73



Теплова дія електричного струму лежить в основі роботи найрізноманітніших побутових нагрівальних приладів. Це і електрична праска, і електричний чайник або кавоварка, і електроплитка або електрокамін, і багато іншого.

Приклад з лампою розжарювання показує, що, крім теплової дії, в ряді випадків можна спостерігати і світлову дію електричного струму.

**6** Хімічна дія електричного струму проявляється при проходженні його в рідинах.

У посудину з розчином мідного купоросу опустимо два вугільних електроди (два стержні) і під'єднаємо їх до джерела струму (рис. 74). Якщо пропускати електричний струм через цей розчин і через кілька хвилин вийняти вугільні електроди, то на одному з них — катоді — можна виявити шар чистої міді.

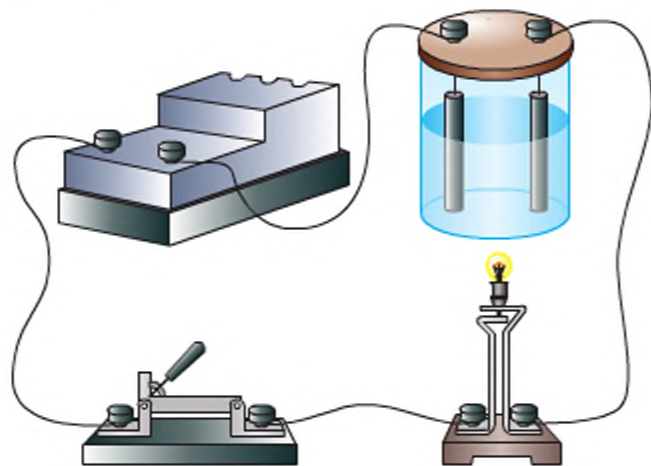


Рис. 74

Таким чином, хімічна дія електричного струму проявляється в тому, що при його проходженні через розчин солей (кислот, лугів) на електродах виділяється речовина.

Хімічна дія електричного струму лежить в основі хромування і нікелювання металевих предметів. Ним користуються в промисловості для отримання чистих металів (міді, алюмінію й ін.).

**7** Магнітну дію електричного струму найпростіше спостерігати на наступному досліді.

Візьмемо великий залізний цвях і намотаємо на нього тонкий ізолюваний дріт. Кінці дроту з'єднаємо з джерелом струму (рис. 75). Якщо коло замкнати, то цвях набуде магнітних властивостей, або, як кажуть, намагнітиться. Цвяхи, шпильки, металеві скріпки, піднесені до магніту, відразу ж до нього притягнуться.

Магнітна дія струму лежить в основі роботи промислових підйомних кранів, які можуть піднімати дуже важкі залізні предмети.

**8** Розглянемо взаємодію провідника зі струмом і магніту.

Помістимо між полюсами підковоподібного магніту металеву рамку, з'єднану з джерелом струму, як показано на рисунку 76. Рамка перебуває в спокої, доки в колі немає електричного струму. При наявності електричного струму рамка повернеться.

На основі цього досліді можна говорити про **механічну дію струму**, прикладом застосування якої є електродвигуни.

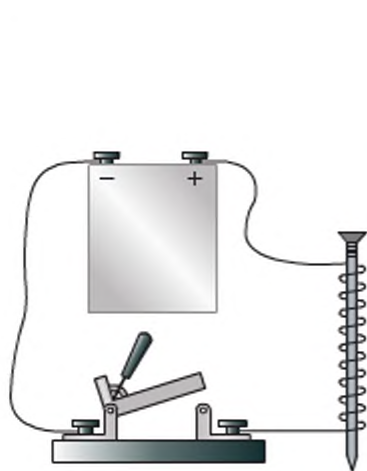


Рис. 75

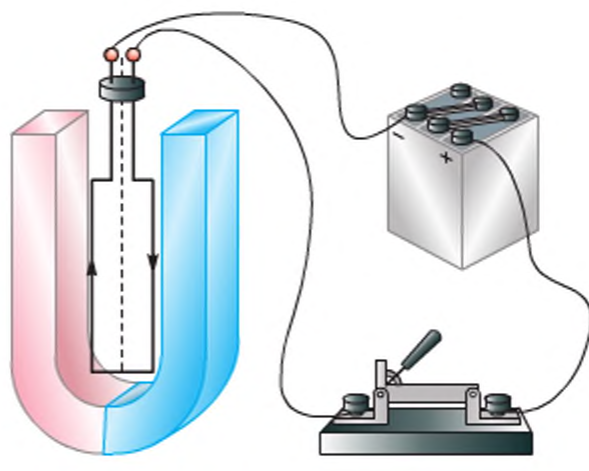


Рис. 76

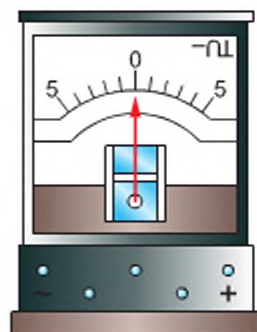


Рис. 77

**9** На рисунку 77 зображено прилад, який називають **гальванометром**. За допомогою гальванометра можна судити про наявність струму, його напрямок. В основі роботи гальванометра лежить взаємодія котуш-

ки зі струмом і магнітом. Стрілка приладу з'єднана з рухомою котушкою, і коли у котушці з'являється струм, стрілка відхиляється.



## Запитання для самоперевірки

1. Що таке електричний струм?
2. Що означає «упорядкований рух заряджених частинок»?
3. Які умови існування електричного струму?
4. Чи є блискавка електричним струмом?
5. Які явища підтверджують існування електричного струму?
6. Як проявляється теплова дія струму? На якому досліді можна показати теплову дію струму?
7. Наведіть приклади магнітної дії струму.
8. У чому проявляється хімічна дія струму? Як можна на досліді спостерігати хімічну дію струму?



## Завдання 25

1. Укажіть, які дії електричного струму використовуються в наступних випадках:  
а) освітлення кімнати електричною лампою; б) хромування столового наряддя;  
в) нагрівання води в склянці електричним кип'ятильником; г) робота електричної швейної машинки; д) нагрівання електропраски; е) позолочення або посріблення ювелірних виробів; ж) робота акумулятора автомобіля; з) приготування їжі на електроплиті. Перенесіть таблицю 11 в зошит і запишіть в неї ці приклади. Додайте в таблицю свої приклади.

Таблиця 11

Теплова дія	Магнітна дія	Хімічна дія

2. Як ви думаєте, чи зміниться дія електричного струму, якщо поміняти місцями провідники на полюсах джерела струму на рисунках 74 і 75? Відповідь поясніть.

## §26. Провідники, напівпровідники та діелектрики

✓ Чи у всіх речовинах можуть переміщатися електричні заряди?

**1** Проведені досліди показали, що при дотиканні зарядженого тіла з незарядженими предметами їм передається електричний заряд. Так, наприклад, заряджали електроскоп. Отже, електричні заряди можуть переходити з одного тіла на інше.

Електричні заряди можуть переміщуватися і по самому зарядженому тілі. Електроскоп заряджається дотиком наелектризованої палички до верхнього кінця металевого стержня. Проте зарядженими виявляються і листочки (або стрілка), що знаходяться на нижньому кінці стержня (див. рис. 44). Отже, заряди перемістилися вздовж усього стержня.

**2** З'ясуємо, чи завжди електричні заряди можуть переміщатись по тілу. Для цього виконаємо нескладний дослід. Зарядимо електроскоп 1, поруч з ним поставимо незаряджений електроскоп 2. З'єднаємо їх металевою паличкою (наприклад, мідною) (див. рис. 51). Можна помітити, що листочки у першого електроскопа злегка опадуть, а у другого — розійдуться. Це говорить про те, що частина заряду з першого електроскопа перейшла на другий.

Тепер повторимо дослід, з'єднавши заряджений і незаряджений електроскопи ебонітовою (або скляною) паличкою. У цьому випадку картина не зміниться: листочки на електроскопі 1 не опадуть, а на електроскопі 2 не розійдуться. Отже, по такій паличці заряд не переміщається і не зможе протікати електричний струм.

Речовини, які проводять електричний струм (по яких електричні заряди можуть переміщатися), називають **провідниками**. Ті ж речовини, по яких не можуть переміщатися електричні заряди, називають **діелектриками**. Виготовлені з діелектриків тіла називають *ізоляторами*.

**3** У природі існує багато речовин, що мають здатність проводити електричний струм. Добрими провідниками, наприклад, є всі метали,

водні розчини солей та кислот і багато інших речовин. Цікаво, що провідником, хоча і не дуже хорошим, є тіло людини. Ви, мабуть, уже не раз спостерігали, як учитель, щоб розрядити електроскоп, доторкається до нього рукою. Листочки при цьому відразу ж опадають.

Прикладами хороших діелектриків є бурштин, скло, ебоніт, гума, шовк, пластмаса і багато інших речовин.

**4** Поділ речовин на провідники і діелектрики досить умовний. Можна створити такі умови, коли провідник буде вести себе як ізолятор, а діелектрик, навпаки, як провідник. Наприклад, сухе повітря — хороший ізолятор. Ви в цьому переконувалися багато разів, коли бачили, що заряджений електроскоп зберігає свій заряд. Але варто піднести до нього запалений сірник (рис. 78), тобто підвищити температуру повітря, і листочки електроскопа досить швидко опадуть. Підвищення температури повітря призводить до того, що повітря стає провідником і електроскоп розряджається.



Рис. 78

**5** Крім провідників і діелектриків у природі існують речовини, які відносять до групи **напівпровідників**. Напівпровідники за кількістю вільно заряджених частинок займають проміжне положення між речовинами, в яких протікає електричний струм, і речовинами, в яких існування електричного струму неможливе. Найбільш характерними і такими, які найчастіше використовуються як напівпровідникові матеріали, є кристали германію та силіцію.

Властивості напівпровідників визначаються, перш за все, вмістом у них домішок. Украй незначна кількість домішок речовин, яка може змінюватися від  $10^{-6}$  до  $10^{-2}$  частини відсотка від загальної маси напівпровідника, в мільйони разів змінює здатність зарядів переміщатися в такому напівпровіднику.

**6** На основі знань про будову атома можна пояснити, чому одні речовини є провідниками, а інші — діелектриками.

У металах, наприклад, частина електронів легко відділяється від атомів і утворює своєрідний електронний газ усередині металу. В ізоляторі цього не відбувається: заряджених частинок, які вільно переміщуються в ньому, практично немає. На рисунку 79 показані моделі провідника і діелектрика. Точками на ньому позначені електрони, а стрілки вказують напрямки їхнього руху. Вільні електрони в провіднику (рис. 79, а) рухаються хаотично. Це означає, що не існує якогось певного напрямку, в якому рухалася б більшість електронів. У діелектрику (рис. 79, б) електрони рухаються по замкнених орбітах навколо ядер, що знаходяться в центрі атомів.

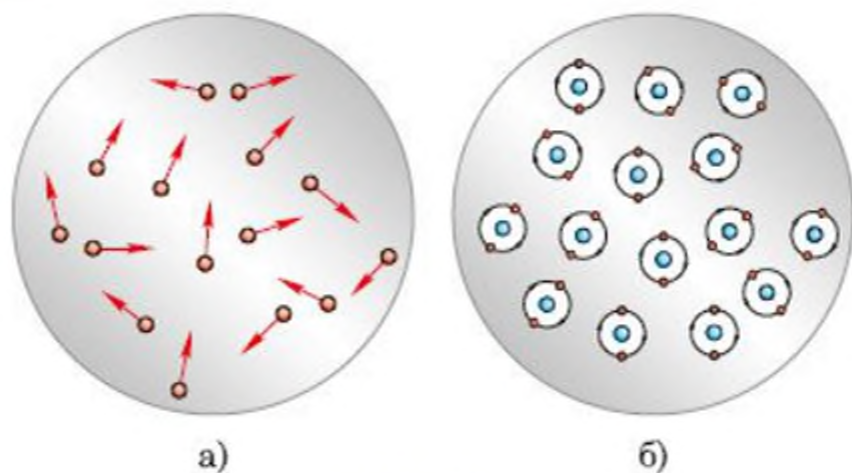


Рис. 79

Очевидно, що і та, й інша моделі — лише умовні наочні зображення реальної речовини.

**7\*** Атом напівпровідника легко втрачає один зі своїх електронів, а електрон сусіднього атома може замінити його. Незважаючи на те, що подібний обмін електронами відбувається постійно, загальний заряд речовини дорівнює нулю.

Таким чином, у напівпровідниках відбувається переміщення електронів і вільних місць, які вони займають. Ці вільні місця називають *дірками*. Під дією електричного поля рух електронів і дірок стає напрямленим.

Концентрацію вільних зарядів у напівпровіднику можна збільшити, додавши в нього домішки. Крім того, *кількість вільних заряджених частинок в напівпровіднику зростає при підвищенні його температури і при освітленні.*



### Запитання для самоперевірки

1. Які речовини називають провідниками, а які – діелектриками? Наведіть приклади.
2. Як можна на досліді встановити, є тіло провідником чи ізолятором?
3. У чому полягає основна відмінність напівпровідників від провідників і діелектриків?



### Завдання 26

1. Хорошим провідником є Земля. Запропонуйте досліди, які підтвердили б це твердження.
2. Чому металевий стержень можна наелектризувати, якщо тримати його в руці? Яким способом це можна зробити? Чому?
3. Подивіться уважно на рисунок 80 і поясніть принцип роботи громовідводу. Чому штир громовідводу роблять обов'язково металевим?
4. Дві однакові легкі кульки з фольги підвішені: одна — на шовковій нитці, а інша — на дуже тонкій металевій нитці, з'єднаній з землею. Як поводитимуться кульки, якщо доторкнутися до них наелектризованою скляною паличкою? Відповідь поясніть.
5. Заряджений електроскоп з'єднали паличкою з незарядженим (рис. 81). Чому листочки другого електроскопа не розійшлися? Висуньте свої гіпотези.



Рис. 80

6. Уважно подивіться на рисунок 82 і дайте відповідь на запитання: котра людина (та, що стоїть біля дерева, лежить на землі чи сидить в куцах) піддається меншій небезпеці під час грози? Чому?

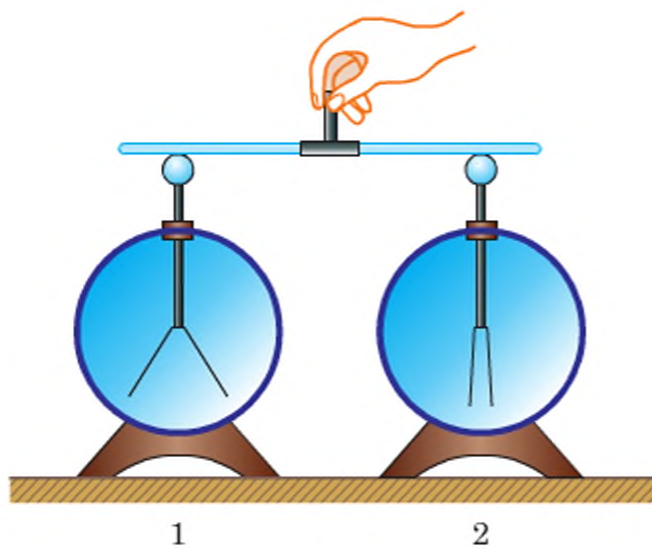


Рис. 81

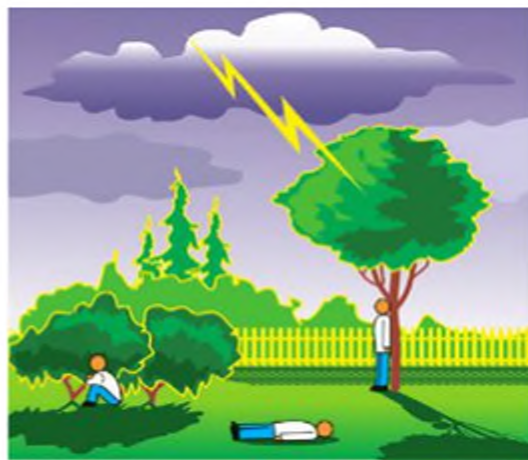


Рис. 82



### Робота з комп'ютером

Вивчіть матеріал уроку і виконайте запропонований в електронному додатку тест.

## §27. Струм у металах

✓ Які умови протікання електричного струму?

**1** Ви вже знаєте, що електричний струм — це впорядкований рух заряджених частинок. З'ясуємо, рух яких заряджених частинок є електричним струмом у металах.

Металевий провідник містить вільні електрони, які покинули атоми, при цьому атоми стають позитивно зарядженими іонами. Вільні електрони за відсутності електричного поля беруть участь в хаотичному тепловому русі. Під дією електричного поля електрони здійснюють упорядкований рух. Негативний заряд усіх вільних електронів за модулем



дорівнює сумарному позитивному заряду всіх іонів кристалічної ґратки. Те, що електричний струм у металі обумовлений рухом електронів, було доведено експериментально.

**2** Для доказу електронної природи струму в металах **К. Рікке** у 1899 році виконав дослід. Він використовував три добре відшліфовані циліндри, з яких один був алюмінієвий, а два інших — мідні (рис. 83), які щільно притерті один до одного. Він включив їх у головний дріт трамвайної підстанції м. Штутгарта і пропускав через них упродовж року електричний струм. За цей період через циліндри пройшов електричний заряд  $3,5 \cdot 10^6$  Кл. Вимірявши через рік масу кожного циліндра, Рікке виявив, що вона не змінилася. Отже, в металах не відбувалась дифузія, і електричний заряд переноситься частинками, які є спільними для різних металів, — електронами. *Електричний струм в металах створюється впорядкованим рухом електронів.*

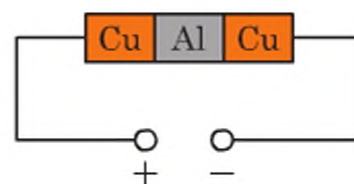


Рис. 83

**3** Ще одним доказом електронної провідності металів є досліді американських фізиків **Р. Толмена** і **Т. Стюарта**, проведені у 1916 р. Вони використовували установку, основним елементом якої є котушка, що складається з великої кількості витків. Кінці дроту припаяні до металевих дисків, до яких приєднувався гальванометр (рис. 84). Котушку приводили в швидке обертання, а потім різко зупиняли. При цьому галь-

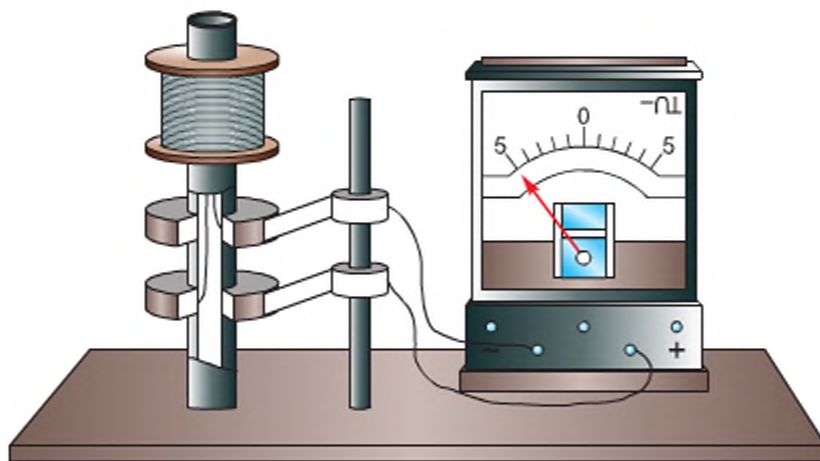


Рис. 84

ванометр фіксував короткочасний струм. Поява струму пояснюється тим, що вільні заряджені частинки після зупинки котушки продовжують свій рух унаслідок інертності.

За напрямком відхилення стрілки гальванометра зробили висновок про те, що струм створюється негативно зарядженими частинками. Розрахунки показали, що це — електрони.

Уточнення до теорії дослідів Толмена і Стюарта зробив український учений **А. Е. Малиновський** (1884 – 1937). Він надав свою інтерпретацію взаємодії вільних електронів та позитивних йонів у металах.



### Запитання для самоперевірки

1. Рух яких заряджених частинок зумовлює електричний струм у металах?
2. Чи переноситься речовина в металах при протіканні електричного струму?
3. В чому суть дослідів Толмена і Стюарта?



### Завдання 27

1. Чому при різкому гальмуванні котушки, що обертається, електрони продовжують свій рух?
2. Метою дослідів Толмена і Стюарта було визначення відношення  $q/m$  (питомий заряд) для носіїв заряду в металах. Порахуйте це відношення.
- 3\*. Порахуйте, яка загальна маса електронів, що пройшли через циліндри в досліді Рікке.

## §28. Джерела струму

✓ Які види енергії вам відомі?

**1** Нагадаємо, що для існування електричного струму в провіднику необхідно створити і підтримувати в ньому електричне поле. Електричне поле в провідниках створюється і може підтримуватися **джерелами електричного струму**.

У джерелі струму здійснюється робота з розділення позитивно і негативно заряджених частинок. Ці частинки накопичуються на *полюсах джерела струму*. Один полюс заряджається позитивно, інший — негативно.

Між полюсами джерела струму утворюється електричне поле, і якщо з'єднати їх провідником, то поле виникне і в провіднику. Вільні заряджені частинки в провіднику (електрони) почнуть рухатися впорядковано під дією цього поля, тобто у провіднику виникне електричний струм.

**2** У будь-якому джерелі струму, як уже вказувалося, здійснюється робота з розділення заряджених частинок. При цьому різні види енергії (механічна, хімічна, внутрішня) перетворюються в електричну.

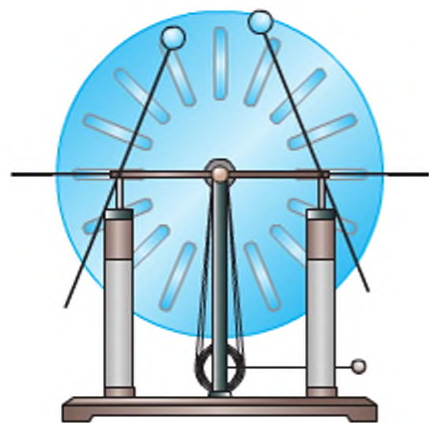


Рис. 85

Наприклад, перетворення механічної енергії в електричну відбувається в *електрофорній машині* (рис. 85).

При обертанні рукоятки машини приходять у рух її пластмасові диски, що розміщуються на невеликій відстані один від одного. На кожному диску наклеєні на рівних відстанях пластинки з тонкої металевої фольги.

При обертанні дисків в протилежні сторони пластинки фольги електризуються. Частина зарядів яка при цьому утворюється використовується для підсилення заряду провідника.

Пластинки з фольги, нанесені на диски, дотикаються до металевих щіток електрофорної машини, які їй передають заряд на кулі. Відбувається неперервне розділення зарядів, унаслідок якого одна з куль електрофорної машини заряджається позитивно, інша — негативно. Якщо їх з'єднати провідником, то в ньому потече електричний струм.

**3** Перетворення внутрішньої енергії в електричну можна спостерігати під час наступного досліду. Якщо нагріти місце з'єднання двох

провідників, виготовлених з різних металів (рис. 86), то прилад зафіксує електричний струм. Таке джерело струму називають **термоелементом**.

**4** У гальванічному елементі (батарейці) (рис. 87) заряди розділяються при хімічних реакціях, і внутрішня енергія, що виділяється під час цих реакцій, перетворюється в електричну.

Гальванічний елемент і акумулятор є одними з перших джерел струму та використовуються і в наш час.

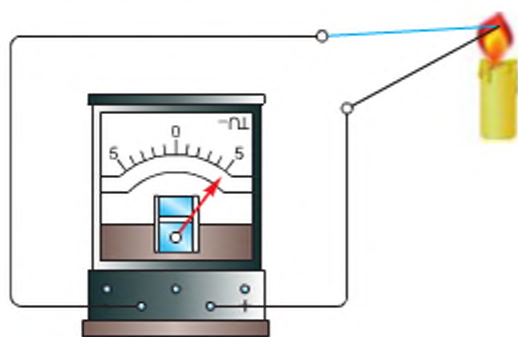


Рис. 86



Рис. 87



Луїджі Гальвані (1737–1798) — італійський медик і фізик.

Досліди, описані ним, лягли в основу створення хімічного джерела струму

Свою назву ці джерела струму отримали на честь італійського медика, професора анатомії **Луїджі Гальвані** (1737 – 1798).

Історія фізики знає чимало відкриттів, що виникли випадково. Яскравим прикладом подібного відкриття є вже відомий вам дослід Гальвані. Вчений досліджував нервову систему жаби. Зовсім випадково торкнувшись вістрям скальпеля нервів препарованої жаби, він виявив скорочення м'язів її лапки. Явище було настільки незвичайним і несподіваним, а причини — настільки незрозумілими, що, як писав Гальвані, він «загорівся неймовірною завзятістю і пристрасним бажанням досліджувати це явище і винести на світло те, що було в ньому прихованого».

Учений провів величезну кількість різних експериментів, висував найрізноманітніші гіпотези. Зокрема, Гальвані встановив, що для спосте-

реження цього незвичайного явища потрібні метали, і показав, що різні метали дають різну ступінь ефекту. Однак, будучи фізіологом, а не фізиком, Гальвані вирішив, що в тілі жаби існує особлива «тваринна електрика».



Алессандро Джузетте Вольта (1745—1827) — італійський фізик. Сконструював перше хімічне джерело постійного електричного струму.

Італійський фізик *Алессандро Вольта* (1745 – 1827), вивчаючи досліди Гальвані, прийшов до іншого висновку. Причиною скорочення м'язів є не «тваринна електрика», а електричний струм, що виникає внаслідок дотику металу до вологого тіла м'язів жаби, яка лежить на металевій поверхні. Саме контакт двох різнорідних металів став своєрідним джерелом струму.

Розглянемо детальніше будову гальванічного елемента.

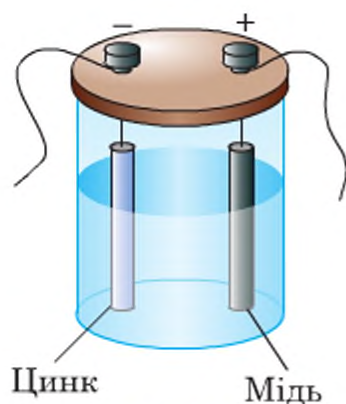


Рис. 88

Найпростіший гальванічний елемент — *елемент Вольта* — складається з двох металевих пластин, мідної та цинкової, опущених у водний розчин сульфатної кислоти ( $H_2SO_4$ ) (рис. 88). В результаті взаємодії металів з кислотою мідна пластина стає позитивно зарядженою, а цинкова — негативно зарядженою.

Між цими зарядженими пластинами, які називають *електродами*, виникає електричне поле. Якщо з'єднати електроди провідником, то в ньому виникне електричний струм.

**6** На практиці застосовують сухі гальванічні елементи. Будь-яка побутова електрична батарейка — це *сухий гальванічний елемент* або батарея таких елементів.

Зображений на рисунку 89 сухий гальванічний елемент складається з цинкової посудини 1, в яку вставлено вугільний стержень 2. Стержень міститься в полотняному мішечку 3, наповненому сумішшю перекису марганцю з вугіллям. У сухому гальванічному елементі замість рідини використовують густий клейстер з борошна і розчину нашатирю 4. Уся

цинкова посудина поміщена в коробку з пластику і залита зверху шаром смоли 5. Клема на вугільному стержні є позитивним полюсом елемента, а цинкова посудина — негативним полюсом.

Батарея кишенькового ліхтаря складається з декількох гальванічних елементів, з'єднаних один з одним.

Відмінною особливістю всіх гальванічних елементів є те, що при їхній роботі витрачається речовина електродів і розчину. Тому через деякий час вони приходять в непридатність, і їх необхідно замінювати новими. З цією особливістю електричних батарейок ви напевно стикалися у своїй практиці.

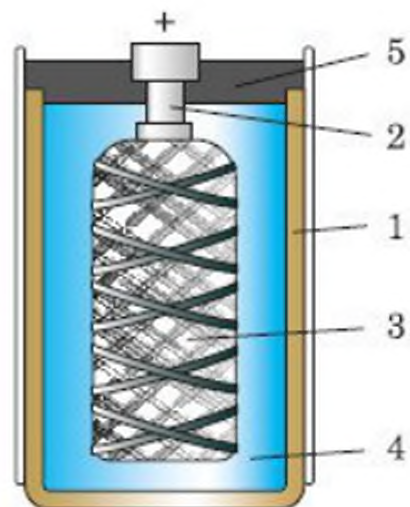


Рис. 89

**7\*** Акумулятори — інший тип джерела струму. Однією з переваг акумулятора є те, що в них речовина електродів не витрачаються.

Найпростіший акумулятор складається з двох цинкових пластин, поміщених у розчин сірчаної кислоти. Для того, щоб акумулятор став джерелом струму, його спочатку треба зарядити. Для зарядки акумулятора через нього пропускають струм від якого-небудь іншого джерела струму. Після того, як акумулятор зарядиться, його можна використовувати як самостійне джерело струму.

У процесі зарядки електричний струм в акумуляторі здійснює роботу, в результаті якої електрична енергія перетворюється в хімічну енергію акумулятора. При розрядці акумулятора ця енергія перетворюється в електричну.

Акумулятори бувають різних видів: свинцеві (або кислотні), залізо-нікелеві (або лужні). Але принцип роботи у них однаковий — вони акумулюють (накопичують) енергію, перш ніж стати самостійним джерелом струму.

З роботою акумуляторів ви часто зустрічаєтеся в повсякденному житті. Наприклад, в будь-якому автомобілі він служить для запуску двигуна. Акумулятори використовуються і для освітлення в тих випадках, коли неможливо або незручно використовувати електричний струм, що

надходить по дротах від електростанцій, — в підводних човнах, космічних кораблях і т. д. Зараз акумулятори все ширше використовуються для живлення різної електронної апаратури (радіоприймачів, магнітофонів, телефонів та ін.).

**8** Як джерела струму все частіше використовують сонячні батареї, в яких енергія випромінювання Сонця перетворюється в електричну енергію. Поверхні сонячних батарей покривають напівпровідниковою речовиною.



Рис. 90

Під дією світла в напівпровіднику виникає електричний струм, який потім акумулюється в сонячних батареях. Такі джерела струму використовуються, наприклад, в калькуляторах. Усі енергетичні установки орбітальних станцій, в тому числі і МКС (Міжнародна космічна станція), яка працює з 1998 р. (рис. 90), приводяться в дію від сонячних батарей.



### Запитання для самоперевірки

1. Яке основне призначення джерела струму? Наведіть приклади відомих вам джерел струму.
2. Яка енергія може перетворюватися в джерелі струму в електричну?
3. Який принцип роботи гальванічного елемента?
4. Що собою являє елемент Вольта?
5. Що спільного в пристрої елемента Вольта і сухого гальванічного елемента? Чим вони відрізняються один від одного?
- 6\*. У чому полягає принципова відмінність гальванічного елемента від акумулятора? Що між ними спільного?
7. Наведіть приклади використання гальванічних елементів і акумуляторів у побутовій техніці.



## Завдання 28

1. Виготовте вдома джерело струму. Для цього візьміть лимон (або будь-який інший цитрусовий фрукт) і два куски металу: мідний дріт і тонку цинкову пластинку. Якщо не знайдете вдома кусків дроту, замініть їх будь-якою мідною монетою і оцинкованим цвяхом. Розріжте лимон і вставте в нього ці шматочки металу так, щоб вони були досить близько, але не торкалися один одного (рис. 91). Величина струму, щоправда, буде досить слабкою, і якщо з'єднати його полюси провідником з лампочкою, вона не засвітиться. Але переконайтеся в тому, що струм є, можна: доторкніться язиком до провідників, з'єднаних з полюсами джерела струму (не бійтеся, це безпечно). Ви відчуєте легке поколювання, пощипування, схоже з відчуттям, що виникає, коли куштуєш щось кисле. Яка енергія перетворюється в електричну у вашому джерелі струму?
2. Як ви думаєте, що станеться, якщо в елементі Вольта цинкову пластинку замінити другою мідною?
3. Одна з найактуальніших проблем сучасного автомобілебудування — створення автомобілів з електродвигунами, які замінили б екологічно «брудні» машини з двигунами внутрішнього згорання. Використання акумуляторів в електромобілях створює безліч проблем, які до цього часу ще до кінця не вирішені. Подумайте і вкажіть, у чому полягають ці проблеми, а також запропонуйте деякі шляхи їх вирішення.
4. Заповніть таблицю.



Рис. 91

Джерела струму	Спосіб розділення зарядів	Приклад джерел струму	Застосування
Механічні			
Хімічні			
Теплові			
Світлові			



## Робота за комп'ютером

Вивчіть матеріал уроку і виконайте запропоноване в електронному додатку завдання.



## §29. Електричне коло

✓ Які умови існування електричного струму?

**1** Будь-яка електрична установка, в якій існує електричний струм, повинна бути замкнута, тобто утворювати замкнуте електричне коло. Електричне коло може складатися з наступних елементів:

- 1) джерело струму; 2) провідники; 3) споживачі (лампочка, дзвінок, електричні нагрівальні прилади, електродвигуни тощо); 4) прилади для керування електричним струмом (ключ, вимикач, кнопка й т. ін.).

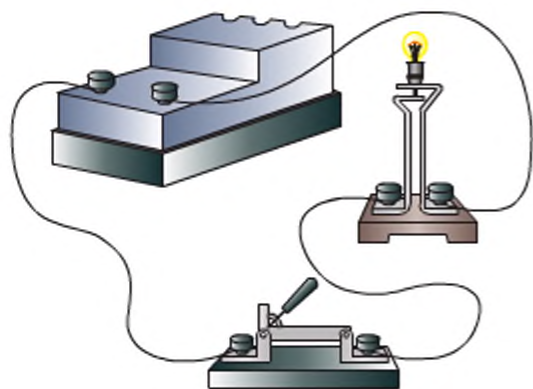


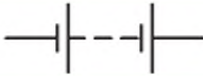







Рис. 92

Як приклад розглянемо найпростіше електричне коло (рис. 92). Воно складається з джерела струму, ключа, який може замикає або розмикає коло, лампочки і провідників. Лампочка загоряється тільки тоді, коли ключ замкнутий.

**2** Слід уточнити, що в колі за напрямком електричного струму прийнято напрямку руху позитивних частинок від позитивного полюса джерела струму до негативного. Він вибраний умовно — про це домовилися між собою фізики. Це сталося дуже давно, коли ще погано знали природу електричного струму. Так прийнято вважати і зараз.

**3** Подивіться ще раз на рисунок 92. Якщо кожен раз малювати електричні кола, то робота буде надто трудомісткою. Тому ввели умовні позначення для основних елементів електричних кіл. У таблиці 12 наведені ці умовні позначення, і в подальшому ми будемо ними користуватися.

Креслення, на яких в умовних позначеннях зображені з'єднання електричних приладів, називаються **схемами**.

№	Умовне позначення	Елемент електричного кола
1		Гальванічний елемент чи акумулятор (довга риска відповідає позитивному полюсу джерела струму (клема «+»))
2		Батарея елементів чи акумуляторів
3		З'єднання проводів
4		Перетин проводів без з'єднання
5		Затиски для підключення приладу
6		Ключ
7		Електрична лампочка
8		Електричний дзвінок
9		Електродвигун чи генератор
10		Резистор
11		Нагрівальний елемент
12		Запобіжник

Подивіться уважно на рисунок 93, на якому зображена схема найпростішого електричного кола, і порівняйте його з рисунком 92. На схемі зображені з'єднання елементів, які використані при побудові електричного кола, намальованого на рис. 92.

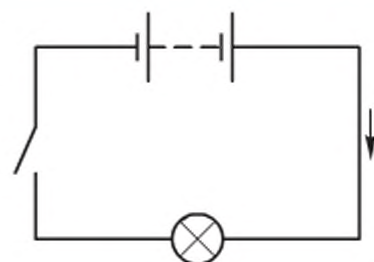


Рис. 93



### Запитання для самоперевірки

1. Що таке електричне коло?
2. З яких елементів складається електричне коло?
3. Яке призначення джерела струму в електричному колі?
4. Який напрямок прийнято за напрямок електричного струму в колі?
5. Що означає: «коло замкнуте»; «коло розімкнуте»?



## Завдання 29

1. Накресліть схему електричного кола, що складається з акумулятора, вимикача і дзвінка.
2. На рисунку 94 зображено електричне коло. З яких елементів складається це коло? Що є джерелом струму, а що — споживачем електричної енергії? Як буде направлений струм при замкнутому ключі?

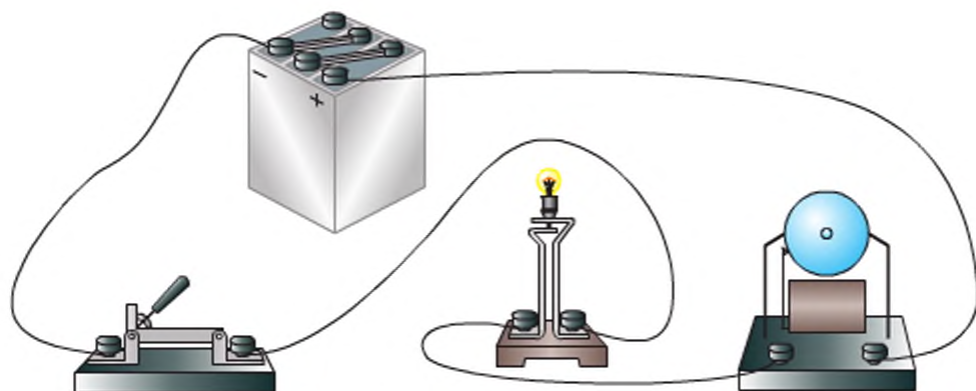


Рис. 94

3. Намалуйте схему електричного кола, зображеного на рисунку 94. Укажіть напрямок струму при замкнутому ключі
4. Розгляньте схему електричного кола, зображену на рисунку 95. Назвіть елементи цього кола. Перекресліть схему в зошит і вкажіть напрям струму при замкнутому ключі.

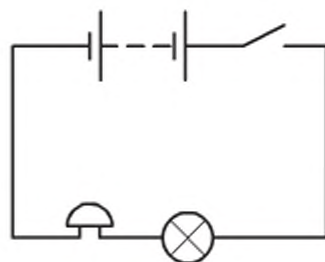


Рис. 95



## Робота з комп'ютером

Вивчіть матеріал уроку і виконайте запропоноване в електронному додатку завдання.

## §30. Сила струму. Амперметр

- ✓ Які дії електричного струму вам відомі?
- ✓ Яка одиниця електричного заряду?

**1** З'ясуємо, від чого залежать дії електричного струму. Пригадаймо досліди, які описані в §25. Вони свідчать про те, що дії електричного струму можуть виявлятися по-різному. Так, у досліді з проходженням електричного струму через металевий дріт (див. рис. 73), він може злегка нагрітися, а може нагріватися до високою температури (візуально буде червоним); він може прогнутися в більшій чи меншій мірі.

Те саме можна сказати і про хімічну дію електричного струму: на електроді може виділитися речовина з більшою або меншою масою.

Електричний струм, як ви знаєте, — це напрямлений рух заряджених частинок. Очевидно, чим більший електричний заряд, який перенесено частинками через поперечний переріз провідника за якийсь певний час, тим інтенсивніша дія струму.

**2** Струм у колі характеризують значенням заряду, що проходить через поперечний переріз провідника за одиницю часу, тобто **силою струму**.

Силу струму позначають літерою  $I$ .

**Силою струму  $I$  називають фізичну величину, яка дорівнює відношенню заряду  $q$ , що проходить через поперечний переріз провідника за проміжок часу  $t$ , до цього проміжку часу:**

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

**3\*** Сила струму — фізична величина, вона має числове значення та одиницю. Введемо одиницю сили струму.

У 1948 р. на Міжнародній конференції з міри та ваги було вирішено в основу визначення одиниці сили струму покласти явище взаємодії двох провідників зі струмом.

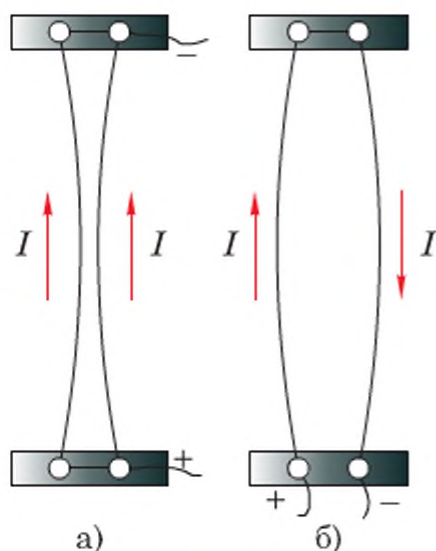


Рис. 96

Явище взаємодії двох провідників зі струмом можна спостерігати на досліді (рис. 96). Якщо через два паралельні провідники пропустити струм, то в залежності від напрямку струму провідники або притягнуться (рис. 96, а), або відштовхнуться (рис. 96, б). При цьому сила притягання або відштовхування між провідниками прямо пропорційна силі струму в них: чим більша сила струму, тим сильніше взаємодіють провідники. Силу взаємодії між провідниками можна виміряти. Але, як показали досліди, вона залежить ще також від довжини провідників, відстані між ними і середовища, в якому містяться провідники.

Щоб увести одиницю сили струму, тобто певний точний еталон, необхідно дотримуватися дуже жорстких умов досліду. Провідники повинні бути тонкими і нескінченно довгими й перебувати у вакуумі на відстані 1 м один від одного.



Андре-Марі Ампер (1775–1836) — французький фізик і математик. В його честь названа одиниця виміру сили струму. Створив першу теорію, яка виражала зв'язок електричних і магнітних явищ. Увів у фізиці поняття «електричний струм»

За одиницю сили струму беруть таку силу струму, при якій відрізки паралельних провідників довжиною 1 м, що знаходяться на відстані 1 м один від одного, взаємодіють з силою  $2 \cdot 10^{-7}$  Н.

**4** Одиницю сили струму називають *ампером* (1 А). Ця одиниця названа на честь французького фізика **Андре Ампера** (1775 – 1836).

Одиниця сили струму 1 А є основною одиницею СІ.

У науці, техніці, на практиці часто використовують і такі одиниці сили струму, як *міліампер* (1 мА), *мікроампер* (1 мкА), *кілоампер* (1 кА).

$$1 \text{ мА} = 0,001 \text{ А},$$

$$1 \text{ мкА} = 0,000001 \text{ А},$$

$$1 \text{ кА} = 1000 \text{ А}.$$

**5** У §19 введена одиниця заряду — 1 Кл. Знаючи формулу для розрахунку сили струму, можна записати:  $q = It$ . Враховуючи, що одиницею сили струму є 1 А, а одиницею часу — 1 с, отримуємо одиницю електричного заряду:

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

**6** Давайте оцінимо значення сили струму 1 А, тобто з'ясуємо, велика це сила струму чи ні. Для людського організму — дуже велика. Для нього безпечною є сила струму лише до 1 мА. У побутовій електричній мережі нормальною вважається сила струму до 6 А. Це максимальна сила струму, яка може проходити через розетку або прилад.

**7** Ще одна дуже важлива особливість сили струму полягає в наступному: сила струму в усіх ділянках провідника, через який протікає струм, однакова. Це впливає з того, що заряд, що проходить через будь-який поперечний переріз провідника за одиницю часу, однаковий. Інакше кажучи, коли в колі є струм, заряд ніде ні в якій частині провідника не накопичується. Так, якщо на початку провідника, наприклад, металеві дротини, сила струму дорівнює 1 А, то і в будь-якому поперечному перерізі провідника, і в кінці його вона теж обов'язково — 1 А.

**8** Прилад, за допомогою якого вимірюють силу струму в колі, називають **амперметром**.

Амперметр за принципом дії і за будовою подібний на гальванометр (див. рис. 77). Його робота базується на магнітній дії струму. Чим більша сила струму, що проходить через котушку, тим сильніше вона взаємодіє з магнітом, тим більший кут повороту стрілки приладу. Оскільки за допомогою амперметра вимірюють силу струму, то він улаштований так, щоб включення його в коло практично не впливало на силу струму в колі.

Щоб відрізнити амперметр від гальванометра, на його шкалі ставлять букву А. На схемах амперметр зображають кружком з буквою А в центрі (рис. 97, а).

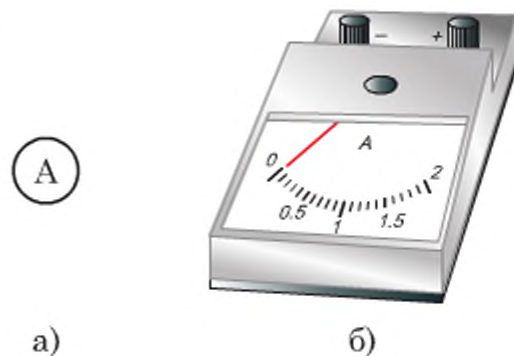


Рис. 97

Лабораторний амперметр (рис. 97, б), яким ви будете користуватися надалі, зовні відрізняється від демонстраційного.

Будьте уважні при роботі з амперметрами, оскільки кожен із них розрахований на деяку максимальну силу струму. Інакше прилад може зіпсуватися.

**9** Амперметр включається в коло послідовно з тим приладом, силу струму в якому потрібно виміряти.

Біля кожної клеми приладу стоїть свій знак: або «+», або «-». Це означає, що клему зі знаком «+» треба обов'язково з'єднати з провідником, що йде від позитивного полюса джерела струму, а клему зі знаком «-» — з провідником, що йде від негативного полюса джерела струму.

Якщо коло складається з декількох послідовно з'єднаних провідників або приладів (з'єднання, при якому початок одного провідника з'єднується з кінцем іншого), то амперметр буде показувати в усіх точках кола одне і те ж значення сили струму. Так, в схемах, показаних на рисунку 98, а)–в), у всіх трьох випадках сила струму буде однакою. Детальніше про ідентичне з'єднання провідників буде розглянуто в параграфі 35.

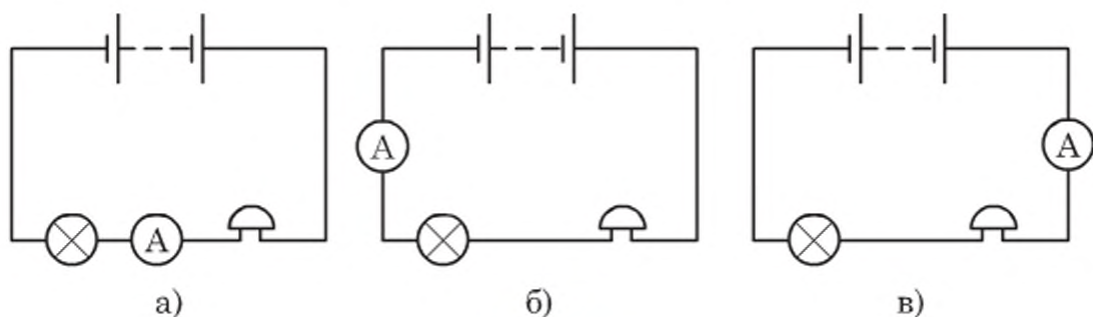


Рис. 98



### Запитання для самоперевірки

1. Що називають силою струму в колі?
2. Що означає вираз: «сила струму — фізична величина»?
- 3\*. Яке явище використовується для встановлення еталона одиниці сили струму?
4. Які існують похідні одиниці сили струму?
5. Чому сила струму в усіх ділянках провідника однакою?

6. Як називають прилад, за допомогою якого вимірюють силу струму?
7. Як включають амперметр у коло?



### Завдання 30

1. На рисунку 99 зображено два заряджених електроскопи. В якому випадку сила струму буде більшою, якщо їх заземлити однаковими провідниками? Чому?
2. На рисунку 100 зображено дві схеми електричних кіл. Чи істотна для роботи цих кіл відмінність в схемах а) та б)? Чому?

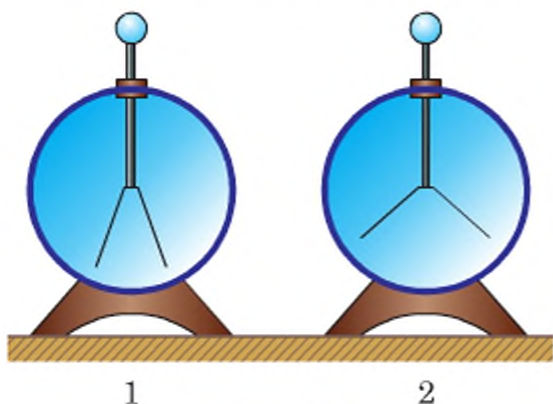


Рис. 99

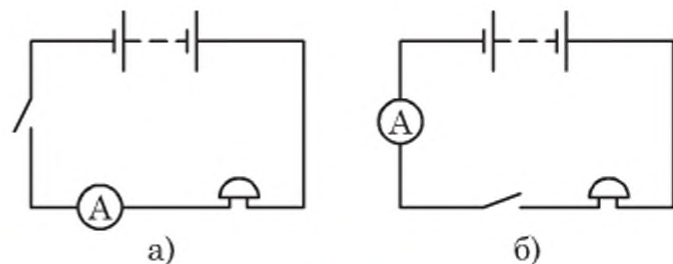


Рис. 100

3. Виразить: 0,5 А в мікроамперах; 0,4 А в міліамперах; 0,25 мкА в амперах.
4. На рисунку 101 зображено шкали амперметрів. Яка ціна поділки кожного приладу? Які межі вимірювання цих приладів? Які покази приладів?

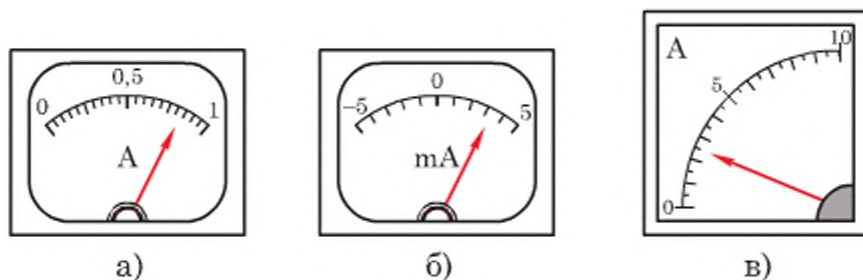


Рис. 101

5. Укажіть стрілками напрямок електричного струму, що проходить через лампи (рис. 102). Яка сила струму в лампах?



- 6\*. Розрахуйте число електронів, які пройдуть через лампу розжарювання, включену в коло, як показано на рисунку 103, якщо ключ в колі буде замкнутий упродовж 1 хв.

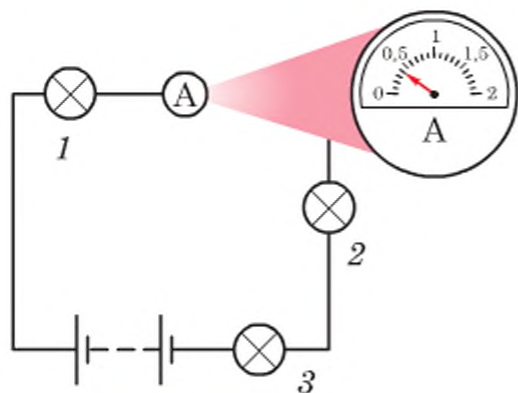


Рис. 102

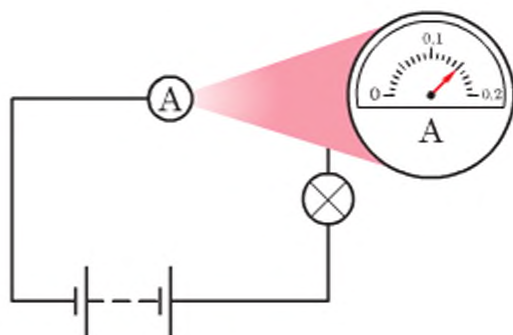


Рис. 103



### Робота з комп'ютером

Вивчіть матеріал уроку і виконайте запропоновані в електронному додатку завдання.

## §31. Електрична напруга. Вольтметр

- ✓ Що характеризує механічна робота; потужність?

**1** Якщо повернутися до дослідів, у яких спостерігалися дії електричного струму, то можна зробити ще один висновок, дуже важливий для подальшого викладу: електричний струм у всіх розглянутих випадках здійснював роботу. При його проходженні нагрівався провідник, поверталася рамка і т. д. За роботою струму можна судити і про його потужність. Пригадаємо, що потужність — величина, яка кількісно дорівнює роботі, виконаній за одиницю часу.

Щоб з'ясувати, від чого залежить потужність електричного струму, звернемося до дослідів.

Складемо електричне коло, що складається з лампочки, батареї акумуляторів, з'єднувальних провідників і ключа (рис. 104).

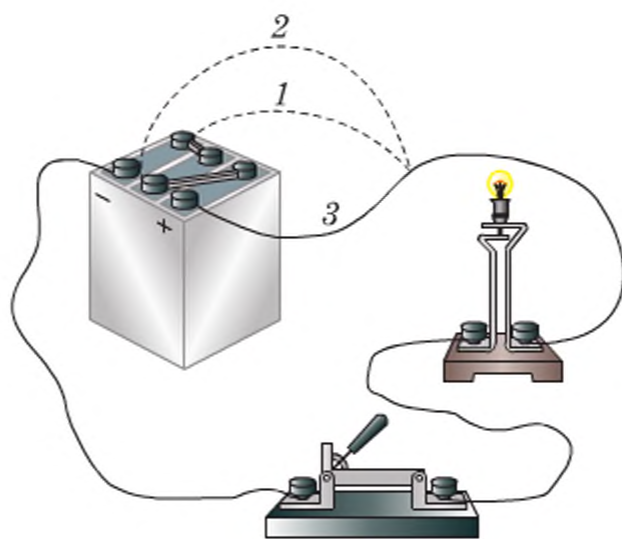


Рис. 104

Спочатку як джерело використовуємо один елемент акумулятора (з'єднання 1). Лампочка не горить. Потім візьмемо два елементи акумулятора (з'єднання 2), лампочка загориться, але дуже тьмяно. Нарешті, якщо підключити всі три елементи (з'єднання 3), лампочка починає яскраво світитися. Джерело струму, що складається з трьох елементів акумулятора, стало досить потужним, щоб створити необхідну для світіння лампочки силу струму.

Отже, кожне джерело струму можна охарактеризувати особливою фізичною величиною, яку називають **напругою**.

**2** Щоб краще зрозуміти, що таке напруга, скористаємося такою аналогією. Неважко собі уявити, що електричний струм подібний до потоку води в річці. Але, як вам відомо, вода в річці сама по собі тече тільки з вищого рівня на нижчий. Отже, для існування електричного струму також повинні бути створені певні умови. Різниця рівнів води аналогічна напрузі джерела струму. Чим вища напруга (чим більша різниця в рівнях річки), тим більша сила струму в колі (тим швидше тече вода в річці).

**3** Як ви пам'ятаєте, джерело струму створює електричне поле, яке приводить в рух заряджені частинки. Чим більша напруга джерела струму, тим сильнішим є створене ним поле. Тому можна сказати, що *напру-*

га характеризує електричне поле, яке діє в колі і створює електричний струм.

**4** Звернемося тепер ще до двох дослідів, порівняння яких дозволить нам визначити поняття напруги.

На рисунку 105, а) зображено електричне коло, що складається з лампочки кишенькового ліхтаря, джерела струму, ключа і демонстраційного амперметра. На рисунку 105, б) — аналогічне коло, але з лампою розжарення, підключеною до міської освітлювальної мережі. Обидва амперметра показують, що сила струму в колах однакова і дорівнює 0,2 А. Проте лампа, включена в мережу, дає набагато більше і тепла, і світла, ніж лампочка кишенькового ліхтаря.

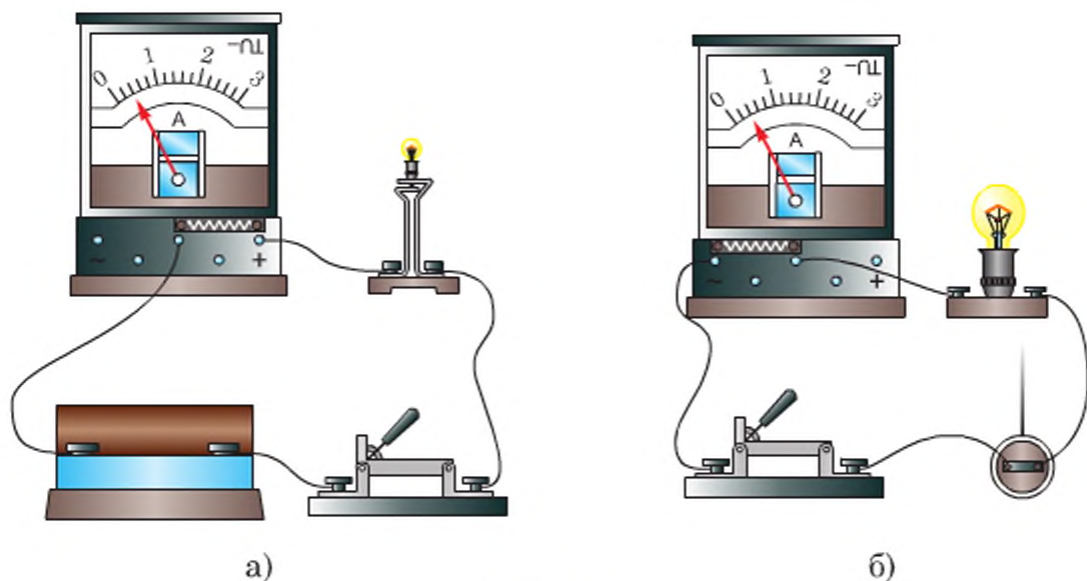


Рис. 105

Чому при одному і тому ж значенні сили струму дії електричного струму настільки різні? Очевидно, що енергія, необхідна для того, щоб розжарити нитку лампи, включеної в мережу, набагато більша за ту, що витрачається в лампочці кишенькового ліхтаря. Можна сказати, що потужність лампи розжарювання набагато більша за потужність лампи кишенькового ліхтаря.

Єдиною відмінністю двох кіл є те, що в них використані різні джерела струму: напруга міської освітлювальної мережі набагато більша за напругу джерела струму. Різна напруга подається і на лампи. На ділянці кола з лампою, включеною в мережу, напруга вища, ніж на ділянці кола, що містить лампочку кишенькового ліхтаря.

**5** Фізичну величину, яка дорівнює відношенню роботи електричного поля на певній ділянці кола до електричного заряду  $q$ , що пройшов по цій ділянці, називають електричною напругою.

Напругу прийнято позначати літерою  $U$ .

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

де  $A$  — робота, що виконує електричне поле при протіканні електричного струму,  $q$  — заряд, що пройшов по ділянці кола.

Напруга характеризує електричне поле, що створює струм.

**6** Одиницею напруги є *вольт (1 В)*. Назву одиниці напруги дано на честь італійського вченого Вольтя.

$$1 \text{ вольт} = \frac{1 \text{ джоуль}}{1 \text{ кулон}}, \quad 1 \text{ В} = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ Кл}}.$$

У практиці використовують також частинні і кратні одиниці: *кіловольт (1 кВ)*, *мілівольт (1 мВ)*.

$$1 \text{ кВ} = 1000 \text{ В},$$

$$1 \text{ мВ} = 0,001 \text{ В}.$$

**7** Оцінимо напругу, рівну 1 В. Вона висока чи низька? Чи небезпечна вона для життя людини? Напруга в 1 В безпечна. Вважається, що напруга до 12 В абсолютно безпечна. І навіть напруга до 42 В, з якою ви будете працювати в класі, за нормальних умов нешкідлива. А напруга 220 В, тобто напруга освітлювальної мережі, може виявитися для людини смертельно небезпечною. Тому завжди будьте дуже обережні з електричними приладами, особливо тими, що працюють під високою напругою.

Напруги, з якими мають справу в техніці, коливаються від часток мікровольт до мільйонів вольт. У таблиці 13 представлені деякі приклади напруг, що зустрічаються в природі і техніці.

Таблиця 13

Напруга	$U, \text{В}$
На полюсах елемента Вольта	1,1
Одного елемента лужного акумулятора	1,25
Одного елемента кислотного акумулятора	2
На лабораторному столі (максимальна)	42
В освітлювальній мережі	220
В електрофорній машині (при відстані між кулями 1 см)	До 30 000
При виникненні блискавки	До 4 000 000 000

**8** Прилад, за допомогою якого вимірюють напругу на полюсах джерела струму або на будь-якій ділянці кола, називають **вольтметром**.

Як зовнішній вигляд демонстраційного вольтметра, так і його будова дуже подібні до гальванометра і амперметра, тільки вольтметр призначений для вимірювання напруги. Те ж саме можна сказати і про лабораторний вольтметр — він подібний на лабораторний амперметр (див. рис. 97, б). Тому для того, щоб відрізнити вольтметр від інших вимірювальних приладів, на його шкалі ставлять букву **V**. Зовнішній вигляд і умовне позначення



а)

Рис. 106



б)

вольтметра на схемах показано на рисунку 106. Так само, як і в амперметра, в одного затискача вольтметра стоїть знак «+», в іншого — «-». Іноді на приладах стоїть тільки один знак «+». Потрібно обов'язково стежити за правильним включенням вольтметра в електричне коло, інакше стрілка може відхилитися в протилежну сторону і прилад зіпсується.

Затискачі вольтметра підключають до двох точок кола, між якими треба виміряти напругу. Так, якщо нам потрібно визначити напругу на лампі, вольтметр підключають до затискачів лампи (рис. 107). Якщо ж

ми хочемо з'ясувати, яка напруга на ділянці кола, де знаходиться дзвінок, — вольтметр підключають до дзвінка.

Для вимірювання напруги на джерелі струму вольтметр підключають до затискачів джерела.

**Вольтметр підключається паралельно тій ділянці кола, на якій вимірюють напругу.**

Вольтметр побудований так, що струм, який проходить через нього, дуже малий у порівнянні зі струмом у колі.

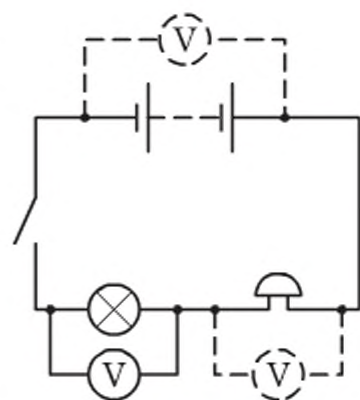


Рис. 107



### Запитання для самоперевірки

1. Що характеризує напруга?
2. Яку аналогію використовують для ілюстрації поняття «напруга»?
3. Який висновок можна зробити в результаті аналізу досліду, зображеного на рисунку 104?
4. Як ви можете пояснити той факт, що при одному і тому самому значенні сили струму розжарення лампи і лампочки різне (див. рис. 105)?
5. Як називають прилад для вимірювання напруги?
6. Як включають вольтметр для вимірювання напруги на ділянці кола?
7. Що спільного і чим відрізняються один від одного амперметр і вольтметр?



### Завдання 31

1. Сила струму, що протікає через два однакові провідники, однакова, але в одному з них виділилося у 2 рази більше енергії (провідник нагрівся, наприклад, у 2 рази сильніше). Яка причина подібного явища? На якому з провідників напруга більша?
2. При протіканні електричного струму в спіралі електроплитки електричним полем виконується робота 11 кДж при напрузі в мережі 220 В. Якою має бути напруга,

щоб при протіканні електричного струму виконалася робота 22 кДж, якщо заряд, який пройшов по спіралі, такий самий?

- Визначте ціну поділки шкали вольтметра, зображеного на рисунку 108. Яка межа вимірювань цього приладу? Чому дорівнює напруга на електричній лампочці?
- Розташуйте на схемі (рис. 109) символи відповідних приладів.

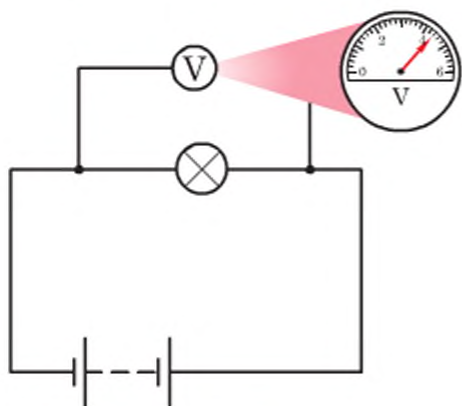


Рис. 108

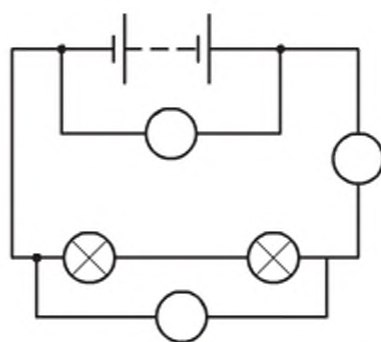


Рис. 109

- Уважно розгляньте схеми на рисунку 110. Чи все в них правильно? Якщо виявите помилки, вкажіть на них і накресліть правильні схеми кіл.

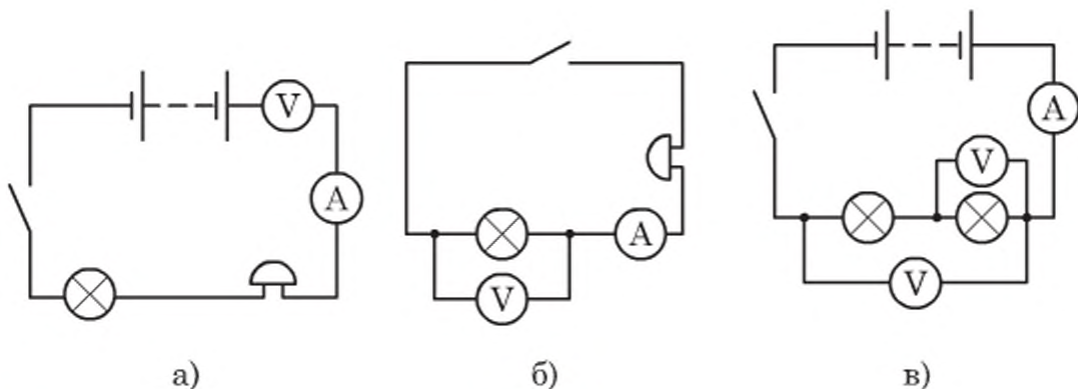


Рис. 110



### Робота з комп'ютером

Вивчіть матеріал уроку і виконайте запропоновані в електронному додатку завдання.

## §32. Електричний опір. Закон Ома для ділянки кола

- ✓ Яку фізичну величину називають силою струму?
- ✓ Що називають напругою?

**1** Нагадаємо, що фізичні величини сила струму  $I$  і напруга  $U$  характеризують електричний струм і його дію. Встановимо залежність між цими величинами. Для цього скористаємося установкою, зображеною на рисунку 111.

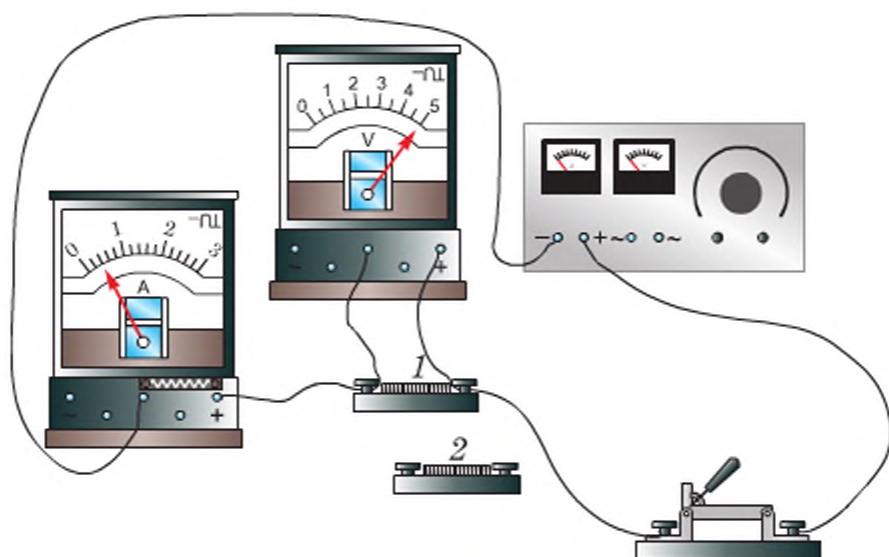


Рис. 111

Як споживач струму в колі використовується *резистор* — металевий провідник у вигляді спіралі. Паралельно до резистора підключений вольтметр, що вимірює напругу на цій ділянці кола. Інша частина кола складається з джерела струму, ключа і амперметра. Як джерело струму будемо використовувати пристрій, який дозволяє регулювати напругу на кінцях провідника.

**2** Спочатку приєднаємо вольтметр до провідника 1. Будемо змінювати напругу на цій ділянці кола і стежити за відповідними змінами сили струму. Результати вимірювань наведені в таблиці 14.



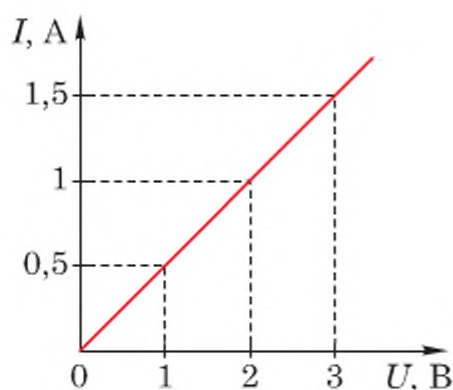


Рис. 112

Як видно з таблиці 14, між силою струму і напругою на кінцях провідника існує пряма пропорційна залежність:  $I \sim U$  (рис. 112).

Таблиця 14

$U$	$I$
1 В	0,5 А
2 В	1 А
3 В	1,5 А

Приєднаємо вольтметр до провідника 2 і повторимо дослід. При тих самих значеннях напруги, що і в першому випадку, отримаємо інші значення сили струму. Проте і в цьому провіднику сила струму буде прямо пропорційна напрузі.

**3** За результатами проведених дослідів обчислимо відношення напруги до сили струму. Воно буде однаковим для кожного з провідників, але буде мати різне значення для провідників 1 і 2. Отже, існує фізична величина, що характеризує властивості провідника, через який протікає електричний струм. Цю величину називають **електричним опором провідника** або просто **опором**. Позначають опір літерою  $R$ .

За одиницю опору приймають **ом (1 Ом)**. 1 Ом — це опір такого провідника, в якому при напрузі на його кінцях 1 В сила струму дорівнює 1 А.

$$1 \text{ ом} = \frac{1 \text{ вольт}}{1 \text{ ампер}}, \quad 1 \text{ Ом} = \frac{1 \text{ В}}{1 \text{ А}}$$

Одиниця опору отримала свою назву на честь німецького вченого **Георга Ома** (1787–1854), який відкрив основний закон електричного кола.

У практиці використовують похідні одиниці: **кілоом (1 кОм)**, **мегаом (1 МОм)**.

$$1 \text{ кОм} = 1000 \text{ Ом}, \\ 1 \text{ МОм} = 1\,000\,000 \text{ Ом}.$$

**4** Що ж таке опір 1 Ом? Щоб уявити, наскільки великий цей опір, наведемо такі приклади: опір нитки лампочки кишенькового ліхтаря

близько 12 Ом, а нитки електричної лампи розжарювання у включеному стані — 200 – 400 Ом. З іншого боку, 1 Ом — це опір приблизно 5 км проводів трамвайної лінії, тобто опір маленької тоненької нитки лампочки може виявитися у багато десятків і сотень разів більшим за опір товстого довгого дроту. Справа в тому, що електричний опір провідника залежить від речовини, з якої він виготовлений.

**5** Спробуємо тепер пояснити, чому провідник має електричний опір. Згадайте, що електричний струм у металах — це напрямлений рух вільних електронів. Електрони, які рухаються під дією електричного поля, взаємодіють з атомами і іонами кристалічної решітки металу. Іони, як наслідок, чинять опір рухові електронів. Це веде до зменшення швидкості напрямленого руху електронів, а отже, і сили струму в провіднику. *Отже електричний опір характеризує властивість провідника протидіяти напрямленому руху вільних зарядів у ньому.*

Опір мають і розчини солей, кислот та лугів, унаслідок того, що відбувається взаємодія іонів, які рухаються в електричному полі, з молекулами і атомами розчинів.

**6** З'ясуємо за допомогою зображеної на рисунку 113 установки, як залежить сила струму від опору ділянки кола за умови постійної напруги на цій ділянці.

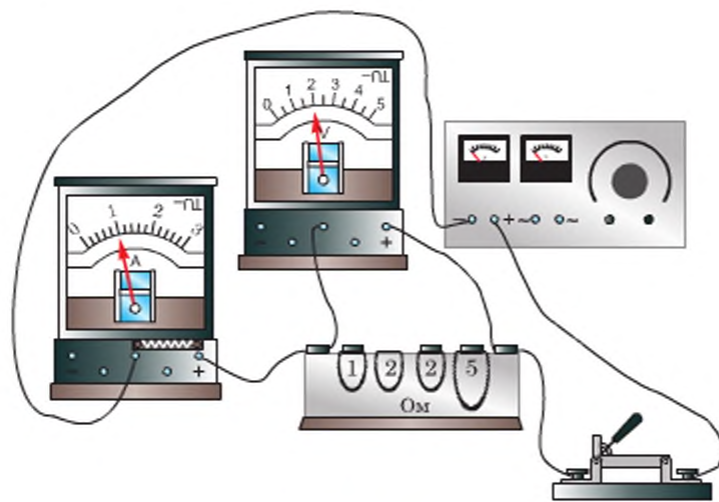


Рис. 113

Для цього будемо використовувати *магазин опорів*, що являє собою чотири послідовно з'єднаних провідники, які можуть у різних поєднаннях включатися в коло. При цьому загальний опір провідників буде різним. Включимо в коло провідник із опором 1 Ом, потім 2 Ом і 4 Ом. За допомогою джерела струму будемо підтримувати в кожному випадку постійну напругу, наприклад, 2 В. Результати досліду представлені в таблиці 15.

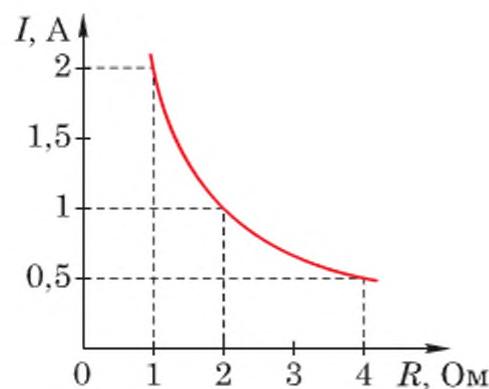


Рис. 114

Таблиця 15

$R$	$I$
1 Ом	2 А
2 Ом	1 А
4 Ом	0,5 А

З досліду випливає, що сила струму при постійній напрузі провідника обернено пропорційна його опору (рис. 114):

$$I \sim \frac{1}{R}$$

Для того, щоб перейти від пропорційності до знака рівності, необхідно, як вам відомо, ввести коефіцієнт пропорційності:  $I = k \cdot \frac{U}{R}$ . У тій системі одиниць, якою ми користуємося,  $k = 1$ , отже, можна записати:

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

Ця залежність була встановлена експериментально в 1826 р. Г. Омом. Тому цей закон називають **законом Ома для ділянки кола**.



Георг Симон Ом (1789–1854) – німецький фізик. Експериментально встановив закон, який виражає зв'язок між силою струму, напругою і опором провідника.

## 7 Приклад розв'язування задачі.

Через провідник, опір якого дорівнює 6 Ом, за 2 хв проходить заряд 60 Кл. Знайдіть напругу, прикладену до кінців провідника.

Дано:	$CI$
$R = 6 \text{ Ом}$	120 с
$t = 2 \text{ хв}$	
$q = 60 \text{ Кл}$	
$U = ?$	

Розв'язання.

Згідно із законом Ома для ділянки кола, сила струму дорівнює  $I = \frac{U}{R}$ , звідки  $U = IR$ .

Відповідно до визначення сили струму:  $I = \frac{q}{t}$ .

Отримаємо:

$$U = \frac{q}{t} R.$$

Перевіримо одиниці шуканої величини:

$$[U] = \frac{\text{Кл}}{\text{с}} \cdot \text{Ом} = \frac{\text{А} \cdot \text{с}}{\text{с}} \cdot \frac{\text{В}}{\text{А}} = \text{В}.$$

Знайдемо числове значення шуканої величини:

$$\{U\} = \frac{60}{120} \cdot 6 = 3.$$

Відповідь:  $U = 3 \text{ В}$ .



### Запитання для самоперевірки

1. Яка залежність існує між силою струму і напругою на ділянці кола за умови постійного опору?
2. Яку величину називають електричним опором провідника?
3. Чому ми називаємо опір фізичною величиною?
4. Як можна пояснити, чому провідник має опір?
5. Що приймають за одиницю опору провідника?
6. Опір якого провідника дорівнює 1 Ом?
7. Сформулюйте закон Ома для ділянки кола.



## Завдання 32

1. З формули закону Ома можна виразити опір:  $R = \frac{U}{I}$ . Чи буде правильним твердження: «Опір провідника прямо пропорційний до напруги на його кінцях і обернено пропорційний до сили струму в цьому провіднику»?
2. При напрузі 1 В сила струму в першому провіднику дорівнює 0,1 А, а у другому — 0,01 А. Який з провідників має більший опір? Розрахуйте опір провідників.
3. Сила струму в провіднику дорівнює 0,6 А при напрузі 42 В. Чому дорівнює опір цього провідника?
4. Користуючись показниками приладів, зображених на рисунку 115, визначте опір електричної лампи.
5. Користуючись графіком (рис. 116), визначте опір провідників 1 і 2. Зробіть висновки про характер залежності між опором провідника і кутом нахилу графіка.

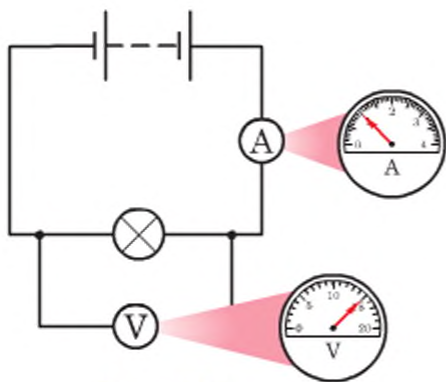


Рис. 115

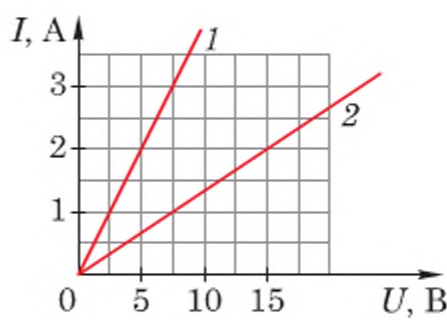


Рис. 116



## Лабораторна робота № 3

### Вимірювання опору провідника за допомогою вольтметра і амперметра

**Мета роботи:** навчитися вимірювати опір провідника за допомогою вольтметра і амперметра.

**Обладнання.** 1. Батарея з трьох елементів (або лабораторне джерело живлення). 2. Два провідники (резистори). 3. Амперметр. 4. Вольтметр. 5. Ключ. 6. З'єднувальні дроти.



#### *Хід роботи*

1. Накресліть схему електричного кола, яке ви будете збирати.
2. Складіть коло з одним із провідників, виміряйте силу струму і напругу на ньому.
3. Повторіть вимірювання, замінивши досліджуваний провідник іншим. Результати вимірювань запишіть у таблицю. Зробіть висновок в якому зазначте за допомогою яких приладів ви навчилися вимірювати електричний опір?

4. Обчисліть значення опору провідників і запишіть результати в таблицю.

Провідник	Сила струму $I, A$	Напруга $U, B$	Опір $R, Ом$
1			
2			

5\*. *Додаткове завдання.* Побудуйте в одній системі координат графік залежності сили струму від напруги для кожного провідника.



### Домашнє завдання

Дайте відповіді на наступні запитання:

- В якому з двох випадків електричний струм виконував більшу роботу?
- Чи залежать значення сили струму від місця розташування амперметра в колі?

## §33. Залежність опору провідника від його довжини, площі перерізу та матеріалу

✓ Що називають електричним опором провідника?

**1** Аналізуючи природу електричного опору, можна висловити припущення, що *опір залежить від довжини і товщини (площі поперечного перерізу) провідника, а також матеріалу, з якого він виготовлений.*

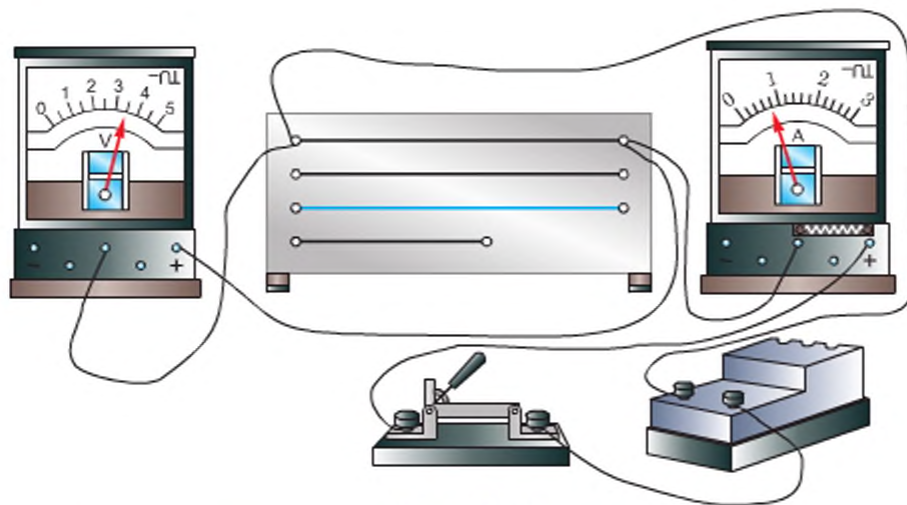


Рис. 117

Перевіримо на досліді справедливість цієї гіпотези.

Складемо коло, зображене на рисунку 117. На спеціальній панелі прикріплені різні провідники. Ці провідники будемо по чергово підключати до джерела струму і порівнювати значення сили струму, які покаже в кожному випадку демонстраційний амперметр.

Будемо підключати провідники, що досліджуються, наприклад, в такій послідовності:

- 1) нікелінові провідники однакової товщини, але різної довжини;
- 2) нікелінові провідники однакової довжини, але різної товщини;
- 3) нікеліновий і ніхромовий провідники однакової довжини і товщини.

Враховуючи, що напруга в колі постійна (покази вольтметра не змінюються), і відзначаючи за допомогою амперметра значення сили струму в кожному випадку, можна переконатися в правильності висловленого припущення.

Таким чином ми виявимо, що опір провідників збільшується зі збільшенням їхньої довжини і зменшується при збільшенні товщини провідників; опір нікелінового провідника менший, ніж провідника такого самого розміру з ніхрому.

Залежність опору дротяного провідника від його розмірів і матеріалу, з якого він виготовлений, уперше досліджував Г. Ом. Він установив, що опір провідника прямо пропорційний його довжині, обернено пропорційний площі його поперечного перерізу і залежить від матеріалу провідника.

Цю залежність можна записати так:

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

де  $l$  — довжина провідника,  $S$  — площа його поперечного перерізу, а  $\rho$  — величина, що характеризує матеріал, з якого зроблений провідник. Ця величина називається **питомим опором провідника** і дорівнює опору провідника довжиною 1 м і площею поперечного перерізу 1 м<sup>2</sup>.

**2** Користуючись формулою для розрахунку опору провідника, можна визначити одиницю питомого опору:

$$\rho = \frac{RS}{l}.$$



Оскільки одиниця опору 1 Ом, одиниця довжини 1 м й одиниця площі 1 м<sup>2</sup>, то одиницею питомого опору буде:

$$[\rho] = \frac{1 \text{ Ом} \cdot 1 \text{ м}^2}{1 \text{ м}} = 1 \text{ Ом} \cdot \text{м}.$$

Часто площу поперечного перерізу вимірюють в мм<sup>2</sup>, тому в довідниках значення питомого опору наводяться так само в  $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ . Тому завжди звертайте увагу на одиницю питомого опору, коли користуєтеся табличними даними.

Значення питомих опорів деяких речовин наведені в таблиці 16.

Таблиця 16


Питомий опір деяких речовин,  $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ ;  $10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$

Речовина	Питомий опір $\rho, 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$	Речовина	Питомий опір $\rho, 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$
Срібло	0,016	Манганін (сплав)	0,43
Мідь	0,017	Константан (сплав)	0,50
Золото	0,024	Ртуть	0,96
Алюміній	0,028	Ніхром (сплав)	1,1
Вольфрам	0,055	Графіт	13
Залізо	0,10	Фарфор	10 <sup>19</sup>
Свинець	0,21	Ебоніт	10 <sup>20</sup>
Нікелін (сплав)	0,40		

Значення питомого опору речовин наведені для температури 20 °С, оскільки опір провідників залежить від температури. При підвищенні температури він зростає, а при зниженні — зменшується. Цю залежність можна пояснити за допомогою молекулярно-кінетичної теорії будови речовини.

При підвищенні температури зростає амплітуда коливань частинок твердого тіла, що знаходяться у вузлах кристалічної ґратки. Відповідно зростає опір напрямленому руху електричних зарядів.

### 3 Приклади розв'язування задач.

-  1. Яка площа поперечного перерізу вольфрамового дроту, через який іде струм 0,5 А за напруги 5 В? Довжина дроту дорівнює 4 м.

Дано:	СИ
$I = 0,5 \text{ А}$	
$U = 5 \text{ В}$	
$\rho = 0,055 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$	$5,5 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$
$l = 4 \text{ м}$	
$S = ?$	

Розв'язання.

Опір провідника визначається співвідношенням:  $R = \rho \frac{l}{S}$ .

Звідси  $S = \rho \frac{l}{R}$ .

Згідно з законом Ома:  $I = \frac{U}{R}$ , звід-

ки  $R = \frac{U}{I}$ .

Отримаємо:

$$S = \rho \frac{Il}{U}$$


Перевіримо одиниці шуканої величини:

$$[S] = \text{Ом} \cdot \text{м} \cdot \frac{\text{м} \cdot \text{А}}{\text{В}} = \frac{\text{В}}{\text{А}} \cdot \text{м}^2 \cdot \frac{\text{А}}{\text{В}} = \text{м}^2.$$

Знайдемо числове значення шуканої величини:

$$\{S\} = 5,5 \cdot 10^{-8} \frac{4 \cdot 0,5}{5} = 2,2 \cdot 10^{-8}.$$

Відповідь:  $S = 0,022 \text{ мм}^2$ .

-  2. Розрахуйте силу струму, що проходить через нікеліновий провідник довжиною 100 м і площею поперечного перерізу  $0,5 \text{ мм}^2$ , якщо до кінців провідника прикладено напругу 220 В.

Дано:	СИ
$l = 100 \text{ м}$	
$S = 0,5 \text{ мм}^2$	$0,5 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$
$U = 220 \text{ В}$	
$\rho = 0,4 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$	$0,4 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$
$I = ?$	

Розв'язання.

Згідно із законом Ома для ділянки кола:  $I = \frac{U}{R}$ .

Опір провідника дорівнює  $R = \rho \frac{l}{S}$ .

Отримаємо:  $I = \frac{U}{\rho \frac{l}{S}} = \frac{US}{\rho l}$ .

Перевіримо одиниці шуканої величини:

$$[I] = \frac{\text{В} \cdot \text{м}^2}{\text{Ом} \cdot \text{м} \cdot \text{м}} = \frac{\text{В}}{\text{Ом}} = \frac{\text{В}}{\frac{\text{В}}{\text{А}}} = \text{А}.$$

Знайдемо числове значення шуканої величини:

$$\{I\} = \frac{220 \cdot 0,5 \cdot 10^{-6}}{0,4 \cdot 10^{-6} \cdot 100} = 2,75.$$

Відповідь.  $I = 2,75 \text{ А}$ .



### Запитання для самоперевірки

1. Як показати на досліді залежність опору провідника від його довжини, площі поперечного перерізу і матеріалу провідника?
2. Збільшується чи зменшується опір провідників з підвищенням температури? Чому?
3. Як ви розумієте твердження, що питомий опір міді дорівнює  $0,017 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$ ?



### Завдання 33

1. Використовуючи таблицю 16, визначте, який з металів має найбільший питомий опір, який — найменший.
2. Як зміниться опір металевого провідника, якщо його розрізати навпіл і половинки скрутити між собою?
3. Розрахуйте опір мідного трамвайного проводу довжиною 1 км, якщо площа його поперечного перерізу  $0,65 \text{ см}^2$ .
4. Якої довжини треба взяти ніхромовий дріт перерізом  $0,4 \text{ мм}^2$ , щоб виготовити з нього спіраль для електроплитки опором  $50 \text{ Ом}$ ?
5. Визначте напругу на кінцях залізного провідника довжиною 120 см і площею поперечного перерізу  $0,25 \text{ мм}^2$ . Сила струму в провіднику  $250 \text{ мА}$ .
- 6\*. Опір мідного дроту  $R = 1 \text{ Ом}$ , його маса  $m = 1 \text{ кг}$ . Яка довжина дроту? Яка площа його поперечного перерізу?
7. Використовуючи омметр і лінійку, визначте діаметр тонкого ніхромового дроту. Відповідь перевірте з допомогою мікрометра.



## Робота з комп'ютером

Вивчіть матеріал уроку і виконайте запропоновані в електронному додатку завдання.

### §34. Реостати

- ✓ Від чого залежить опір провідника?
- ✓ Як сила струму в провіднику залежить від його опору?

**1** Дуже часто на практиці доводиться змінювати силу струму в колі, плавно збільшуючи або зменшуючи її. Пригадайте, наприклад, як гасне світло в театрі або кінотеатрі, як регулюється гучність звуку в радіоприймачі. Це відбувається за рахунок зміни сили струму. При пуску електричних двигунів, при виключенні сильних струмів в різних технічних пристроях необхідно поступово змінювати силу струму.

Змінити силу струму можна, змінюючи опір кола. Прилади, що дозволяють плавно регулювати силу струму в колі, називають **реостатами**.

**2** Продемонструвати принцип роботи реостата можна за допомогою звичайного провідника, бажано нікелінового або ніхромового, оскільки вони мають великий питомий опір. При включенні в коло такого провідника один контакт (*A*) нерухомий, а інший (*B*) — може переміщатися уздовж провідника (рис.118).

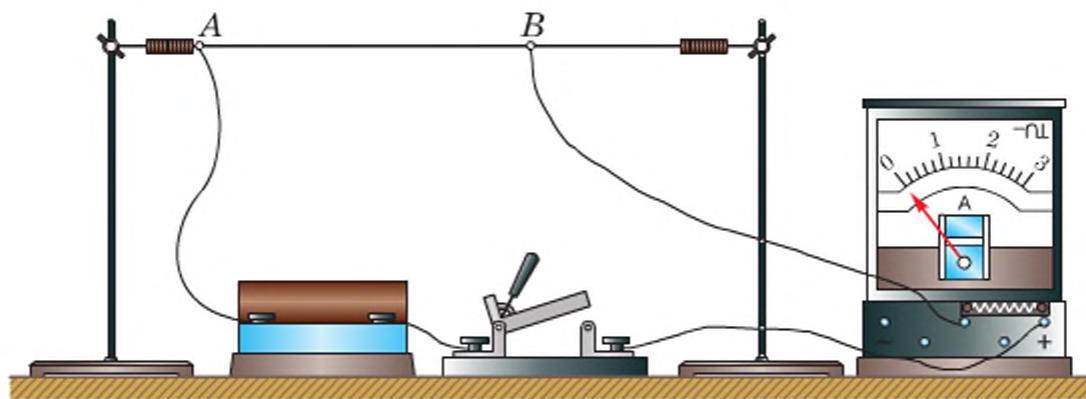


Рис. 118

Амперметр показує, як змінюється сила струму в колі при переміщенні рухомого контакту. Очевидно, що чим більша частина провідника включена в коло (контакт *B* зміщений управо), тим більший опір провідника і, отже, тим менша сила струму в колі.

На практиці застосовують найрізноманітніші реостати. Але спільним для всіх реостатів є використання довгого провідника з великим питомим опором.

**3** Розглянемо докладніше *ковзний реостат*, з яким ви будете працювати. Його зовнішній вигляд зображено на рисунку 119, а), а умовне позначення на схемі — на рисунку 119, б).

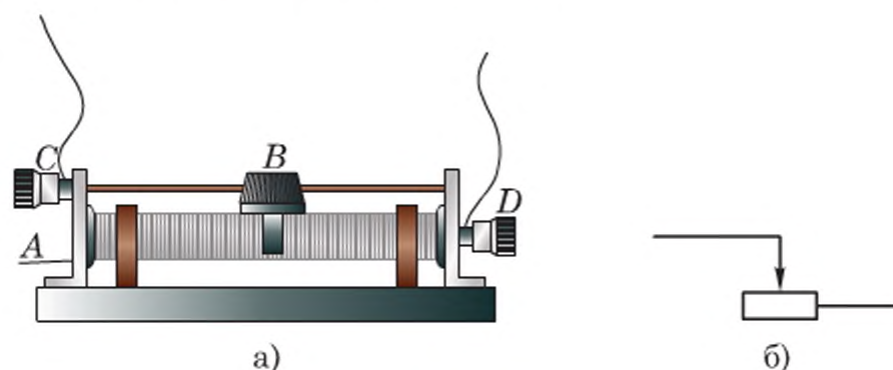


Рис. 119

У цьому реостаті нікеліновий провідник, покритий тонким шаром окалини, намотано на керамічний циліндр *A*. Окалина дозволяє ізолювати витки один від одного. Через розташований угорі металевий стержень може переміщатися повзунк *B*. Контакти повзунка притиснуті до витків обмотки, і в результаті тертя шар окалини під контактами стирається. Електричний струм в колі проходить від витків провідника до повзунка, а через нього — в стержень, на кінці якого міститься затискач *C*. Інший затискач *D* з'єднаний з одним із кінців обмотки. Таким чином, струм проходить від одного затискача до іншого через витки обмотки, число яких можна змінювати в залежності від положення повзунка.

На кожному реостаті обов'язково вказують його максимальний опір і допустиме для його обмотки значення сили струму.



## Запитання для самоперевірки

1. Яке призначення реостата в електричному колі?
2. Чому в реостатах використовують провідник з великим питомим опором?
3. Як працює лабораторний ковзний реостат?
4. Як ви думаєте, чому провідник реостата намотується на керамічний циліндр? Відповідь обґрунтуйте.



## Завдання 34

1. Якою має бути площа поперечного перерізу нікелінового провідника для виготовлення реостата, розрахованого на опір 10 Ом при довжині провідника 4 м?
2. Укажіть стрілками напрямок струму, що проходить через ковзний реостат, включений в коло, зображене на рисунку 120. Як зміниться опір кола, якщо повзунок реостата змістити вправо? Чи зміниться при цьому сила струму в колі? Що станеться зі стрілкою амперметра?

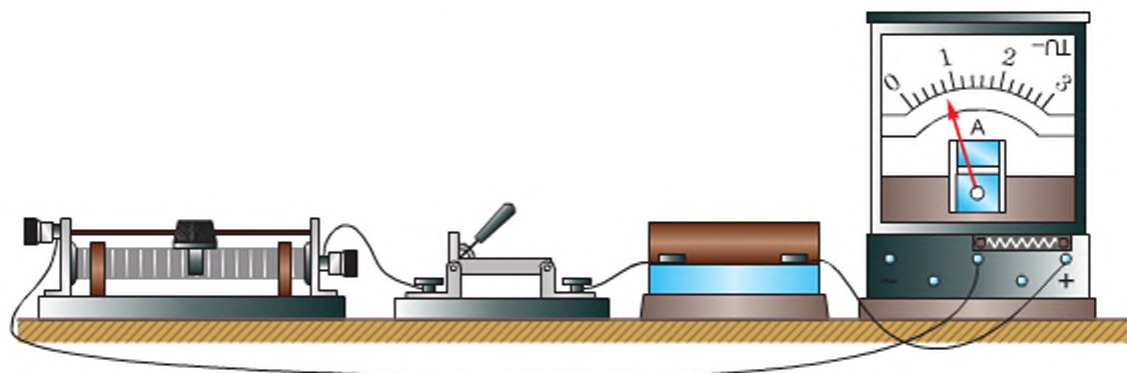


Рис. 120

## §35. Послідовне з'єднання провідників

✓ Як включають амперметр в електричне коло?

**1** Приклади послідовного з'єднання провідників (це можуть бути будь-які електричні установки та прилади) уже було наведено в попередніх параграфах. Так, послідовно з'єднані на рисунку 94 джерело струму, ключ, лампочка і дзвінок; на рисунку 102 — джерело струму, три лампочки і амперметр, а на рисунку 113 — джерело струму, ключ, магазин опорів і амперметр. *При послідовному з'єднанні кінець одного провідника з'єднується з початком іншого, а його кінець — з початком третього і т. д.*

На практиці послідовне з'єднання декількох провідників використовується, наприклад, в ялинковій гірлянді. Ви, напевно, добре знаєте, що якщо гірлянда раптом гасне, то це означає, що одна з лампочок або перегоріла, або у неї відійшов контакт. Це ще раз підтверджує вже відоме вам твердження, що струм при послідовному з'єднанні проходить через усі провідники (лампочки) і сила струму в усіх частинах одна і та сама. Варто порушити десь контакт — і струм припиняється у всьому колі.

На рисунку 121, а) зображено коло з двох послідовно з'єднаних лампочок, а на рисунку 121, б) — схема такого з'єднання.

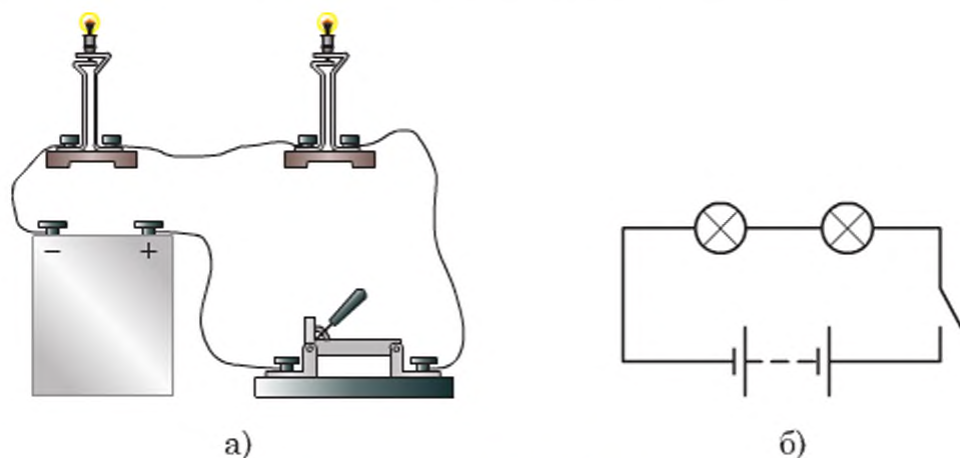


Рис. 121

Сила струму в будь-яких ділянках кола при послідовному з'єднанні однакова:

$$I_1 = I_2 = I.$$

**2** З'ясуємо, чому дорівнює загальний опір кола, якщо відомо опір кожного із провідників, які послідовно з'єднані. При з'єднанні провідників послідовно ніби збільшується загальна довжина провідника.

Загальний опір кола при послідовному з'єднанні провідників дорівнює сумі опорів окремих провідників:

$$R = R_1 + R_2.$$

Якщо провідників більше двох, то і доданків буде більше двох: їх буде стільки, скільки провідників з'єднано послідовно.

**3** Згідно із законом Ома ми можемо розрахувати напругу на кінцях окремих ділянок кола:

$$U_1 = IR_1; \quad U_2 = IR_2.$$

Оскільки сила струму скрізь одна і та сама, то можна стверджувати, що чим більший опір, тим більша напруга на такому провіднику. Якщо підключити вольтметр і виміряти напругу одразу на двох провідниках, то вона буде відповідно рівна:

$$U = IR = I(R_1 + R_2) = IR_1 + IR_2,$$

$$U = U_1 + U_2.$$

Загальна напруга в колі при послідовному з'єднанні провідників дорівнює сумі напруг на окремих ділянках кола.

Доданків напруг буде стільки ж, скільки провідників у колі.



### Запитання для самоперевірки

1. Яке з'єднання провідників називають послідовним?
2. Перегляньте підручник і знайдіть приклади послідовних з'єднань.



3. Яка з трьох фізичних величин —  $U$ ,  $I$  чи  $R$  — залишається постійною для всіх провідників, з'єднаних послідовно?
4. Чому дорівнює загальний опір кола, що складається з трьох окремих провідників, при їхньому послідовному з'єднанні?
5. Запишіть формулу для розрахунку напруги на ділянці кола, що складається з трьох послідовно з'єднаних провідників.



### Завдання 35

1. Чи правильне твердження про те, що загальна напруга в колі при послідовному з'єднанні провідників дорівнює напрузі на полюсах джерела струму? Відповідь обґрунтуйте.
2. Обчисліть загальний опір електричного кола, що складається з трьох провідників, схема якого наведена на рисунку 122.
3. Два провідники, опори яких  $R_1 = 5$  кОм і  $R_2 = 1$  кОм, з'єднані послідовно (рис. 123). Сила струму в колі дорівнює 3 мА. Визначте покази вольтметра, включеного між точками  $A$  і  $C$ . Що будуть показувати вольтметри, включені між точками  $A$  і  $B$ ,  $B$  і  $C$ ?

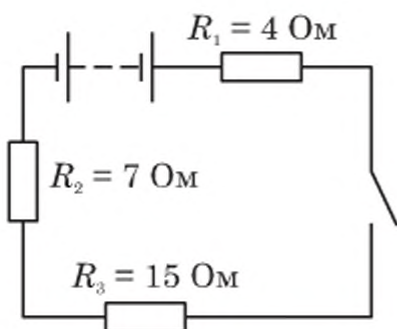


Рис. 122

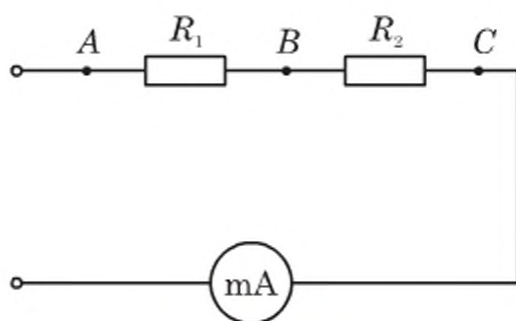


Рис. 123

4. Чому дорівнює напруга на лампі, якщо її опір у 2 рази більший за опір провідника  $R$ ? Значення напруги на кінцях провідника визначте з рисунка 124.
- 5\*. У коло послідовно включені три провідники з опорами  $R_1 = 5$  Ом,  $R_2 = 8$  Ом,  $R_3 = 15$  Ом (рис. 125). Яку силу струму показує амперметр і яка напруга між точками  $A$  і  $B$ , якщо показ вольтметра, підключеного до опору  $R_2$ , дорівнює 1,6 В?

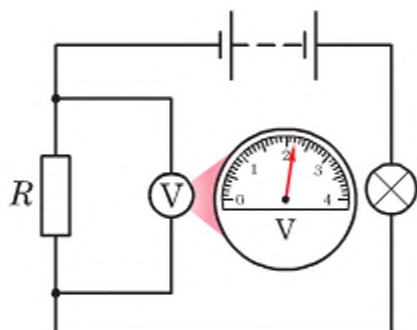


Рис. 124

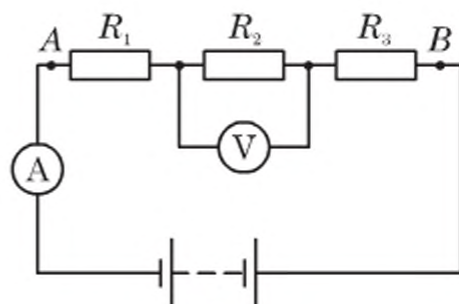


Рис. 125



## Лабораторна робота № 4

### Дослідження електричного кола з послідовним з'єднанням провідників

**Мета роботи:** експериментально дослідити взаємозв'язок між силою струму, напругою і опором провідників при їхньому послідовному з'єднанні.

**Обладнання.** 1. Лабораторне джерело живлення. 2. Два резистори. 3. Амперметр. 4. Вольтметр. 5. Ключ. 6. З'єднувальні дроти.



#### *Хід роботи*

1. Накресліть схему електричного кола, яку ви будете збирати.
2. Складіть електричне коло.

3. Виміряйте силу струму, включивши амперметр спочатку в електричне коло між джерелом струму і одним із резистором  $I_1$ , потім в електричне коло між ключем та іншим резистором  $I_2$ , а потім в електричне коло між резисторами  $I$ . Запишіть в таблицю результати.

4. Виміряйте напругу  $U_1$ , спочатку на одному з резисторів, потім — напругу  $U_2$  на іншому резисторі, а потім — напругу  $U$  на обох резисторах. Результати запишіть у таблицю.

5. Розрахуйте опір  $R_1$  першого резистора, опір  $R_2$  другого резистора, знайдіть їхню суму; запишіть результати в таблицю.

6. Розрахуйте опір  $R$  двох резисторів, знаючи напругу на них і силу струму в колі; запишіть результат в таблицю.

*Таблиця*

$I_1$ , А	$I_2$ , А	$I$ , А	$U_1$ , В	$U_2$ , В	$U$ , В	$R_1$ , Ом	$R_2$ , Ом	$(R_1 + R_2)$ , Ом	$R$ , Ом

7. Зробіть висновки.



### Домашнє завдання

Дати відповіді на запитання:

- Які чинники впливають на точність одержаних результатів.
- Чи впливає на величину сили струму місце включення амперметра в колі?

## §36. Паралельне з'єднання провідників

- ✓ Яке з'єднання провідників називають послідовним?
- ✓ За якими формулами визначають силу струму, напругу і опір при послідовному з'єднанні провідників у колі?

**1** З паралельним з'єднанням провідників ви також уже зустрічалися: так, наприклад, приєднують вольтметр до провідника, на якому вимірюють напругу (див. рис. 107).

На практиці, в побуті паралельне з'єднання зустрічається частіше, ніж послідовне. Чому? Про це ви скоро дізнаєтеся.

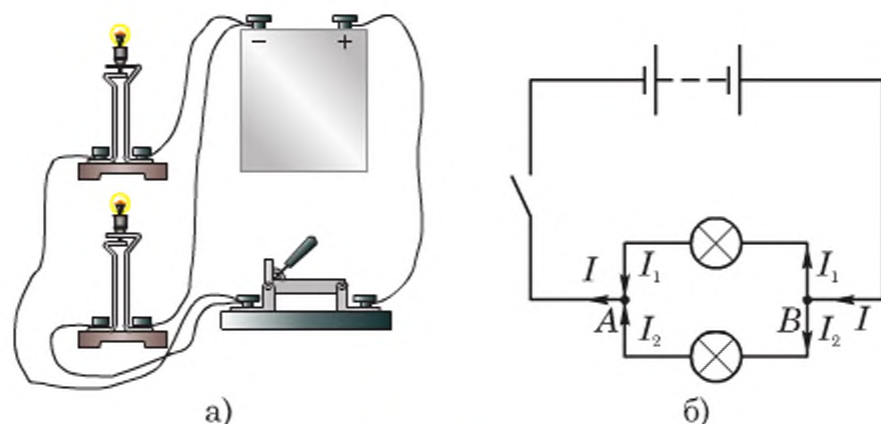


Рис. 126

На рисунку 126, а) зображено паралельне з'єднання двох лампочок, підключених через ключ до джерела струму. На рисунку 126, б) — схема цього з'єднання.

При паралельному з'єднанні всі провідники одним своїм кінцем приєднуються до однієї точки кола (А), а другим — до іншої точки (В). Тому якщо підключити до цих точок (А і В) вольтметр, то він покаже напругу на ділянці АВ, тобто і на одній лампі, і на іншій.

**Напруга на кінцях усіх паралельно з'єднаних провідників однакова:**

$$U_1 = U_2 = U.$$

**2** Якщо подивитися уважно на схему електричного кола (див. рис. 124, б), то видно, що коло в точці В розгалужується.

Частина струму йде в одну лампу, частина — в іншу. У точці А обидва струми сходяться знову.

При паралельному з'єднанні провідників сила струму в нерозгалуженій частині кола дорівнює сумі сили струму в окремих ділянках кола:

$$I = I_1 + I_2.$$

**3** Чому ж дорівнює загальний опір паралельно з'єднаних провідників?

Якщо замість одного провідника взяти два паралельно з'єднаних (скручених разом або розташованих окремо один від одного) провідники, то

відбувається ніби збільшення площі поперечного перерізу провідника. Справді, в електричного струму, тобто напрямленого руху вільних електронів, з'являється можливість рухатися вільніше і «відчувати» менший опір з боку кристалічної ґратки. З цього випливає, що загальний опір провідників зменшується і стає меншим від опору кожного з провідників, що входять у коло. Досліди підтверджують правильність нашого умовиводу.

**4** Використовуючи закон Ома для ділянки кола, можна отримати формулу для розрахунку загального опору провідників, з'єднаних паралельно, опори яких різні.

Враховуючи, що  $I = I_1 + I_2$ , а  $I = \frac{U}{R}$ ,  $I_1 = \frac{U_1}{R_1}$ ,  $I_2 = \frac{U_2}{R_2}$ , отримуємо:

$$\frac{U}{R} = \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2}.$$

Оскільки  $U = U_1 = U_2$ , то

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}.$$

Якщо паралельно з'єднані не два, а більша кількість провідників, то у формулах для визначення загальної сили струму і загального опору кількість доданків збільшиться і буде дорівнювати кількості провідників.

Якщо провідники однакові, підрахувати загальний опір паралельних провідників неважко. Так, при з'єднанні двох провідників із опорами  $R_1$

і  $R_2$ , за умови  $R_1 = R_2$ , загальний опір буде у 2 рази меншим:  $R = \frac{R_1}{2}$ . Якщо

однакових провідників декілька ( $n$ ), то загальний опір стане в  $n$  разів меншим:  $R = \frac{R_1}{n}$ .

**5** Тепер стає зрозумілою відповідь на запитання: чому паралельне з'єднання використовується частіше, ніж послідовне?

Перш за все, всі споживачі електричної енергії при паралельному з'єднанні працюють навіть у тому випадку, якщо один із них відключається. Коло залишається замкнутим, і струм не переривається. Крім того, всі

споживачі і пристрої можуть виготовлятися для використання в мережі з однаковою напругою.



## Запитання для самоперевірки

1. Яке з'єднання провідників називають паралельним?
2. Яка з фізичних величин —  $I$ ,  $U$  чи  $R$  — однакова для всіх провідників, з'єднаних паралельно?
3. Що відбувається зі струмом у колі з паралельним з'єднанням провідників?
4. Запишіть формулу для визначення загальної сили струму в колі, що складається з трьох паралельно з'єднаних провідників.
5. Як ви можете пояснити той факт, що загальний опір паралельно з'єднаних провідників менший від опору кожного з провідників, які входять в це з'єднання?
6. Запишіть формулу для визначення загального опору паралельно з'єднаних провідників.



## Завдання 36

1. Що станеться, якщо викрутити одну з лампочок в колі, зображеному на рисунку 127.
2. В яких точках електричного кола —  $A$ ,  $B$  або  $C$  — треба поставити ключ (див. рис. 127), щоб можна було вимкнути лампу 3; щоб горіла тільки лампа 1?
3. Два провідники, опори яких  $R_1 = 5$  Ом і  $R_2 = 3$  Ом, з'єднані так, як показано на схемі (рис. 128). Визначте покази амперметра, якщо вольтметр показує значення напруги 40 В.
- 4\*. Амперметр А (рис. 129, а) показує значення сили струму 1,6 А при напрузі 120 В. Опір  $R_1 = 100$  Ом. Визначте значення опору  $R_2$  і покази амперметрів  $A_1$  і  $A_2$ .
- 5\*. Знайдіть загальний опір кола та силу струму в кожному з резисторів (рис. 129 б). До ділянки кола прикладена напруга 110 В, опір кожного резистора 200 Ом.

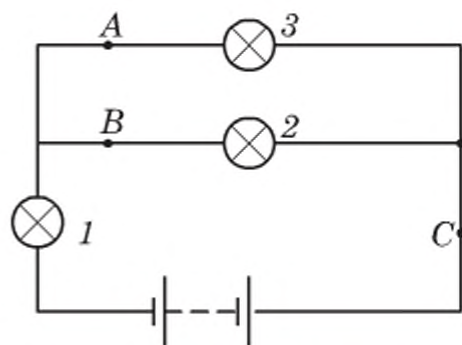


Рис. 127

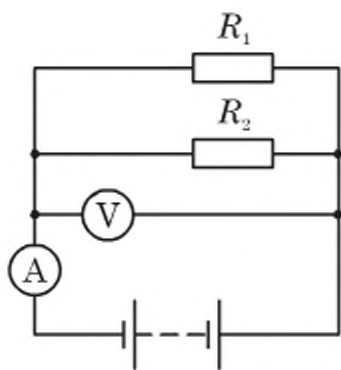


Рис. 128

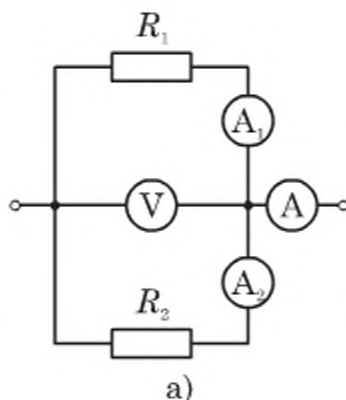
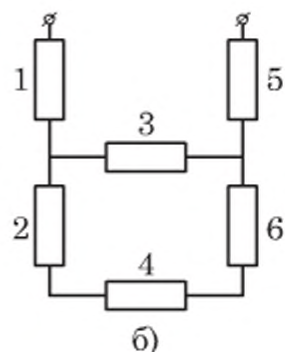


Рис. 129



## Лабораторна робота №5

### Дослідження електричного кола з паралельним з'єднанням провідників

**Мета роботи:** експериментально дослідити взаємозв'язок між силою струму, напругою і опором провідників при їх паралельному з'єднанні.

**Обладнання.** 1. Лабораторне джерело живлення. 2. Два провідники (резистори). 3. Амперметр. 4. Вольтметр. 5. Реостат. 6. Ключ. 7. З'єднувальні дроти.



### Хід роботи

1. Накресліть схему електричного кола, що складається з двох паралельно з'єднаних резисторів.
2. Складіть електричне коло.
3. Виміряйте силу струму  $I$ , що проходить через нерозгалужену частину кола, а потім — силу струму  $I_1$ , що протікає через один резистор, і силу струму  $I_2$ , що протікає через другий резистор. Результати запишіть в таблицю.

Таблиця

$I, \text{A}$	$I_1, \text{A}$	$I_2, \text{A}$	$(I_1 + I_2), \text{A}$	$U, \text{В}$	$R_1, \text{Ом}$	$R_2, \text{Ом}$	$R, \text{Ом}$

4. Виміряйте напругу  $U$  на кінцях резисторів, результат запишіть в таблицю.
5. Розрахуйте опір  $R_1$  і  $R_2$  кожного резистора, а також загальний опір  $R$  паралельно з'єднаних резисторів. Дані запишіть у таблицю.
6. Обчисліть величини, обернені опорам резисторів, і порівняйте їх суму з величиною, оберненою до загального опору.
7. Зробіть висновки.



### Домашнє завдання

1. Дайте відповіді на запитання:
  - Чому паралельне, а не послідовне з'єднання споживачів електроенергії застосовують найчастіше?
  - Через який з резисторів протікає більша сила струму і чому?
2. Складіть схему підключення побутових приладів у вас вдома.

## §37. Робота й потужність електричного струму

- ✓ Від яких фізичних величин залежить механічна робота?
- ✓ Що характеризує ККД двигуна?
- ✓ Що називають потужністю?

**1** Розглядаючи приклади дії електричного струму (теплову, магнітну, хімічну), ми під діями розуміли різноманітні результати роботи



електричного струму. Нагрівання металевого провідника, притягання металевих предметів, поворот рамки зі струмом і т. ін. — все це приклади роботи електричного струму. У всіх цих випадках енергія одного виду (енергія електричного поля або електрична енергія) перетворювалася в енергію іншого виду (внутрішню, механічну тощо).

**2** Поняття роботи було вже введено в механіці. Як можна розрахувати роботу електричного струму, використовуючи електричні величини?

Ви вже знаєте, що напруга — це фізична величина, яка дорівнює відношенню роботи електричного поля на певній ділянці кола до величини заряду, що пройшов по цій ділянці при протіканні електричного струму:

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

З цього співвідношення випливає, що робота, яку виконує електричний струм на певній ділянці кола, визначається формулою:

$$A = Uq.$$

Якщо сила струму  $I$  в провіднику, то за час  $t$  через поперечний переріз провідника протече заряд  $q = It$ .

Тоді формулу для роботи електричного струму можна записати так:

$$A = UIt.$$

**Робота електричного струму на ділянці кола дорівнює добутку напруги на кінцях цієї ділянки, сили струму і часу, протягом якого виконується робота.**

Одиницею роботи, як ви знаєте, є *джоуль* (1 Дж). Цю одиницю можна виразити через електричні одиниці:

$$[A] = 1 \text{ Дж} = 1 \text{ В} \cdot \text{А} \cdot \text{с}.$$

На практиці роботу часто виражають не в джоулях, а в інших одиницях: *ват-година* (1 Вт·год), *кіловат-година* (1 кВт·год).

**3** Для вимірювання роботи електричного струму можна скористатися трьома приладами: амперметром, вольтметром і годинником. Але в реальному житті для вимірювання роботи електричного струму користуються спеціальними приладами — *лічильниками електричної енергії*.

**4** На багатьох електричних приладах, технічних пристроях або в інструкціях до них вказується ще одна характеристика споживачів електричної енергії — потужність. Наприклад, потужність лампи розжарювання може бути 40 Вт, 60 Вт, 100 Вт і т. д.; потужність домашньої кавомолки — 120 Вт, а електричної праски — приблизно 1000 Вт; а ось потужність електродвигунів, як правило, дуже велика — декілька тисяч кіловат тощо. При цьому мають на увазі потужність електричного струму, що проходить через той чи інший прилад.

Від яких характеристик електричних кіл залежить потужність електричного струму? Ви вже знаєте, що потужність — це фізична величина, яка дорівнює відношенню роботи до інтервалу часу, впродовж якого вона була виконана:

$$P = \frac{A}{t}.$$

Оскільки робота електричного струму визначається співвідношенням  $A = UIt$ , то тоді можна сказати, що **потужність електричного струму дорівнює добутку напруги на силу струму в колі:**

$$P = UI.$$

Одиниця потужності, як вам відомо, **ват (1 Вт)**. Користуючись формулою потужності електричного струму, її одиницю можна виразити через електричні одиниці — ампер і вольт.

$$[P] = 1 \text{ Вт} = 1 \text{ В} \cdot \text{А}.$$

**5** Вимірявши силу струму і напругу за допомогою амперметра і вольтметра (рис. 130), можна визначити значення потужності електричного струму в провіднику (або споживачі). Загалом, використовуючи закон Ома, визначити потужність також можна, якщо виміряти силу струму і опір або опір і напругу. Зручніше, проте, вимірювати силу струму і напругу.

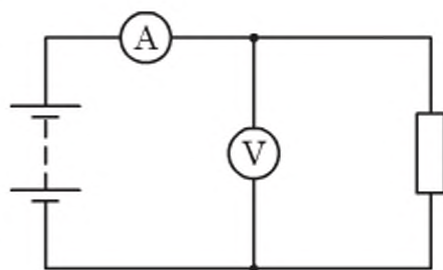


Рис. 130

Для вимірювання потужності електричного струму існує і спеціальний прилад — *ватметр*.


**6\*** Пояснимо тепер, що мають на увазі, коли говорять про потужність будь-якого електричного приладу. Наприклад, потужність електропраски 1000 Вт. Це означає, що при повністю включеному регуляторі температури праски (праска максимально розігрівається) потужність електричного струму, що проходить через неї, 1000 Вт. Відомо, що праска включається в мережу з напругою 220 В. Для того, щоб вона працювала з необхідною потужністю, при виготовленні праски підбирають відповідний опір. Використовуючи формулу потужності і закон Ома для ділянки кола, можна обчислити значення цього опору:

$$P = IU = \frac{U}{R}U = \frac{U^2}{R}, \text{ звідки } R = \frac{U^2}{P}.$$

$$\text{Опір дорівнює } R = \frac{(220 \text{ В})^2}{1000 \text{ Вт}} = 48,4 \text{ Ом}.$$

Саме при такому опорі максимальна потужність електричного струму в прасці дорівнюватиме 1000 Вт.

### 7 Приклади розв'язування задач.

 1. Визначте, яку роботу виконує електродвигун за 8 год роботи, якщо сила струму в колі електродвигуна 6 А, а напруга на його клеммах 220 В. Відомо, що ККД електродвигуна 60%.

Дано:  
 $t = 8 \text{ год}$   
 $I = 6 \text{ А}$   
 $U = 220 \text{ В}$   
 $\eta = 60 \%$   
 $A_{\text{к}} - ?$

СИ  
28800 с

Розв'язання.

Робота, яка виконується електродвигуном,  $A_{\text{к}}$  — це корисна робота струму; вона становить 60 % від повної роботи.

Повна робота струму дорівнює:  $A_{\text{з}} = IUt$ .

$$\text{ККД двигуна: } \eta = \frac{A_{\text{к}}}{A_{\text{з}}} \cdot 100\%.$$

$$\text{Як наслідок, корисна робота двигуна: } A_{\text{к}} = \frac{A_{\text{з}} \eta}{100\%} = \frac{UIt \eta}{100\%}.$$


Перевіримо одиниці шуканої величини:

$$[A_{\kappa}] = \frac{\text{В} \cdot \text{А} \cdot \text{с} \cdot \%}{\%} = \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} \cdot \text{А} \cdot \text{с} = \frac{\text{Дж}}{\text{А} \cdot \text{с}} \cdot \text{А} \cdot \text{с} = \text{Дж}.$$

Знайдемо числове значення шуканої величини:

$$\{A_{\kappa}\} = \frac{220 \cdot 6 \cdot 28800 \cdot 60}{100} = 22800000.$$

Відповідь.  $A_{\kappa} = 22800$  кДж.

-  **2.** Ніхромова спіраль електроплитки довжиною 10 м і площею поперечного перерізу  $0,25 \text{ мм}^2$  включена в мережу з напругою 220 В. Знайдіть потужність струму в спіралі.

Дано:	СИ
$l = 10 \text{ м}$	
$S = 0,25 \text{ мм}^2$	$0,25 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$
$U = 220 \text{ В}$	
$\rho = 1,1 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$	$1,1 \cdot 10^{-6} \text{ Ом} \cdot \text{м}$
$P - ?$	

Розв'язання.

Потужність електричного струму дорівнює  $P = IU = \frac{U^2}{R}$ , а опір провідника —  $R = \rho \frac{l}{S}$ .

Отримаємо:

$$P = \frac{U^2}{\rho \frac{l}{S}} = \frac{U^2}{\rho} \cdot \frac{S}{l} = \frac{U^2 S}{\rho l}.$$

Перевіримо одиниці шуканої величини:

$$[P] = \frac{\text{В}^2 \cdot \text{м}^2}{\text{Ом} \cdot \text{м} \cdot \text{м}} = \frac{\text{В}^2}{\text{Ом}} = \frac{\text{В}^2}{\frac{\text{В}}{\text{А}}} = \text{А} \cdot \text{В} = \text{А} \cdot \frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} = \text{А} \cdot \frac{\text{Дж}}{\text{А} \cdot \text{с}} = \frac{\text{Дж}}{\text{с}} = \text{Вт}.$$

Знайдемо числове значення шуканої величини:

$$\{P\} = \frac{220^2 \cdot 0,25 \cdot 10^{-6}}{1,1 \cdot 10^{-6} \cdot 10} = 1100.$$

Відповідь.  $P = 1100$  Вт.



## Запитання для самоперевірки

1. Від чого залежить робота електричного струму на ділянці кола?
2. За допомогою яких приладів можна виміряти роботу, що здійснюється електричним струмом?
3. Що таке потужність електричного струму?
4. Яким чином потужність залежить від напруги та сили струму в колі?
5. За допомогою яких приладів можна виміряти потужність електричного струму?



## Завдання 37

1. Доведіть, що  $1 \text{ Вт} \cdot \text{год} = 3600 \text{ Дж}$ .
2. Потужність електропилососа  $0,6 \text{ кВт}$ . Обчисліть роботу, що здійснюється електричним струмом протягом  $30 \text{ хв}$ .
3. Радіоприймач включений в мережу з напругою  $220 \text{ В}$ . Сила струму в колі  $0,4 \text{ А}$ . Скільки електроенергії (в  $\text{кВт} \cdot \text{год}$ ) витрачається за  $3 \text{ год}$  роботи радіоприймача?
4. Протягом тижня в один і той самий час доби записуйте покази лічильника у вашому домі. Накресліть графік витрати електроенергії протягом тижня. Підрахуйте вартість витраченої електроенергії, попередньо дізнавшись у вчителя вартість  $1 \text{ кВт} \cdot \text{год}$  електроенергії.
5. В якому випадку потужність електричного струму більша: при силі струму  $1,5 \text{ А}$  і напрузі  $12 \text{ В}$  або при силі струму  $600 \text{ мА}$  і напрузі  $0,5 \text{ кВ}$ ?
6. В якій з ламп, зображених на схемах рисунка 131, сила струму більша? Яка з них має більший опір?
7. Розрахуйте потужність струму в електродвигуні, використовуючи покази приладів, зображених на рисунку 132. Як зміниться потужність при переміщенні повзунка реостата вправо?
- 8\*. В електричні кола, зображені на рисунку 133, включені однакові лампи, але в першому колі — послідовно, а в другому — паралельно. При якому з'єднанні цих ламп потужність струму в них буде більшою? Напруга на джерелі струму в обох колах однакова.

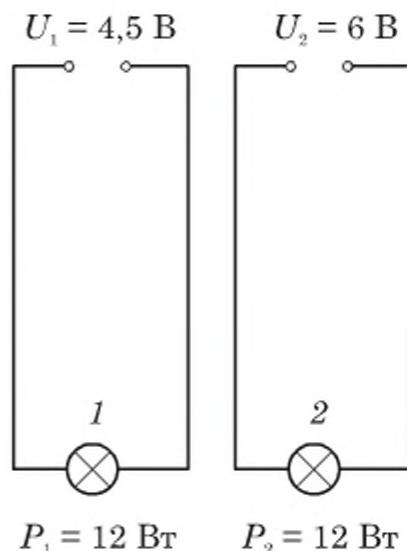


Рис. 131

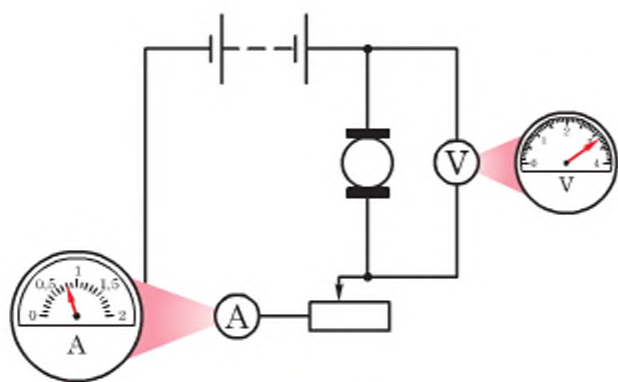


Рис. 132

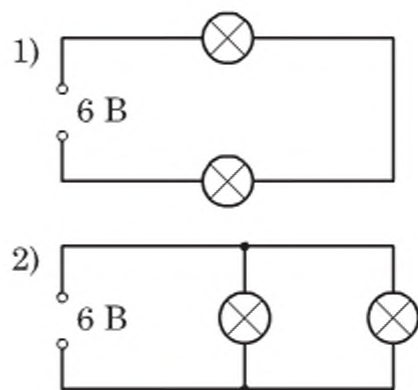


Рис. 133



### Робота з комп'ютером

Вивчіть матеріал уроку і виконайте запропоновані в електронному додатку завдання.

## §38. Закон Джоуля–Ленца. Електронагрівальні прилади

✓ Як проявляється теплова дія електричного струму?

**1** Проходження електричного струму через провідник завжди супроводжується нагріванням провідника. Нагрівання відбувається тому, що вільні електрони в металах, які розігналися під дією електричного поля або іони в розчинах, які проводять струм, стикаються з молекулами або атомами провідника і віддають їм свою енергію. Так енергія електричного поля переходить у внутрішню енергію провідника.

У нерухомих металевих провідниках, як показують досліди, вся робота струму йде на збільшення внутрішньої енергії. Провідники при цьому нагріваються. Отже, кількість теплоти, що виділяється в провіднику, дорівнює роботі струму:

$$Q = A \quad \text{або} \quad Q = UIt.$$

**2** Очевидно, що кількість теплоти, що виділяється в провіднику, має залежати від опору провідника. Чим більший опір, тим «важче» рухатися



*Джеймс Прескотт Джоуль* (1818–1889) — англійський фізик. Досліджував теплову дію електричного струму.

зарядам у провіднику, тим більша частина електричної енергії буде перетворюватися у внутрішню енергію. Користуючись законом Ома, перетворимо формулу  $Q = UIt$ . Оскільки  $U = IR$ , то отримуємо:

$$Q = IRIt$$

або

$$Q = I^2Rt.$$

**Кількість теплоти, що виділяється при проходженні струму через провідник, дорівнює добутку квадрата сили струму, опору провідника і часу проходження струму.**

Ця залежність уперше була виявлена експериментально одночасно двома вченими: англійським ученим *Джеймсом Джоулем* (1818 – 1889) і російським ученим *Емілем Ленцом* (1804 – 1865). Тому цей закон називають **законом Джоуля–Ленца**.



*Еміль Ленц* (1804–1865) – російський фізик і електротехнік. Встановив закон, який визначає теплову дію струму.

**3** Властивість провідників нагріватися при протіканні по них електричного струму широко застосовується в побуті, промисловості, транспорті і т.д. Основу добре всім відомих *електронагрівальних приладів*, таких, як праска, чайник, кип'ятильник, становить металевий *нагрівальний елемент*, температура якого зростає при проходженні по ньому електричного струму.

В нагрівальних елементах використовують метали, які можуть витримувати температуру до 1000 °С.

Найчастіше для виготовлення нагрівального елемента застосовують матеріал — ніхром (сплав нікелю, заліза, хрому і марганцю) який має високу температуру плавлення та великий питомий опір. Завдяки великому опору нагрівальні елементи з ніхрому мають невеликі розміри. Нагрівальні елементи розміщують на теплостійких (переважно керамічних) ізоляторах.

Перевагою електронагрівальних приладів є їхня екологічність. Під час їхньої роботи не виділяються шкідливі речовини. В порівнянні з газовими нагрівачами вони є вибухобезпечними.



### Запитання для самоперевірки

1. Як можна пояснити нагрівання провідників електричним струмом? Чому кількість теплоти, що виділяється в провіднику, тим більша, чим більша сила струму й опір провідника?
2. Наведіть приклади пристроїв, в яких використовується нагрівання провідників електричним струмом.
3. Сформулюйте закон Джоуля–Ленца.
4. Чому для виготовлення нагрівальних елементів використовують матеріали з великим опором? Відповідь обґрунтуйте.



### Завдання 38

1. Реостат із опором 100 Ом включений в коло максимальним опором. Сила струму в колі 3 А. Яка кількість теплоти виділиться в реостаті протягом 10 хв?
2. Два провідники, мідний і залізний, рівної довжини і однакової площі поперечного перерізу включені в коло джерела струму. У якому провіднику виділиться більша кількість теплоти, якщо вони з'єднані: а) послідовно; б) паралельно? Відповіді обґрунтуйте.
- 3\*. В електричному чайнику при напрузі 220 В і силі струму 6 А за 20 хв нагрілося 4 кг води від 20 °С до 80 °С. Визначте ККД цього чайника.
- 4\*. У колі, яке складається з трьох однакових провідників, з'єднаних паралельно й увімкнених у мережу постійної напруги, за 40 с виділилась певна кількість теплоти. За який час виділиться така ж кількість теплоти, якщо провідники з'єднати послідовно?



### Робота з комп'ютером

Вивчіть матеріал уроку і виконайте запропоновані в електронному додатку завдання.



## §39. Природа електричного струму в розчинах і розплавах електролітів. Закон Фарадея для електролізу

- ✓ Які дії електричного струму вам відомі?
- ✓ Які умови протікання електричного струму?

**1** Розглянемо механізм протікання електричного струму в рідинах. Не всі рідини є провідниками електричного струму. Дистильована вода, наприклад, не містить вільних зарядів — електронів або іонів, тому в ній електричний струм виникнути не може.

Щоб переконатися в цьому, проведемо наступний дослід. У посудину з дистильованою водою опустимо два вугільних *електроди* (два стержні) і під'єднаємо їх до кола, що складається з джерела струму, лампочки і ключа (рис. 134). При замкнутому ключі між електродами виникне електричне поле, але лампочка горіти не буде. Отже, струму в колі немає.

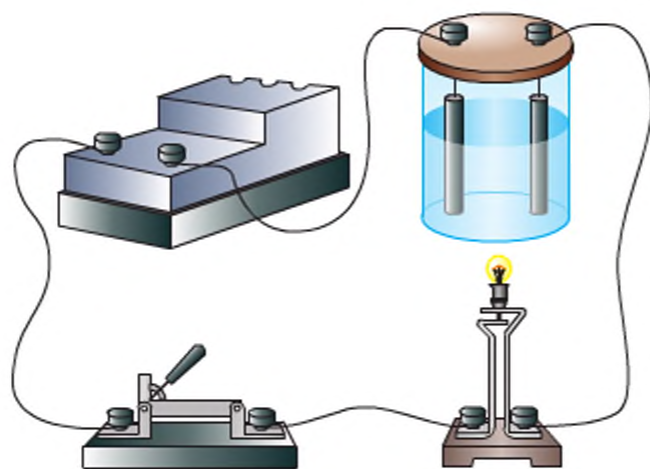


Рис. 134

Тепер додамо у воду звичайну кухонну сіль, розмішаємо розчин — і лампочка загориться. Очевидно, в розчині кухонної солі з'явилися вільні заряди. Причина їх утворення — явище *електролітичної дисоціації*, внаслідок якої молекули кухонної солі, взаємодіючи з молекулами води, розпадаються на іони: позитивні йони натрію і негативні йони хлору.

Позитивні іони натрію (*катіони*) в електричному полі будуть рухатися до електрода з'єднаного з негативним полюсом джерела струму. Такий електрод називають *катодом*. Негативні ж іони хлору (*аніони*) будуть рухатися до протилежного електрода — *анода*, який з'єднаний з позитивним полюсом джерела струму.

**2** Розчин кухонної солі можна замінити розчином мідного купоросу або будь-якого іншого електроліту (солі, кислоти, луги). Речовини, водні розчини або розплави яких проводять електричний струм, називають **електролітами**.

Дослідження залежності сили струму, що проходить через електроліт, від напруги на ньому показує, що сила струму (за певних значеннях напруги) прямо пропорційна напрузі, тобто для електроліту виконується закон Ома.

Під час протікання електричного струму через електроліт відбувається перенесення речовини, яка входить до складу електроліту, і її виділення на електродах. В результаті реакції негативно заряджені іони віддають надлишкові електрони аноду, а позитивно заряджені іони отримують електрони, яких не вистачає, від катода, що призводить до відновлення молекул і атомів.

Виділення на електродах речовин, що входять до складу електроліту, називають **електролізом**.

**3** Дослідно встановлено, що маса  $m$  речовини, що виділяється на електроді, прямо пропорційна заряду, що проходить за час  $t$  через розчин електроліту:  $m = kq$ . Оскільки  $q = It$ , то

$$m = kIt.$$

Записана формула є математичним записом **закону електролізу**.



Майкл Фарадей (1791–1867) – англійський фізик і хімік, основоположник вчення про електромагнітне поле. Вивчав хімічну дію електричного струму та електричні розряди у газах.

Маса речовини, яка виділяється на електроді за час  $t$  прямо пропорційна силі струму, що проходить через розчин електроліту, і часу його проходження.

Цей закон був установлений у 1834 році експериментально англійським ученим **Майклом Фарадеєм** (1791–1867). Коефіцієнт пропорційності  $k$  називають *електрохімічним еквівалентом речовини*. Він показує, яка маса даної речовини виділиться на електроді при проходженні через розчин електроліту заряду 1 Кл.

Одиниця електрохімічного еквівалента в СІ — *кілограм на кулон (кг/Кл)*.

Значення електрохімічного еквівалента залежить від роду речовини. Наприклад, для міді  $k = 0,33 \cdot 10^{-6}$  кг/Кл, для срібла  $k = 1,12 \cdot 10^{-6}$  кг/Кл.



### Запитання для самоперевірки

1. Що називають електролізом?
2. Які частинки є носіями заряду в розчині електроліту? Як вони утворюються?
3. Сформулюйте закон електролізу.
4. Які відмінності у протіканні електричного струму в металах та розчинах і розплавах електролітів?
5. Який фізичний зміст електрохімічного еквівалента речовини?



### Завдання 39

1. Чому під час проходження електричного струму через електроліт відбувається виділення речовин на електродах?
2. Чому дорівнює маса міді, що осяде на катоді за 40 хв при силі струму 4 А, якщо її електрохімічний еквівалент  $0,33 \cdot 10^{-6}$  кг/Кл?
- 3\*. Чому дорівнює електроенергія, яку потрібно затратити для отримання 500 кг чистої міді, якщо напруга на електролітичній ванні 0,4 В?
- 4\*. При нікелюванні деталі протягом 4 год через електролітичну ванну проходив струм силою 10 А. Яка товщина шару нікелю, що осів на деталі, якщо площа її поверхні 900 см<sup>2</sup>, густина нікелю  $8,9 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>, його електрохімічний еквівалент  $3,3 \cdot 10^{-7}$  кг/Кл?

## §40. Електричний струм у газах

**1** Гази за звичайних умов є хорошими ізоляторами. У них немає вільних електричних зарядів. Однак за певних умов гази можуть стати провідниками електричного струму.

Оскільки молекули газу електрично нейтральні, то для того, щоб газ став провідником електричного струму, необхідно будь-яким способом отримати деяке число вільних електричних зарядів: електронів і позитивних іонів.

Створити вільні електричні заряди в газі можна різними способами. Досить, наприклад, у проміжок між металевими дисками (рис. 135) внести полум'я спиртівки, як стрілка гальванометра, яка до цього стояла на нульовій поділці, відхилиться, що свідчить про проходження електричного струму по колу.

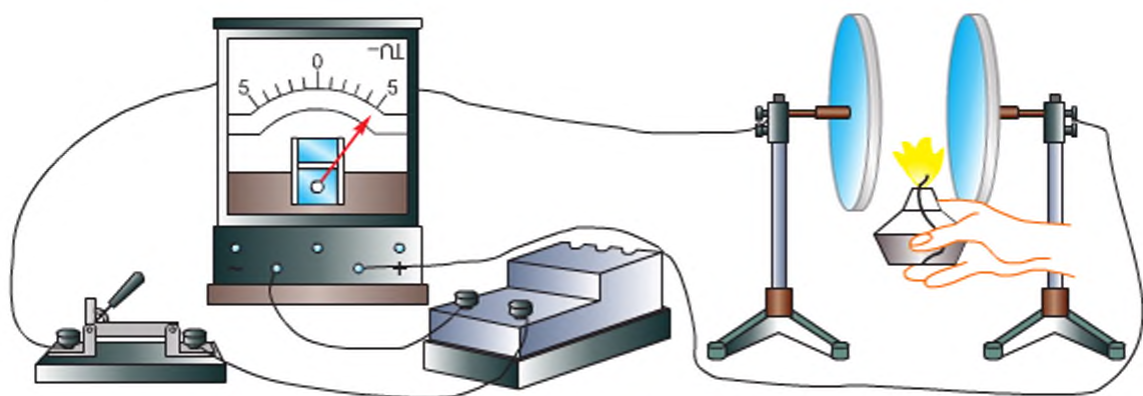


Рис. 135

**2** Пояснимо явище, яке ми спостерігали. Вам відомо, що повітря складається з атомів і молекул різних газів, які у звичайному стані нейтральні. При нагріванні збільшується швидкість теплового руху молекул, і деякі молекули при зіткненні розпадаються на позитивні іони і електрони. Відбувається *іонізація газу*. Нейтральні атоми або молекули газу можуть приєднати до себе електрони і перетворитися в негативні іони. Роль іонізатора в даному випадку виконувало полум'я сірника. Іонізаторами можуть виступати також ультрафіолетове, рентгенівське і космічне ви-

промінювання. Одночасно з процесом іонізації відбувається *рекомбінація* газу — утворення нейтрального атома при зближенні позитивного іона і електрона.

Отже, *електричний струм у газах* — *направлений рух позитивних і негативних іонів та електронів*. Протікання струму через газ називають **газовим розрядом**.

Існує два типи газових розрядів: *несамостійний і самостійний*.

**3 Несамостійний газовий розряд** спостерігався в описаному досліді (див. рис. 135). Цей розряд відбувся завдяки тому, що використовувався іонізатор, який сприяв утворенню іонів у повітрі.

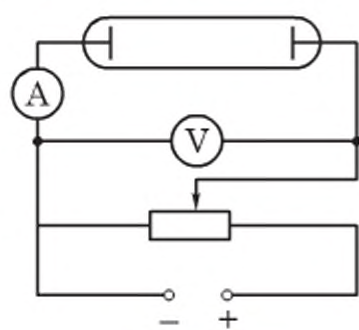


Рис. 136

Розглянемо, як сила струму в газі залежить від прикладеної напруги. Проведемо дослід. Установка являє собою скляну трубку з повітрям, в яку впаяні два металеві електроди. Електроди підключені до джерела струму (рис. 136). За допомогою випромінювання газ іонізують, а потім, змінюючи напругу, що подається на трубку, спостерігають за змінами сили струму.

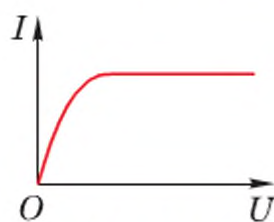


Рис. 137

Дослід показує, що спочатку при збільшенні напруги між електродами сила струму зростає (рис. 137). Це відбувається до деякого значення напруги. Подальше збільшення напруги не призводить до зміни сили струму, вона залишається сталою. Спостерігається *струм насичення*.

Це відбувається тому, що при невеликих значеннях напруги не всі іони та електрони досягають електродів. Деякі з них рекомбінують і утворюють нейтральні молекули. Чим більша напруга, тим більше заряджених частинок досягає електродів. Нарешті, напруга набуває такого значення, при якому всі іони і електрони, що утворилися під дією даного іонізатора, беруть участь у направленому русі. Тепер деяке збільшення напруги не впливатиме на силу струму.

Якщо після досягнення силою струму насичення продовжувати збільшувати напругу, то настане момент, коли сила струму різко зросте (рис. 138). Це означає, що кількість заряджених частинок у трубці збільшилася, тобто з'явилися нові іони і електрони. Причиною цього є те, що електрони набувають в електричному полі більшу енергію, якої достатньо для того, щоб іонізувати нейтральний атом. Таким чином, подальша іонізація атомів і молекул здійснюється за рахунок зіткнення з ними електронів, що мають достатню для іонізації енергію. Внаслідок цього кількість заряджених частинок швидко зростає.

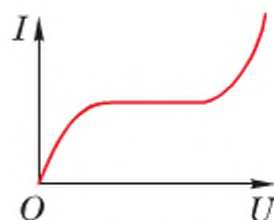


Рис. 138

Оскільки розряд буде існувати, навіть якщо прибрати іонізатор, його називають **самостійним**

**4** В залежності від властивостей і стану газу, прикладеної напруги та розміщення і типу електродів можливі різні типи самостійного розряду. **Тліючий розряд** — розряд, що відбувається в трубці, заповненій газом, за зниженого тиску порядку десятих і сотих частки міліметра ртутного стовпа (рис. 139).



Рис. 139

Тліючий розряд можна спостерігати в газорозрядній трубці, приєднаній до джерела постійної напруги близько 1000 В. За атмосферного тиску розряд у трубці відсутній.

Тліючий розряд використовують в газорозрядних лампах, які застосовуються в технічних пристроях як індикатори, для освітлення, для освітлювальної реклами.

**Іскровий розряд** відбувається за нормально-го атмосферного тиску і великої різниці потенціалів між електродами (рис. 140).



Рис. 140

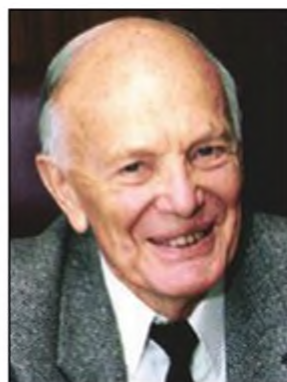
Кожен з вас неодноразово спостерігав блискавку. Блискавка — це приклад іскрового розряду



*Іван Павлович Пулюй* (1845–1918) – український і електротехнік, народився у м. Гримайлів. Працював у галузі дослідження газорозрядних процесів, електротехніки тарентгенівських променів.



*Євген Оскарович Патон* (1870–1953) — український учений у галузі зварювальних процесів і мостобудування. Засновник вітчизняної школи електрозварювання. Автор та керівник проєктів понад 100 цільнозварних мостів. Серед них один з найбільших у світі – цільнозварений міст через Дніпро, названий його ім'ям.



*Борис Євгенович Патон* (народився в 1918 р.) — український науковець у галузі зварювальних процесів. Досліджував процеси автоматичного і напівавтоматичного зварювання під флюсом. Перший започаткував дослідження у відкритому космосі в галузі технології металів, автор ідеї та один з розробників методу електрозварювання м'яких тканин. З 1962 р. — президент Національної академії наук України.

в атмосфері. Іскровий розряд можна спостерігати в лабораторії: він виникає між кондукторами електрофорної машини.



Рис. 141

Іскровий розряд застосовується, наприклад, для обробки металів

**Дуговий розряд** може так само, як і іскровий, відбуватися за атмосферного тиску (рис. 141). Його можна отримати, якщо два вугільних стержні (електроди), підключених до джерела струму, привести в зіткнення, а потім подати на них напругу порядку 40–50 В. Після того, як стержні розжаряться, їх розводять на деяку відстань, і між кінцями стержнів з'являється електрична дуга.

При роботі дуги катод сильно розігрівається під дією позитивних іонів, що випускаються анодом і бомбардують катод. Сила струму при дуговому розряді досягає дуже великих значень.

Дуговий розряд за зниженого тиску використовується в дугових лампах. Дуговий розряд також використовують при зварюванні металів.

Величина електричного поля залежить від кривини поверхні зарядженого провідника, який це поле створює. Зокрема, воно (поле) може бути дуже великим біля ділянок провідника, що виступають, по якому протікає значний електричний заряд. У цьому випадку заряд «стікає» з провідника, і біля нього спостерігається область, яка світиться. Це — **коронний розряд** (рис. 142). Він виникає навколо проводів високовольтних ліній електропередач і призводить до втрат електроенергії. Для усунення цих втрат дроти повинні бути досить товстими.



Рис. 142

Довгий час коронний розряд наводив жах на мореплавців, які спостерігали його на щоглах кораблів під час шторму чи грози (рис. 143). Не маючи можливості пояснити це явище мореплавці вважали це знаменням і назвали його «вогні святого Ельма».



Рис. 143



### Запитання для самоперевірки

1. Як створити вільні носії заряду у вакуумі?
2. Які частинки створюють електричний струм у газах?
3. У чому відмінність несамостійного газового розряду від самостійного?
4. За яких умов виникає іскровий розряд? Де він спостерігається?
5. Як виникає дуговий розряд? Де він застосовується?
6. Як виникає коронний розряд?
7. За яких умов виникає тліючий розряд? Де він застосовується?



## Завдання 40

1. Чим відрізняється утворення іонів в електролітах від іонізації газу?
2. Яким чином можна несамостійний газовий розряд перевести в самостійний?
3. Чи можна спостерігати блискавку на Місяці?
- 4\*. Де краще на вашу думку захищатися від блискавки: в долині де є озеро або річка чи на навколишніх кам'янистих горбах?
5. Заповніть таблицю 17 порівняння газових розрядів використовуючи матеріал параграфу та додаткову інформацію з мережі інтернет.

Таблиця 17

Газовий розряд		Потреба в іонізаторі	Умови виникнення	Застосування, приклади спостереження
Несамостійний				
Самостійний	Тліючий			
	Іскровий			
	Дуговий			
	Коронний			

### §41. Безпека людини під час роботи з електричними приладами й пристроями

- ✓ Що таке електричний струм?
- ✓ Які умови протікання електричного струму?

**1** Повсякденне життя неможливо уявити без електричних приладів — вони дозволяють зробити життя комфортнішим. Це — електричні нагрівачі, праски, холодильники, комп'ютери, телевізори, освітлювальні прилади, різноманітні електроінструменти та багато інших. Але потрібно не забува-

ти, що вони криють у собі приховану небезпеку, яка пов'язана з можливістю ураження людини електричним струмом або виникнення пожежі.

Під час роботи з електроприладами необхідно суворо дотримуватись застережних заходів та вимог безпеки при роботі з електропобутовими приладами.

1. Включайте в мережу тільки справні електроприлади.
2. Перед увімкненням приладу чи пристрою в мережу перевірте цілісність ізоляції проводів та вилки. Пам'ятайте, що дуже небезпечно торкатись оголених проводів приладів, які включені в мережу.
3. Вмикайте та вимикайте прилад в розетку лише тримаючись за вилку, а не за шнур, оскільки він може обірватися.
4. Не намагайтесь самостійно відремонтувати прилад. Якщо з ним щось трапилося, то негайно вимкніть його та від'єднайте від мережі.
5. Не залишайте електроприлади без нагляду.
6. Не наповнюйте водою ввімкнені в мережу електрочайники.
7. Не можна підвішувати речі на електрокабелі.
8. Не торкайтесь електроприладів мокрими руками.
9. Не використовуйте електричні прилади не за призначенням.
10. Перед виходом з дому перевірте всі електроприлади — вони повинні бути вимкненими.

Виконання цих вимог дозволить уникнути травм та виникнення пожеж.

**2** Ураження людини електричним струмом називається *електротравмою*. Вона виникає при контакті людини з електричними приладами чи пристроями, що перебувають під напругою, якщо вони несправні, чи були порушені умови експлуатації, вимоги техніки безпеки.

Оскільки людське тіло — провідник, то через нього може проходити електричний струм, дія якого може бути небезпечною. При ураженні має значення сила струму, напруга та ряд інших параметрів (місце ураження, частота струму, особливості одягу тощо). Величина струму, який протікає через людину, є головним чинником, що визначає наслідки ураження. Вважається, що смертельно небезпечним для людини є змінний струм (струм електромережі будинку) силою **0,05 А**. Він викликає фібриляцію серця (безладні скорочення), що може призвести до його зупинки.

Постійний струм є відносно безпечнішим, проте при струмах 0,09...0,1 А виникає параліч дихання.

Небезпека електричного струму зростає при збільшенні тривалості його дії.

Характер електротравм також залежить від місця ураження, тобто від того, через які органи проходить електричний струм. Найнебезпечніше, коли струм проходить від руки до руки або від руки до ноги. В цьому випадку можливе ураження серця.

Величина струму, який може пройти через людину, залежить від багатьох чинників, наприклад, від фізіологічних особливостей людини, стану організму чи зовнішніх умов. Тому варто орієнтуватися як на силу струму, так і на допустиму безпечну напругу. Безпечною вважається напруга **12...42 В**.

При ураженні людини електричним струмом насамперед потрібно звільнити людину від контакту з струмоносійними частинами. Для цього треба відключити подачу електричного струму за допомогою вимикача в приміщенні чи центрального вимикача. Якщо це неможливо зробити, то потрібно скинути дріт ізольованою палицею (дерев'яною або пластмасовою). Потім потрібно надати першу медичну допомогу та викликати лікаря.

**3** Інша небезпека при роботі з електричними приладами пов'язана з можливістю виникнення пожеж.

Найбільш поширеною причиною пожеж, викликаних електро побутовими приладами, є перегрів навколишніх предметів і матеріалів, розташованих поблизу електронагрівальних приладів, які тривалий час перебувають у включеному стані.

Також до пожежі можуть призвести **короткі замикання**, що виникають при з'єднання кінців ділянки провідником, опір якого значно менший за опір ділянки кола. Короткі замикання у провідниках виникають унаслідок псування ізоляції (при старінні, при механічній, хімічній діях тощо). Короткі замикання можуть виникати і в інших частинах приладів.

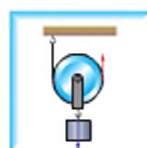
Небезпека пожежі виникає і при перенавантаженні, коли в мережу одночасно включено багато приладів. Перевищення максимального струму, на який розрахована проводка електромережі, призводить до її перегріву і подальшого руйнування ізоляції.

Для уникнення небезпеки виникнення пожежі при короткому замиканні застосовують *запобіжники* або *автоматичні вимикачі*. Їхнє призначення — вимкнути подачу електроенергії, якщо сила струму буде перевищувати максимально допустиму.



### Запитання для самоперевірки

1. Які вимоги безпеки при роботі з електропобутовими приладами?
2. Що таке електротравми і коли вони виникають?
3. Які параметри електричного струму безпечні для людини? Від чого вони залежать?
4. Які потрібно виконати дії при ураженні людини електричним струмом?
5. Що таке коротке замикання? Коли воно виникає?
6. Для чого застосовують запобіжники?



### Навчальний проект №2

Використовуючи набуті знання та отриманий досвід, виконайте навчальний проект на одну із запропонованих тем:

1. «Електрика в житті людини».
2. «Сучасні побутові та промислові електричні прилади».
3. «Застосування електролізу і струму в газах у практичній діяльності людини».
4. «Вплив електричного струму на людський організм».

## Основне у розділі II «Електричні явища. Електричний струм»

1. Електризація – процес набуття тілами електричного заряду.



2. Електричний заряд — це фізична величина, яка є мірою взаємодії заряджених частинок.

3. Існують два види електричних зарядів, що мають протилежні знаки: позитивний (+) та негативний (-).

4. Тіла, що мають електричні заряди однакового знака (однорідні), взаємно відштовхуються, а тіла, що мають електричні заряди протилежного знака (різноїрідні), взаємно притягуються.

5. Найменший (елементарний) негативний заряд має електрон  $e = -1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл, найменший позитивний заряд має протон  $q = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл.

6. Основні закони електростатики.

Назва	Математичний вираз	Формулювання	Межі застосування
Закон збереження електричного заряду	$q_1 + q_2 + q_3 + \dots + q_n = \text{const}$	Алгебраїчна сума електричних зарядів тіл у замкнутій системі залишається сталою	Замкнута система
Закон Кулона	$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$	Сила взаємодії двох точкових нерухомих зарядів у вакуумі прямо пропорційна добутку модулів зарядів і обернено пропорційна квадрату відстані між ними	Заряди точкові, нерухомі

7. Електричне поле — це вид матерії, що існує довкола заряджених тіл або частинок і діє з деякою силою на інші заряджені тіла або частинки.

Зображають електричне поле за допомогою **силових ліній електричного поля**.

**8. Електричний струм** — упорядкований рух заряджених частинок.

Умови існування електричного струму: наявність вільних електрично заряджених частинок, наявність електричного поля.

**9. Дії електричного струму.**

Назва	Прояв	Застосування
Теплова	Нагрівання провідників	Нагрівальні прилади, освітлення
Магнітна	Виникає навколо провідників із струмом	Електромагніти, електродвигуни
Хімічна	Проявляється при протіканні електричного струму через рідкий провідник	Отримання чистих металів, посріблення, хромування і т.д.

**10. Основні фізичні величини.**

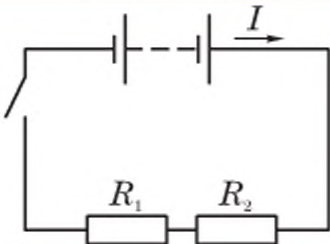
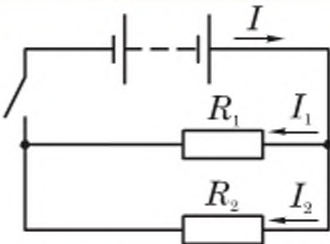
Фізична величина	Позначення	Одиниця вимірювання	Формула для визначення	Прилад для вимірювання
Сила струму	$I$	А	$I = \frac{q}{t}$	Амперметр (включається в коло послідовно)
Напруга	$V$	В	$U = \frac{A}{q}$	Вольтметр (включається в коло паралельно)
Опір	$R$	Ом	$R = \rho \frac{l}{S}$	
Потужність електричного струму	$P$	Вт	$P = UI$	Ватметр
Робота електричного струму	$A$	Дж, кВт год	$A = UIt$	Лічильник електричної енергії

**11.** Основні закони:

– закон Ома:  $I = \frac{U}{R}$ ;

– закон Джоуля-Ленца:  $Q = I^2 R t$ .

**12.** З'єднання провідників.

Послідовне	Паралельне
	
$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n$ $U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$ $R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$	$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$ $U = U_1 = U_2 = \dots = U_n$ $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$

**13.** Закон Фарадея для електролізу:

$$m = kq = kIt.$$

**14.** Електричний струм у газах.



# ПРАВИЛА ОХОРОНИ ПРАЦІ ПРИ ВИКОНАННІ ЛАБОРАТОРНИХ РОБІТ У ФІЗИЧНОМУ КАБІНЕТІ

1. Будьте уважними, дисциплінованими, обережними. Розпочинати роботу можна тільки з дозволу вчителя.
2. Приберіть все зайве зі столу. Не тримайте на робочому місці предмети, що не потрібні при виконанні завдання.
3. Розміщуйте обладнання та прилади на робочому місці так, щоб уникати їх падіння.
4. Перед тим, як почати виконання роботи, ознайомтесь з описом роботи та продумайте хід її виконання.
5. Будьте обережними при користуванні скляним посудом і приладами, не використовуйте термометр замість мішалки.
6. Перед користуванням вимірювальними приладами вивчіть їхні шкали і допустимі межі вимірювань. Не допускайте перевищення меж вимірювання приладів.
7. Електричне коло можна замикати лише після його перевірки вчителем або лаборантом.
8. Складати електричні кола, монтаж і ремонт електричних приладів треба здійснювати тільки при відключеному джерелі живлення;
9. Забороняється працювати з відкритими електричними колами, увімкненими в мережу. Напруга приладу, більша за 42 В, небезпечна для життя.
10. Не дозволяється працювати з електричними приладами у вологому одязі, братися за них мокрими руками.
11. При виявленні неполадок в електричному колі потрібно негайно вимкнути живлення і повідомити про це вчителю.
12. Не працюйте з несправною й аварійною апаратурою, без дозволу вчителя не проводьте її ремонт.
13. Після закінчення роботи вимкніть у першу чергу джерело струму, розберіть електричне коло і наведіть порядок на робочому місці.
14. Не залишайте своє робоче місце без дозволу вчителя.



## МІЖНАРОДНА СИСТЕМА ОДИНИЦЬ (СІ)

№ з/п	Фізична величина	Умовне позначення	Одиниця
<i>Основні одиниці</i>			
1.	Довжина	$l$	м
2.	Час	$t$ або $\tau$	с
3.	Маса	$m$	кг
4.	Сила струму	$I$	А
5.	Температура	$T$	К
<i>Похідні одиниці</i>			
6.	Площа	$S$	м <sup>2</sup>
7.	Об'єм	$V$	м <sup>3</sup>
8.	Температура	$t$	°С
9.	Густина	$\rho$	кг/м <sup>3</sup>
10.	Температурний коефіцієнт лінійного розширення	$\alpha$	1/°С
11.	Кількість теплоти	$Q$	Дж
12.	Питома теплоємність	$c$	$\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}}$
13.	Питома теплота плавлення	$\lambda$	Дж/кг
14.	Питома теплота пароутворення	$L$	Дж/кг
15.	Питома теплота згорання палива	$q$	Дж/кг
16.	Внутрішня енергія	$U$	Дж
17.	Сила	$\vec{F}$	Н
18.	Робота	$A$	Дж
19.	Потужність	$P$	Вт
20.	Заряд	$q$	Кл
21.	Електрична напруга	$U$	В
22.	Електричний опір	$R$	Ом
23.	Питомий опір	$\rho$	Ом м
24.	Електрохімічний еквівалент	$k$	кг/Кл

## ВІДПОВІДІ ДО ДЕЯКИХ ЗАДАЧ

- Завдання 2.** 4\*. 64,4 °F; 14,4 °R.
- Завдання 3.** 3\*. 10,8 см.
- Завдання 6.** 4\*. 600 Дж. 5\*. 2,4 Дж.
- Завдання 8.** 3. 1680 кДж. 4. 62500 кДж. 5. 250 Дж/кг·°C. 6. 0,2 кг.
- Завдання 10.** 5.  $7,8 \cdot 10^6$  Дж. 6.  $5,25 \cdot 10^5$  Дж.
- Завдання 13.** 5.  $2,3 \cdot 10^7$  Дж. 6. 44,7 кДж.
- Завдання 14.** 1. 5 кг. 2. 0,1 кг.
- Завдання 15.** 1.  $2,7 \cdot 10^8$  Дж. 2. 3 кг. 3. 250 кг. 4\*. 35 г.
- Завдання 16.** 4. 40%. 5. 33%.
- Завдання 17.** 4. 20%.
- Завдання 18.** 3. 33%; 25%.
- Завдання 19.** 7. «→»; відсутній; «←».
- Завдання 21.** 1. 7 протонів і 7 електронів.
- Завдання 23.** 1. 10 см. 3.  $2,3 \cdot 10^{-8}$  Н.
- Завдання 30.** 5. 0,4 А. 6.  $5,63 \cdot 10^{19}$  електронів.
- Завдання 31.** 2. 440 В.
- Завдання 32.** 2. Другий; 10 Ом; 100 Ом. 3. 70 Ом. 4. 15 Ом. 5. 2,5 Ом; 7,5 Ом.
- Завдання 33.** 2. Зменшиться у 2 рази. 3. 0,26 Ом. 4.  $\approx 18,2$  м. 5. 0,12 В.
- Завдання 34.** 1. 0,16 мм<sup>2</sup>.
- Завдання 35.** 2. 26 Ом. 3. 18 В; 15 В; 3 В. 4. 4,4 В. 5\*. 0,2 А; 5,6 В.
- Завдання 36.** 3.  $\approx 21$  А. 4\*. 300 Ом; 1,2 А; 0,4 А.
- Завдання 37.** 2. 1080 кДж. 3. 0,264 кВт·год. 6.  $I_1 > I_2$ ;  $R_1 < R_2$ . 7. 2,72 Вт; потужність зменшиться. 8.  $P_1 < P_2$ .
- Завдання 38.** 1. 540 кДж. 3\*. 64%.
- Завдання 39.** 2.  $\approx 3,2$  г. 3.  $\approx 606$  МДж.

# АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

## А

Абсолютна похибка  
Агрегатні перетворення  
Агрегатні стани речовини  
Акумулятор  
Аморфний стан  
Ампер (одиниця вимірювання)  
Амперметр  
Ампер А.  
Аніони  
Анод

## Б

Броун Р.  
Броунівський рух

## В

Ватметр  
Випаровування  
Випромінювання  
Відносна похибка  
Внутрішня енергія  
Вольт  
Вольт А.  
Вольтметр

## Г

Газовий розряд  
— — самостійний  
— — несамостійний  
Гальвані Л.  
Гальванічний елемент

## Д

Двигун внутрішнього згорання  
— — — дизельний  
— — — карбюраторний  
Джерело електричного струму  
Джоуль (одиниця вимірювання)  
Джоуль Д.  
Дифузія  
Діелектрик  
Діелектрична проникність середовища  
Дія електричного струму  
— — — теплова  
— — — хімічна  
— — — магнітна  
— — — механічна

## Е

Електризація  
— через вплив  
Електрична взаємодія  
— напруга  
— стала  
— схема  
Електричне коло  
— поле  
Електричний струм  
Електричний заряд  
— — індукований  
— — негативний  
— — позитивний  
Електричний опір  
Електричні явища  
Електроліз  
Електроліт  
Електролітична дисоціація  
Електрон  
Електроскоп  
Електростатична індукція  
Електротравма  
Електрофорна машина  
Електрохімічний еквівалент речовини

## З

З'єднання провідників  
— — послідовне  
— — паралельне  
Закон Джоуля–Ленца  
— електролізу Фарадея  
— збереження електричного заряду  
— Кулона  
— Ома

Запобіжник

## І

Іон негативний  
— позитивний  
Іонізація газу

## К

Калориметр  
Катіони  
Катод  
Кипіння  
Кількість теплоти  
Коефіцієнт корисної дії

Конвекція  
Конденсація  
Коротке замикання  
Кристалізація  
Кристалічна ґратка  
Кристалічні тіла  
Крутильні терези  
Кулон (одиниця вимірювання)  
Кулон Ш.

## Л

Ленц Е.

## М

Магазин опорів  
Максвелл Д.  
Малиновський А.  
Мертві точки  
Монокристал

## Н

Нагрівальний елемент  
Нагрівач  
Наелектризовані тіла  
Нанокристали  
Наноматеріали  
Нанотехнології  
Напівпровідник  
Напруженість електричного поля  
Насичена пара  
Нейтрон  
Ненасичена пара  
Непряме вимірювання  
Ніхром

## П

Парова турбіна  
Пароутворення  
Питома теплоємність  
— теплота згоряння палива  
— — пароутворення  
— — плавлення  
Питомий опір  
Плавлення  
Полікристал  
Потужність електричного струму  
Провідник  
Протон

## Р

Резерфорд Е.  
Рекомбінація  
Реостат

Рівняння теплового балансу  
Рікке К.

Робота електричного струму

Робоче тіло

Розряд тліючий

— іскровий

— дуговий

— коронний

Розширення лінійне

— об'ємне

## С

Сила струму

Силкові лінії електричного поля

Струм насичення

Стюарт Т.

## Т

Танігучі Н.

Температура

— кипіння

— кристалізації

— плавлення

Температурна шкала Реомюра

— — Фаренгейта

— — Цельсія

— — Кельвіна

Температурний коефіцієнт лінійного  
розширення

Теплова рівновага

Теплове розширення

Тепловий двигун

Тепловий рух

Теплообмін

Теплопередача

Теплопровідність

Термодинаміка

Термодинамічна система

Термоелемент

Толмен Р.

Томсон Д.

Точковий заряд

## Ф

Фарадей М.

## Х

Холодильник

# ЗМІСТ

<b>Передмова</b> .....	<b>3</b>
<b>Розділ I. Теплові явища</b> .....	<b>4</b>
§1. Тепловий рух молекул.....	4
§2. Температура .....	7
§3. Залежність розмірів фізичних тіл від температури ..	12
§4. Агрегатні стани речовини. Фізичні властивості твердих тіл, рідин та газів .....	16
§5. Внутрішня енергія .....	20
§6. Способи зміни внутрішньої енергії.....	23
§7. Види теплообміну.....	26
§8. Кількість теплоти. Питома теплоємність речовини.....	33
<b>Лабораторна робота №1.</b> Вивчення теплового балансу за умов змішування води з різною температурою .....	39
<b>Лабораторна робота №2.</b> Визначення питомої теплоємності речовини .....	41
§9. Будова твердих тіл. Кристалічні і аморфні тіла.....	43
§10. Плавлення і твердіння кристалічних речовин.....	47
§11. Наноматеріали .....	55
§12. Випаровування і конденсація .....	58
§13. Кипіння. Розрахунок кількості теплоти при пароутворенні та конденсації.....	62
§14. Тепловий баланс. Рівняння теплового балансу .....	68
§15. Згоряння палива. Питома теплота згоряння палива .....	71
§16. Принципи роботи теплових двигунів .....	75
§17. Двигун внутрішнього згоряння.....	77
§18. Парова турбіна. Теплові двигуни і охорона навколишнього середовища .....	81
Основне у розділі I «Теплові явища» .....	86

## **Розділ II. Електричні явища. Електричний струм..... 89**

- §19.** Електричні явища. Електричний заряд..... 89
- §20.** Подільність електричного заряду..... 94
- §21.** Будова атома..... 97
- §22.** Електризація тіл. Закон збереження заряду ..... 100
- §23.** Закон Кулона..... 106
- §24.** Електричне поле. Силові лінії електричного поля..... 111
- §25.** Електричний струм. Дії електричного струму ..... 118
- §26.** Провідники, напівпровідники та діелектрики ..... 124
- §27.** Струм у металах..... 128
- §28.** Джерела струму ..... 130
- §29.** Електричне коло ..... 137
- §30.** Сила струму. Амперметр..... 140
- §31.** Електрична напруга. Вольтметр ..... 145
- §32.** Електричний опір. Закон Ома для ділянки кола.... 152
- Лабораторна робота № 3.** Вимірювання опору провідника за допомогою вольтметра і амперметра... 158
- §33.** Залежність опору провідника від його довжини, площі перерізу та матеріалу..... 159
- §34.** Реостати..... 164
- §35.** Послідовне з'єднання провідників..... 167
- Лабораторна робота № 4.** Дослідження електричного кола з послідовним з'єднанням провідників ..... 170
- §36.** Паралельне з'єднання провідників ..... 171
- Лабораторна робота № 5.** Дослідження електричного кола з паралельним з'єднанням провідників ..... 175
- §37.** Робота й потужність електричного струму..... 176
- §38.** Закон Джоуля–Ленца. Електронагрівальні прилади ..... 182

<b>§39.</b> Природа електричного струму в розчинах і розплавах електролітів. Закон Фарадея для електролізу .....	185
<b>§40.</b> Електричний струм у газах .....	188
<b>§41.</b> Безпека людини під час роботи з електричними приладами й пристроями.....	193
Основне у розділі II «Електричні явища. Електричний струм» .....	197

<b>Правила охорони праці при виконанні лабораторних робіт у фізичному кабінеті.....</b>	<b>200</b>
<b>Міжнародна система одиниць (СІ) .....</b>	<b>201</b>
<b>Відповіді до деяких задач .....</b>	<b>202</b>
<b>Алфавітний покажчик .....</b>	<b>203</b>

**Відомості про стан підручника**

№	Прізвище і ім'я учня	Навчальний рік	Стан підручника		Оцінка
			на початку року	у кінці року	
1					
2					
3					
4					
5					

*Навчальне видання*

ПІСТУН Петро Федорович  
ДОБРОВОЛЬСЬКИЙ Валерій Володимирович  
ЧОПИК Павло Іванович

**ФІЗИКА**

**Підручник для 8 класу**  
загальноосвітніх навчальних закладів