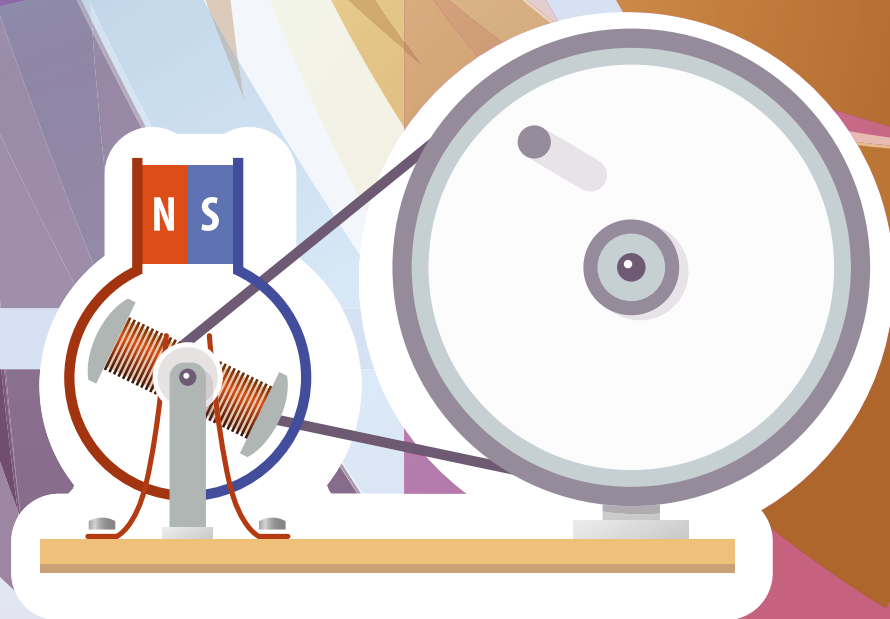




Володимир
Сиротюк

ФІЗИКА

8

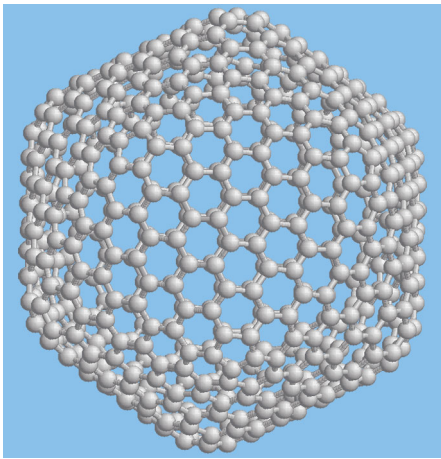


НОВІТНІ ДОСЯГНЕННЯ НАУКИ ТА ТЕХНІКИ

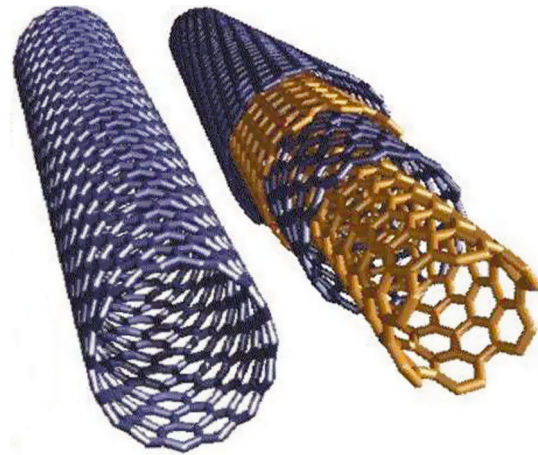
Наноматеріали – матеріали з якісно новими властивостями (з грец. *nanos* – *карлик*), створені з використанням наночастинок та за допомогою нанотехнологій (методів цілеспрямованого маніпулювання речовиною на атомному або молекулярному рівні). До наноматеріалів належать об'єкти розмірами від 1 до 100 нм ($1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$).

Властивості наноматеріалів відрізняються від аналогічних матеріалів у масивному стані. Наприклад, у наноматеріалів можна спостерігати зміну магнітних, тепло- й електропровідних властивостей. Для матеріалів особливо малих розмірів буває характерна зміна температури плавлення в бік її зменшення. У нанокристалічних матеріалах істотно змінюються механічні властивості. За певних умов ці матеріали можуть бути надтвердими або надпластичними.

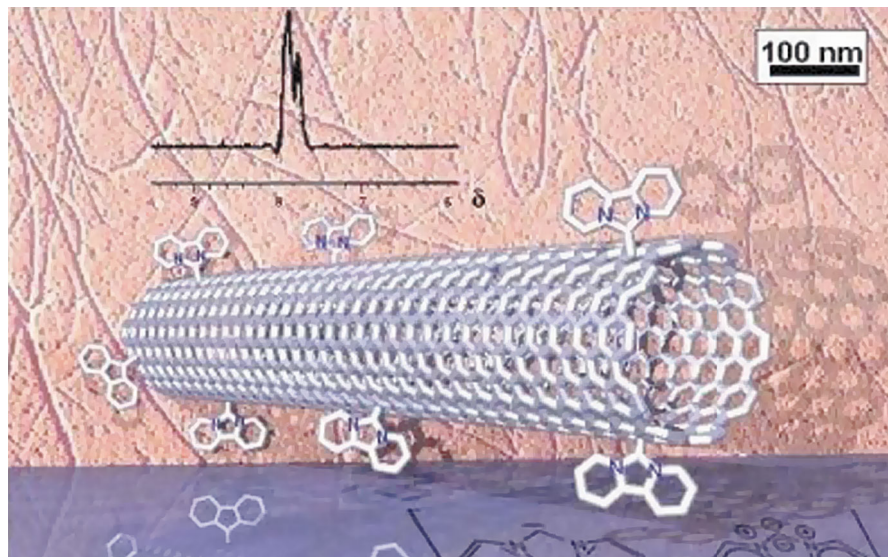
Для наноматеріалів актуальна проблема їхнього зберігання і транспортування. Матеріали (особливо металеві) дуже активні і взаємодіють з навколишнім середовищем.



Один з різновидів наноматеріалів – ікосаедричний фулерен C540

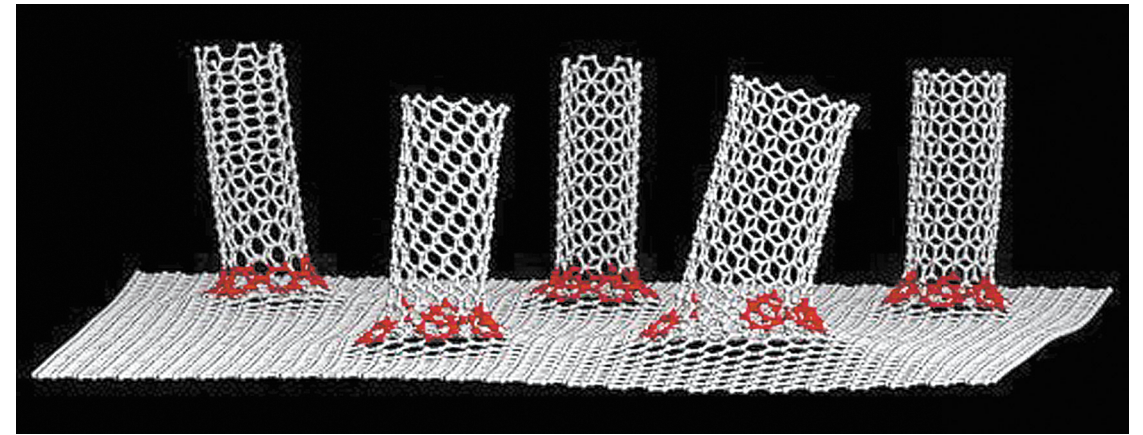


Вуглецеві нанотрубки



Дослідники з Університету Райса й Ренселлерського політехнічного інституту (США) розробили найтемніший у світі матеріал. Тонка плівка, що складається з вуглецевих нанотрубок, відбиває лише 0,045 % падаючого на неї світла. Це в чотири рази менше, ніж у найтемнішого з раніше відомих матеріалів (нікель-фосфорного сплаву з поверхнею, укритою мікрозападинами) і приблизно у сто разів менше, ніж відбиває аркуш чорного паперу.

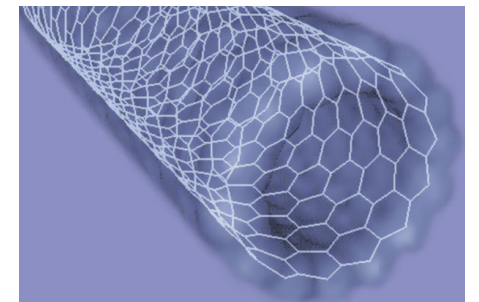
Новий наноматеріал, який є чимось на зразок гібрида графену й вуглецевих нанотрубок, створили вчені того ж університету. У перспективі такий матеріал – найкраще рішення для виготовлення електродів певних електронних приладів, суперконденсаторів та інших пристроїв акумуляції електричної енергії. Група дослідників, очолювана хіміком Джеймсом Туром, виростила на поверхні графенової плівки цілісні вуглецеві нанотрубки. «Ліси» з вуглецевих нанотрубок швидко виростили з аркушів графену на разючу висоту до 120 мікронів. Якщо спорудити звичайний будинок з таким самим співвідношенням площі основи та висоти, то його дах вийшов би далеко за межі атмосфери.



Гібрид вуглецевих нанотрубок і графену

Самоскладання – найпопулярніша технологія у природі. У ранній період створення Всесвіту з окремих атомів збиралися найрізноманітніші речовини. В Інституті загальної і неорганічної хімії ім. В. Вернадського НАН України розробляють технологію створення вуглецевих самозбірних наноматеріалів. Для цього вченим доводиться «розпоршувати» речовину у вигляді атомів, щоб вони збиралися у просторі в мікроскопічні нанотрубки. Роздивитися результат цієї операції можна тільки в надпотужні растрові мікроскопи, на яких розрізняються утворення до 10 ангстремів ($1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ м}$, або одній десятимільйонній міліметра).

Найближчого часу саме розвиток нанотехнологій та виготовлення нових наноматеріалів стануть основними рушіями в таких галузях промисловості, як машинобудування, оптоелектроніка, мікроелектроніка, автомобільна промисловість, а також сільське господарство, медицина й екологія.



Самозбірні матеріали

СОНЯЧНІ КОЛЕКТОРИ

Сонячні колектори – це пристрої для збору енергії випромінювання Сонця. Їх застосовують для опалення промислових і побутових приміщень, гарячого водопостачання виробничих процесів, побутових потреб.



Для гарячого водопостачання, нагріву басейнів і підтримки опалювання у приміщеннях будь-якого виду використовують: сезонний сонячний колектор (вакуумний), сонячний колектор цілорічного використання, плоский сонячний колектор.

Сезонний сонячний колектор

Сезонний сонячний колектор – найпростіший варіант. Його корпус має трубчасту конструкцію. Циркуляція теплоносія в таких сонячних колекторах відбувається без використання насосів за рахунок термосифонного ефекту. Пряма передача тепла від Сонця безпосередньо до теплоносія і низька ціна є основними перевагами цього типу сонячних вакуумних колекторів.

Наприклад, такий вакуумний колектор забезпечить потрібну кількість гарячої води для

сім'ї – 300 л на добу. Основні плюси сезонного сонячного колектора – виробництво 75 % усієї гарячої води у квітні та жовтні й 100 % – у період з травня по вересень.

Сонячні колектори HEAT PIPE

Трубчастий сонячний колектор цілорічного, всесезонного використання **HEAT PIPE** – це новаторський тип сонячного колектора. Ефективність не знижується й за температури $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Єдиний мінус сонячного колектора **HEAT PIPE** – це його відносно висока вартість. Але основні плюси сонячного колектора – це виробництво 85 % усієї гарячої води взимку і 100 % з квітня по жовтень, підтримка опалювання на 45 %, економія 60 % електроенергії на підтримці комфортної температури в басейні впродовж року, річна економія становить близько 12 000 кВт · год теплової енергії.

Плоскі сонячні колектори

Це найпопулярніший вид сонячних колекторів для побутового використання. Теплообмінник плоского колектора розташований усередині коробчатого закленого корпусу. Скління плоского колектора також відіграє важливу роль, тому що виконано його із застосуванням спеціального високотехнологічного матового скла, що пропускає сонячну енергію виключно в одному напрямку, без відбивання.

Теплообмінник плоского сонячного колектора виконаний у вигляді пластини з міді (висока теплопровідність та стійкість до корозії) і покритий високотехнологічним шаром поглинача сонячного світла.

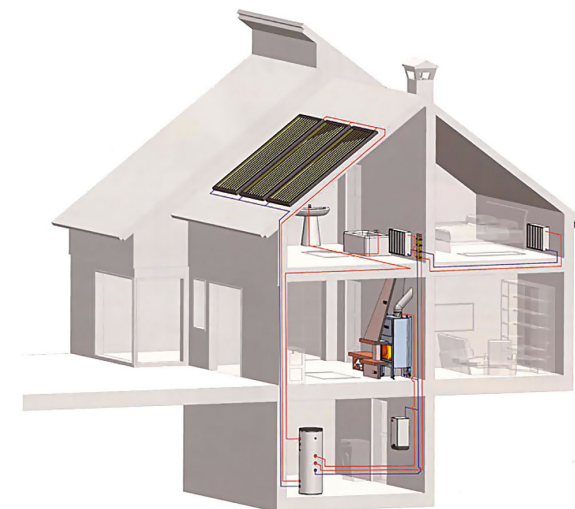
Плоский сонячний колектор має утеплення з боків і на дні, що сприяє максимальному скороченню тепловтрат.

Продуктивність плоских сонячних колекторів: виробництво 100 % гарячої води з квітня по жовтень, виробництво 70 % гарячої води взимку.

Сонячний колектор виконує свої завдання навіть у похмурий день за мінусової температури:

- завдяки особливим матеріалам і конструкції колектор поглинає і перетворює навіть інфрачервоне випромінювання, що проходить через хмари;
- отримане сонячне тепло без втрат передається теплоносію завдяки використанню вакууму всередині трубок колектора як ізолятора. Коефіцієнт ефективності поглинання в сонячних колекторів дорівнює 98 %.

Тому не потрібно ставити питання про пошук сонячного місця для їхнього встановлення. Кращим місцем для монтажу сонячних колекторів є дах будівлі. Сонячні колектори не потрібно часто обслуговувати, а термін їхньої служби – мінімум 15 років.

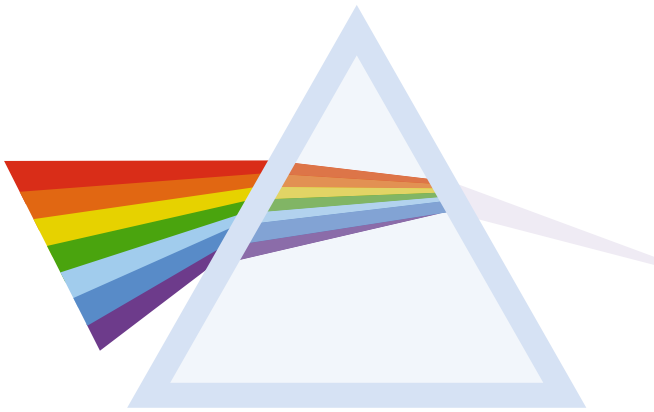


У разі використання сонячного колектора як джерела для опалювання в Україні застосовується практика підключення в контур теплообмінника спеціального бака з внутрішнім змійовиком. Його основне завдання – комунікація системи сонячних колекторів з резервними джерелами тепла (наприклад, з газовою системою), що слугують для підстраховування на випадок низької сонячної активності.

Володимир
Сиротюк

ФІЗИКА

Підручник для 8 класу
закладів загальної
середньої освіти



2-ге видання, перероблене

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України



Київ
«ГЕНЕЗА»
2021

УДК 53(075.3)
С40

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

Видано за рахунок державних коштів. Продаж заборонено

Сиротюк В.Д.

С40 Фізика : підруч. для 8-го кл. закл. заг. серед.
освіти / В.Д. Сиротюк. – 2-ге вид., переробл. – Київ :
Генеза, 2021. – 192 с. : іл.

ISBN 978-966-11-1196-6.

УДК 53(075.3)

Навчальне видання

СИРОТЮК Володимир Дмитрович

ФІЗИКА

**Підручник для 8 класу
закладів загальної середньої освіти**

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України

2-ге видання, перероблене

Видано за рахунок державних коштів. Продаж заборонено

Підручник відповідає Державним санітарним нормам і правилам
«Гігієнічні вимоги до друкованої продукції для дітей»

У підручнику використано ілюстративний матеріал з відкритих джерел інтернету, зокрема сайтів *vecteezy.com*, *depositphotos.com*. Усі матеріали в підручнику використано з навчальною метою відповідно до законодавства України про авторське право і суміжні права.

Відповідальна за випуск *Наталія Заблоцька*. Редактор *Олена Мовчан*.

Обкладинка *Світлани Железняк*. Художній редактор *Василь*

Марущинець. Технічний редактор *Цезарина Федосіхіна*.

Комп'ютерна верстка *Юрія Лебедева*. Коректор *Лариса Леуська*

Формат 70×100/16. Ум. друк. арк. 15,6. Обл.-вид. арк. 14,18.

Тираж 29 607 пр. Вид. № 2203. Зам. № 21-04-2901.

Видавництво «Генеза», вул. Тимошенка, 2-л, м. Київ, 04212.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи серія ДК № 5088 від 27.04.2016.

Віддруковано у ТОВ «ПЕТ», вул. Максиміліанівська, 17, м. Харків, 61024.

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи серія ДК № 6847 від 19.07.2019.

© Сиротюк В.Д., 2016

© Видавництво «Генеза»,
оригінал-макет, 2021

© Сиротюк В.Д., 2-ге вид.,
переробл., 2021

ISBN 978-966-11-1196-6


ШАНОВНІ ВОСЬМИКЛАСНИЦІ ТА ВОСЬМИКЛАСНИКИ!


Ви щойно розгорнули підручник, з яким працюватимете протягом навчального року. Сподіваємося, що він буде добрим помічником у вашій подорожі в Країну знань про все багатство явищ навколишнього світу.


Вивчаючи фізику в 7 класі, ви дізналися про методи наукового пізнання, закономірності навколишнього світу, які розкриваються в механічних явищах; про те, як результати фізичних досліджень застосовують у техніці й побуті; переконалися в потребі уважно, вдумливо та систематично працювати з підручником. Ви навчилися користуватися фізичними приладами, виконувати досліди і проводити спостереження.

У 8 класі ви вивчатимете теплові та електричні явища. Теоретичний матеріал цього підручника допоможе вам зрозуміти й пояснити їх. Звертайте увагу на текст, виділений **жирним** шрифтом. Це фізичні терміни, означення, важливі правила і закони, які треба запам'ятати і вміти застосовувати.


Підручник містить чимало ілюстрацій, *дослідів*, які ви можете виконати самостійно або з допомогою вчителя, а *спостереження* допоможуть глибше зрозуміти фізичний зміст явищ, що вивчаються. «Історична довідка» у кінці кожного розділу розширить ваш кругозір.

Наприкінці кожного параграфу є  «Запитання до вивченого», відповіді на які допоможуть вам перевірити, як ви засвоїли матеріал, а також закріпити свої знання.

У рубриці  «Розв'язуємо разом» наведено зразки розв'язання задач. У підручнику є задачі, вправи і запитання різних рівнів складності: **А** – на закріплення і **Б** – творчого характеру. У рубриці «**Фізичні задачі навколо нас**» підібрано задачі з проблемними ситуаціями з повсякденного життя. Розв'язуючи такі задачі, ви зможете застосувати фізичні знання в життєвих ситуаціях.

Зверніть увагу на завдання з рубрики  «Перевір свою компетентність». Виконуючи їх, ви будете вчитися бачити й розуміти навколишній світ; зможете пояснити перебіг явищ у природі; принцип дії та будову сучасної техніки, приладів. Усі ці навички допоможуть вам у майбутньому розв'язувати в повсякденному житті реальні проблеми, а також використовувати отримані знання для зменшення негативного впливу сучасної техніки на довкілля, забезпечення здорового способу життя.

Лабораторні роботи, які ви виконаєте, збагатять вас навичками та розумінням закономірностей фізичних явищ, умінням ставити досліди й користуватися вимірювальними приладами.

Тим, хто не зупиняється на досягнутому й хоче знати більше, стане в пригоді інформація з рубрики  «Чи знаєте ви, що...».

Якщо ви не запам'ятали означення якогось фізичного терміна або правила, скористайтеся *словником фізичних термінів* та *предметно-іменним покажчиком*, що містяться в кінці підручника.

Виконуючи спостереження і досліди з фізики, будьте уважними, додержуйтеся правил безпеки життєдіяльності.

Щасливої вам дороги до знань!

Розділ 1

ТЕПЛОВІ ЯВИЩА



- Тепловий рух • Температура тіла • Вимірювання температури
- Розширення твердих тіл, рідин і газів • Внутрішня енергія та способи її зміни • Теплообмін • Види теплообміну • Кількість теплоти • Питома теплоємність речовини • Тепловий баланс • Фізичні властивості твердих тіл, рідин і газів • Агрегатні стани речовини • Плавлення і кристалізація твердих тіл • Питома теплота плавлення речовини • Випаровування і конденсація рідин • Питома теплота пароутворення речовини • Згоряння палива • Теплові двигуни • Екологічні проблеми використання теплових двигунів • Закон збереження енергії в механічних і теплових процесах
- Коефіцієнт корисної дії (ККД) теплового двигуна

§ 1. ТЕПЛОВИЙ РУХ. ТЕМПЕРАТУРА ТІЛА. ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ

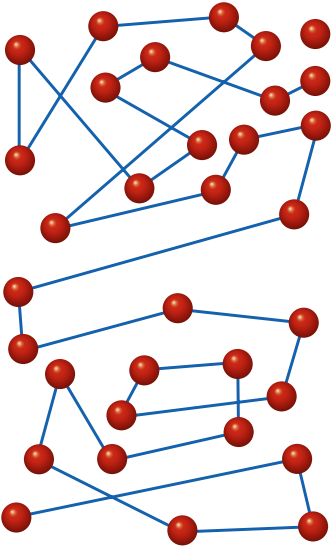
З уроків фізики в 7 класі ви знаєте, що тіла складаються з молекул. Молекули перебувають у безперервному хаотичному (безладному) русі й взаємодіють між собою. Кожна окрема молекула здійснює механічний рух, подібний до того, що ми вивчали. Рухаючись із вели-

кою швидкістю, вона зіштовхується з іншими молекулами й при цьому змінює напрямок руху. З малюнка 1 видно, що траєкторією окремої молекули в газах є складна ламана лінія. Спостерігати такий рух, навіть озброєним оком, неможливо через надзвичайно малі розміри частинок, що рухаються. Тільки проводячи спеціальні складні досліди, можна спостерігати механічний рух молекул.

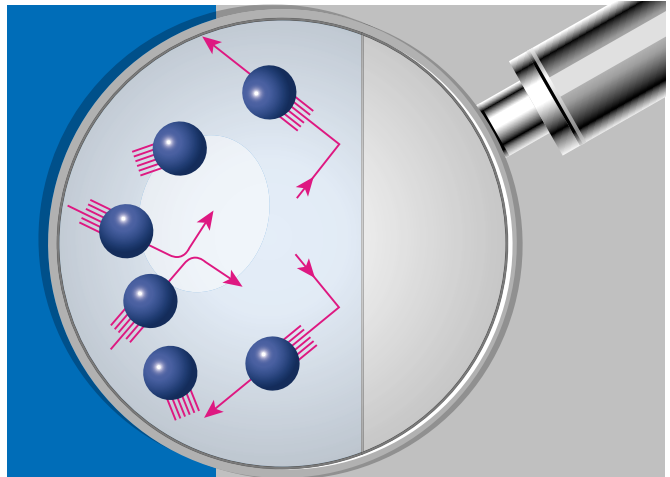
Дослідження ще більше ускладнюється через надзвичайно велику кількість рухливих частинок у тілах. Практично неможливо простежити за всіма «учасниками» руху: мільярди мільярдів маленьких частинок рухаються з великими швидкостями в різних напрямках, зіштовхуються одна з одною та зі стінками посудини, змінюють власні швидкості руху (мал. 2). Отже, можливості вивчення руху молекул засобами механіки дуже обмежені.

Яким же способом можна дослідити механічні характеристики рухомих молекул у тілах: оцінити швидкості молекул, шляхи, які вони проходять між зіткненнями тощо?

Слід враховувати, що в результаті безладного механічного руху молекул відбувається переміщення їх у просторі і при цьому змінюється **тепловий стан** тіла. Що швидше рухаються молекули, то вища температура тіла, і навпаки: якщо підвищується температура тіла, то збільшується й швидкість руху молекул. Тому хаотичний рух величезних кількостей молекул вивчають методами фізики теплових явищ, а сам такий рух називають **тепловим**.



Мал. 1



Мал. 2

Тепловий рух – це безладний (хаотичний) рух молекул і атомів, який визначає температуру тіла.

Знання про будову речовини та тепловий рух дають змогу пояснити різні теплові явища.

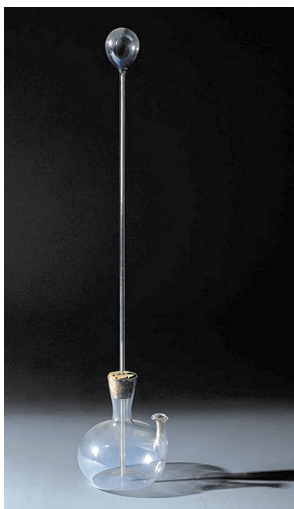
Припустимо, що є дві посудини, у яких містяться гази, молекули яких мають різну масу, наприклад, в одній – кисень, а в другій – азот. Досліди свідчать, що за однакової температури молекули обох речовин мають однакові середні кінетичні енергії.

Таким чином, доходимо висновку, що *температура тіла* – це фізична характеристика теплового стану речовини (з якої складається тіло), ступінь нагрітості тіла. Визначається вона середньою кінетичною енергією хаотичного руху частинок речовини.

Кілька століть тому наука ще не визнавала теорію молекулярної і атомної будови речовини, тому уявлення про температуру тіла виникло не у зв'язку з рухом молекул і атомів у ньому, а від порівняння відчуттів тепла або холоду, хоча вони неточні й часто суб'єктивні. Для об'єктивних вимірювань температури під час контакту з досліджуваним середовищем було створено спеціальні прилади – **термометри**. Дія термометрів ґрунтується на різних фізичних явищах, які залежать від температури: тепловому розширенні рідин, газів, твердих тіл, зміні з температурою електричних властивостей речовини тощо. Найчастіше використовують рідинні термометри, за допомогою яких можна вимірювати температуру в широких межах.

Досліди свідчать: під час контакту двох тіл, з яких одне гаряче, а друге холодне, їхні температури із часом вирівнюються, тобто гаряче тіло охолоджується, а холодне – нагрівається. Установлення теплової рівноваги між кількома тілами означає, що їхні температури стають однаковими і надалі вже не різнитимуться. З молекулярної точки зору це означає, що в стані теплової рівноваги в усіх тілах, що контактують, кінетична енергія безладного руху частинок речовини однакова.

Звідси випливає, що під час **вимірювання температури** рідинним термометром слід дотримуватися таких **правил**: *треба помістити колбу термометра в те середовище, температуру якого вимірюють; зачекати певний час, доки стовпчик рідини в трубці термометра зупиниться, тобто доки встановиться тепла рівновага між колбою і середовищем; не виймати термометра із середовища, визначити за шкалою значення його температури.*



Мал. 3

У 1597 р. **Галілео Галілей** сконструював прилад-прототип термометра, який назвав термоскопом. **Термоскоп Галілея** (мал. 3) складався з тонкої скляної трубки з невеличкою колбою на верхньому кінці. Відкритий нижній кінець трубки опускали в посудину з водою, яка заповнювала й частину трубки. Коли повітря в колбі нагрівалося чи охолоджувалося, то стовпчик води у трубці опускався чи піднімався.

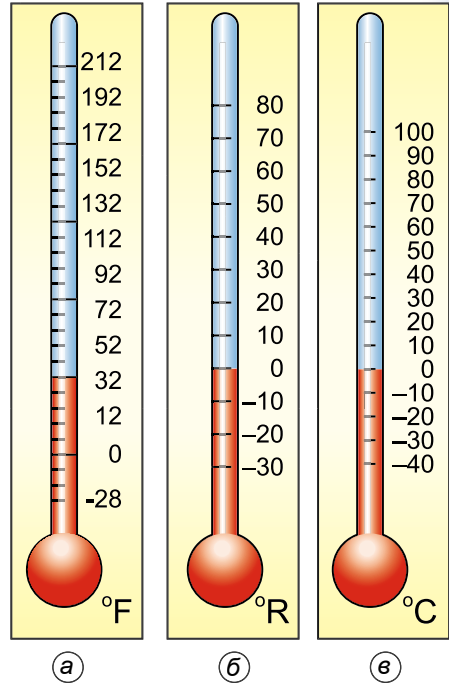
Оскільки висота стовпчика залежала як від температури, так і від атмосферного тиску,

вимірювати температуру термоскопом було неможливо, проте він давав змогу порівнювати температуру різних тіл в один і той самий час та в одному й тому самому місці. Уже тоді лікар і анатом Санкторіус із Падуанського університету, не знаючи про термоскоп Галілея, сконструював власний подібний термометр і застосовував його для вимірювання температури тіла людини.

Перший, майже аналогічний до сучасного, термометр (мал. 4, а) описав у 1724 р. **Габріель Фаренгейт** – складув із Голландії. Він запропонував шкалу, яка й нині використовується в Англії і, особливо, в США. У цій шкалі на 100 градусів розділений інтервал від температури найхолоднішої зими у місті, де жив Фаренгейт, до температури людського тіла. Нуль градусів Цельсія – це 32 градуси Фаренгейта, а градус Фаренгейта дорівнює $5/9$ градуса Цельсія. На сьогодні прийняте таке визначення шкали Фаренгейта: температурна шкала, 1 градус якої ($1\text{ }^{\circ}\text{F}$) дорівнює $1/180$ різниці температур кипіння води і танення льоду за атмосферного тиску, а точка танення льоду має температуру $+32\text{ }^{\circ}\text{F}$. Температура за шкалою Фаренгейта пов'язана з температурою за шкалою Цельсія ($t\text{ }^{\circ}\text{C}$) співвідношенням $t\text{ }^{\circ}\text{C} = 5/9 (t\text{ }^{\circ}\text{F} - 32)$, $1\text{ }^{\circ}\text{F} = 5/9\text{ }^{\circ}\text{C}$.

У Франції у практику ввійшла **шкала Реомюра** (мал. 4, б) (близько 1740 р.), побудована на точка замерзання води ($0\text{ }^{\circ}\text{R}$) та її кипіння ($80\text{ }^{\circ}\text{R}$). Реомюр на підставі вимірювань вивів, що вода розширюється між цими двома точками на 80 тисячних свого об'єму (правильне значення 0,084). Спиртові термометри Реомюра згодом було замінено **ртутними термометрами Делюка** (1740 р.), оскільки коефіцієнт розширення ртуті меншою мірою змінювався з температурою, порівняно зі спиртом.

Звичну для нас температурну шкалу (мал. 4, в) запропонував ще в 1742 р. шведський фізик **Андерс Цельсій**, який у своїх ртутних термометрах запровадив 100-градусну шкалу, яка широко використовується в побуті. У ній за $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ приймають точку замерзання води, а за $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ – точку кипіння води за нормального атмосферного тиску. Оскільки температура замерзання і кипіння води недостатньо добре визначена, шкалу Цельсія визначають через шкалу Кельвіна: 1 градус Цельсія дорівнює 1 кельвіну ($1\text{ }^{\circ}\text{C} = 1\text{ K}$), абсолютний нуль 0 K приймається за $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($T = (t + 273,15)\text{ K}$). Нуль Цельсія – особлива точка для метеорології, оскільки замерзання атмосферної води істотно змінює навколишнє середовище.



Мал. 4

Сьогодні прийнято, що одиниця температури 1°C (один градус Цельсія) – це одна сота частина інтервалу між температурами плавлення льоду і кипіння дистильованої води за нормального атмосферного тиску (101 325 Па).



ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...

На Землі є багато спекотних і холодних місць. У Долині смерті (Каліфорнія, США) зафіксовано спеку $+56,7^{\circ}\text{C}$, але рекорд належить пустелі Сахара (Африка) – $+63^{\circ}\text{C}$ у тіні. Найхолоднішими місцями Північної півкулі є Якутія і Гренландія, де температура сягає -70°C . Але найхолодніше місце планети – це Антарктида. В її глибинних районах зафіксована температура $-94,5^{\circ}\text{C}$. На такому морозі метал стає крихким, газ перетворюється на густу желеподібну масу і не спалахує навіть під час контакту з полум'ям.



ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Який рух називають тепловим?
2. Чим тепловий рух відрізняється від механічного?
3. Що таке теплова рівновага?
4. Назвіть авторів різних конструкцій термометрів.
5. Які правила вимірювання температури середовища термометром?

§ 2. РОЗШИРЕННЯ ТВЕРДИХ ТІЛ

Чи однаково натягнуті дроти ліній електропередач взимку і влітку? Чому, прокладаючи нафтопроводи та газопроводи, у деяких місцях роблять петлі (мал. 5)? Ідучи в поїзді, ви чуєте стукіт коліс. Це пов'язано з тим, що на стиках рейок залишають проміжки (мал. 6). Для чого це роблять?



Мал. 5



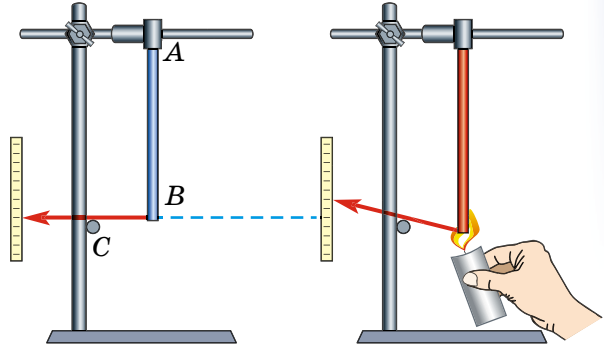
Мал. 6

Дослід 1. Розмістимо ложку між гайкою і голівкою гвинта (мал. 7). Нагріємо ложку в полум'ї газового пальника або спиртівки. Після нагрівання ложка не вмещається між гайкою і голівкою гвинта: ширина ложки збільшилась. Кажуть, що ложка розширилася. Після охолодження до попередньої температури ложка матиме початкові розміри і знову поміститься між гайкою та голівкою гвинта. Кажуть, що ложка звузилася.

Дослід 2. Один кінець залізного стержня завдовжки 1 м зафіксуємо в точці А (мал. 8). Другий його кінець перебуває в контакті зі стрілкою, яка може обертатися навколо точки С. Нагріємо стержень, і він змінить положення стрілки. Отже, довжина стержня збільшилась – він розширився.



Мал. 7



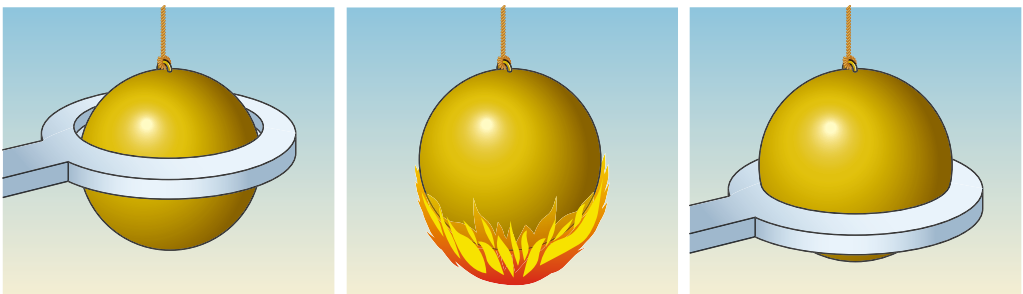
Мал. 8

Якщо температура залізного стержня завдовжки 1 м підвищується від 0 до 50 °С, то він видовжується на 0,6 мм, а якщо від 0 до 100 °С, то видовження стержня становить 1,2 мм.

Якщо провести аналогічний дослід із залізним стержнем, але вже завдовжки 2 м, то ми побачимо, що цей стержень, нагріваючись від 0 до 100 °С, видовжиться на 2,4 мм.

Дослід 3. Візьмемо мідний, скляний і алюмінієвий стержні завдовжки 1 м. Нагріємо їх від 0 до 100 °С. Видовження мідного стержня становитиме 1,6 мм, скляного – 0,9 мм, алюмінієвого – 2,2 мм.

Дослід 4. Холодна кулька вільно проходить у кільце (мал. 9). Нагріємо кульку – вона не проходить у холодне кільце. Діаметр кульки збільшився.



Мал. 9

Нагріємо одночасно кульку й кільце. Кулька проходить у кільце, тому що внутрішній діаметр кільця також збільшився.

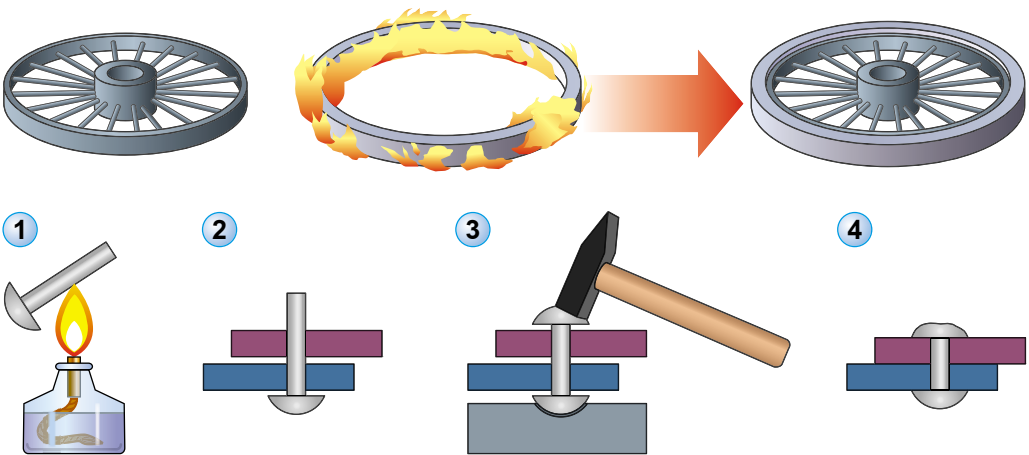
Щоб протидіяти розширенню залізничної рейки під час її нагрівання від 25 до 65 °С, потрібно покласти на один з її кінців тіло масою 65 000 кг (тобто поставити не менше ніж 10 слонів).

Під час спорудження будинків, мостів, різноманітних машин, прокладання рейок, нафтопроводів, електроліній інженери враховують явище теплового розширення тіл. Наприклад, на мостах залишають простір, який дає можливість його конструкціям вільно розширюватися під час зміни температури. Один із кінців мосту встановлюють на спеціальні металеві ролики (мал. 10).



Мал. 10

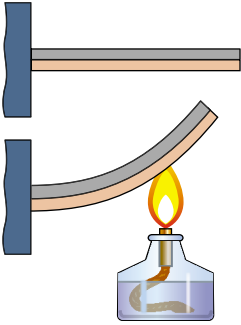
Явище розширення твердих тіл використовують під час встановлення обруча на колесо, з'єднання деталей гарячим клепанням тощо (мал. 11).



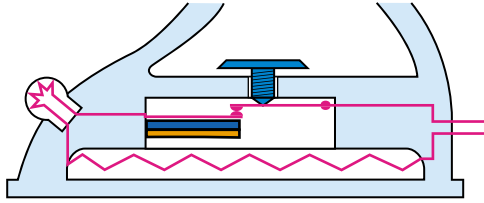
Мал. 11

Якщо з'єднати по всій довжині залізу й латунну пластинки, то ми отримаємо **біметалеву** пластинку (мал. 12). Розглянемо, що буде відбуватися, коли ми нагріватимемо цю пластинку. У результаті нагрівання латунна пластинка буде розширюватися більше, ніж залізна, тому біметалева пластинка вигинатиметься.

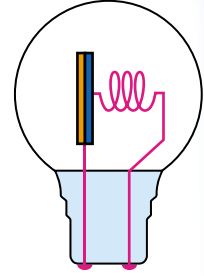
Біметалеву пластинку використовують в електричних прасках (мал. 13), блимаючих електричних лампах (мал. 14) тощо.



Мал. 12

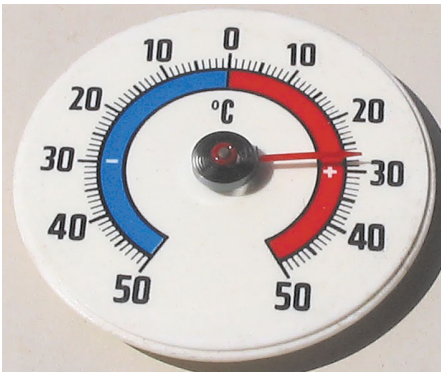


Мал. 13



Мал. 14

Коли електричний струм проходить по біметалевій пластинці, вона нагрівається. За певної температури пластинка вигинається так, що електричне коло розмикається. Коли пластинка охолоджується, вона знову замикає коло. Таким чином біметалева пластинка регулює температуру електропраски. За цим самим принципом блимає й електрична лампа.



а



б

Мал. 15

Біметалеву пластинку використовують також у термометрах (мал. 15, а). Такі термометри називають біметалевими, або просто металевими. На біметалевій пластинці закріплено стрілку (мал. 15, б). Коли підвищується або знижується температура, стрілка переміщується і показує зміни температури навколишнього середовища.



ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

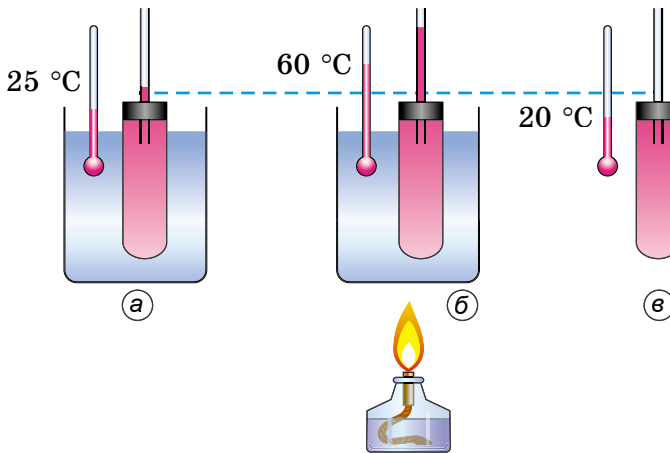
1. Від чого залежить розширення твердих тіл?
2. Чому потрібно враховувати розширення твердих тіл?
3. Де застосовують явище розширення твердих тіл?
4. Що таке біметалева пластинка? Де її застосовують?

§ 3. РОЗШИРЕННЯ РІДИН

Чому на нафтоскладах щодня вимірюють густану нафтопродуктів? Для чого в системі охолодження автомобіля або в системі водяного опалення будинку використовують розширювальний бак? Що відбувається зі стовпчиком рідини в термометрі, якщо температура підвищується? Знижується?

Дослід 1. Наповнимо пробірку підфарбованою рідиною, закриємо її корком зі щільно вставленою в нього тоненькою трубкою. Помістимо цю пробірку в посудину з теплою водою (мал. 16, а). Рідина в трубці займе певне положення.

Нагріваємо воду, рівень води в трубці піднімається (мал. 16, б).

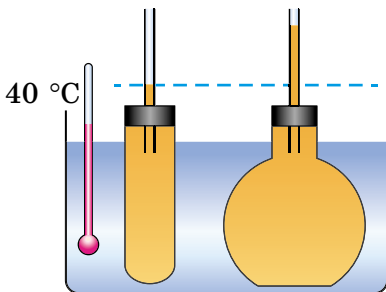


Мал. 16

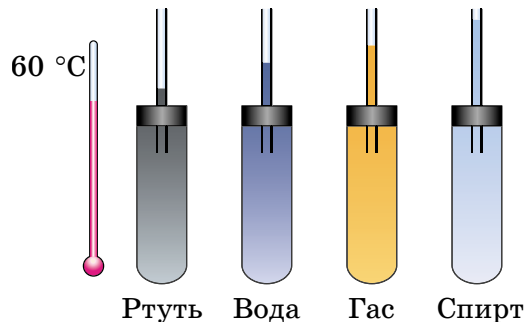
Виймемо пробірку з посудини з водою. Пробірка з рідиною буде охолоджуватися, і рівень рідини опускатиметься (мал. 16, в).

Дослід 2. Візьмемо 1 л (1000 см³) спирту. Якщо нагрівати від 0 до 25 °С, спирт розшириться на 27 см³, а якщо – від 0 до 50 °С – на 54 см³.

Дослід 3. Візьмемо посудини з 250 мл і 500 мл гасу. Будемо їх нагрівати від 0 до 40 °С (мал. 17). 250 мл гасу розшириться на 5 мл, а 500 мл – на 10 мл.

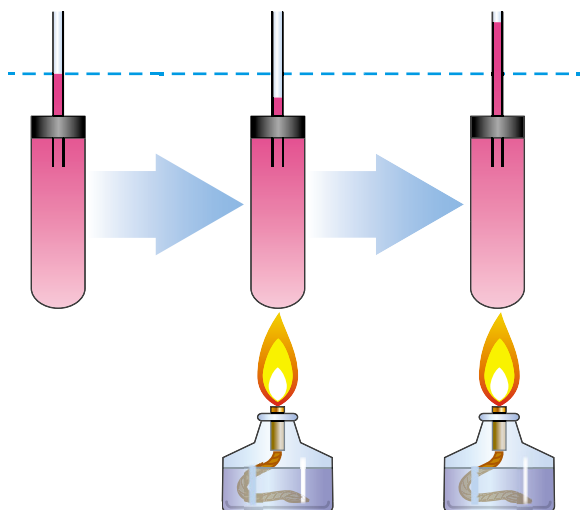


Мал. 17



Мал. 18

Дослід 4. Якщо 1 л ртуті (мал. 18), води, гасу, спирту нагрівати від 20 до 60 °С, то ртуть розшириться на 8 мл, вода – на 12 мл, гас – на 30 мл, спирт – на 50 мл.



Мал. 19

Дослід 5. Коли ми нагріваємо посудину, яка містить рідину, стінки посудини розширюються і рівень рідини в ній спочатку знижується (мал. 19). Рідина також розширюється і піднімається трохи вище від початкового рівня. Це свідчить про те, що рідини розширюються більше, ніж тверді тіла.

Стовпчик спирту площею 1 см² і заввишки 1 м під час нагрівання від 10 до 60 °С піднімається на 5 см. Щоб протидіяти цьому, потрібно на поршень покласти тіло масою 500 кг.

У системі водяного опалення знаходиться вода. Якщо воду нагрівати, вона буде розширюватися. Якщо систему повністю закрити, то воді нікуди буде дітися, і вона розірве труби або радіатор. Тому на дахах установлюють розширювальні баки, куди потраплятиме вода, розширюючись. В охолоджувальній системі автомобіля також установлюють розширювальний бак.

Явище розширення рідин урахують під час наповнення ними різноманітних посудин. Купуючи пляшки з напоями, ви, мабуть, помітили, що вони не повністю заповнені рідиною.

Залежність розширення рідин від температури використовують у рідинних термометрах.



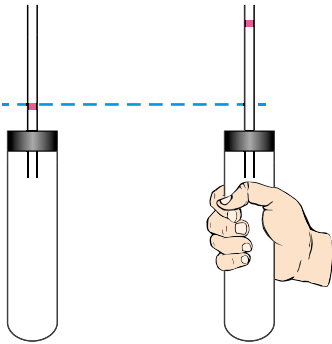
ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Від чого залежить розширення рідин?
2. Чи однаково розширюються різні рідини?
3. Чому потрібно враховувати явище розширення рідин?
4. Де використовують явище розширення рідин?

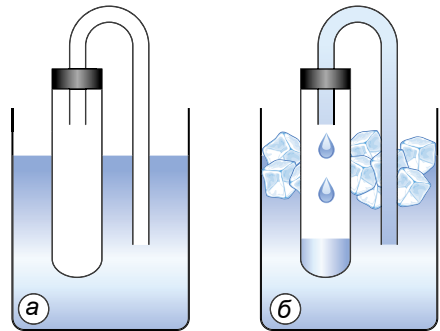
§ 4. РОЗШИРЕННЯ ГАЗІВ

Що станеться з трохи наповненою повітрям кулькою, якщо її покласти на гарячу батарею водяного опалення? Що станеться зі щільно закритою пластиковою пляшкою, якщо її залишити під прямим сонячним промінням? Чому на балонах (флаконах), які містять парфуми або інші хімічні речовини, написано «Не нагрівати вище від 50 °C!»?

Дослід 1. Скляну пробірку закриємо корком, через який проходить тоненька трубка (мал. 20). Крапелька підфарбованої мильної води дає нам змогу побачити, скільки повітря міститься в пробірці, бо ми знаємо, що повітря невидиме. Коли ми нагріємо руками пробірку, то побачимо, що крапелька води піднялася по трубці вгору. Об'єм повітря збільшився.

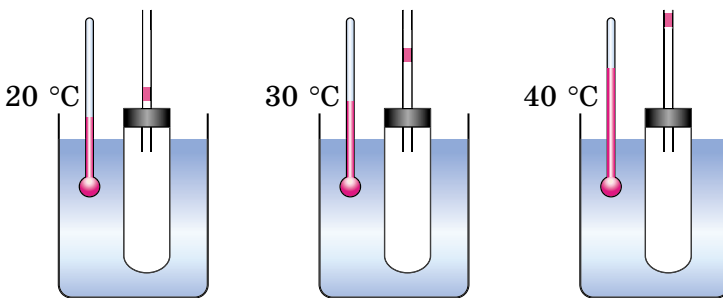


Мал. 20



Мал. 21

Дослід 2. Пробірочку, закритую корком з тоненькою трубкою, розміщуємо так, щоб повітря було закрито водяною «пробкою» (мал. 21, а). Додамо у воду льоду (мал. 21, б). Вода по трубці буде переходити у пробірочку. Об'єм повітря в пробірці буде зменшуватись.



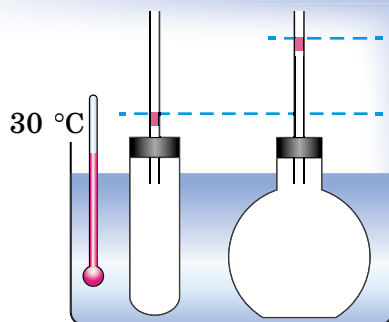
Мал. 22

Дослід 3. Три пробірки, закриті корками зі вставленими в них тонкими трубками з підфарбованими мильними водяними «пробками» (мал. 22), занурюємо в посудини з водою, температура якої 20 °C, 30 °C і 40 °C. У результаті дослідження встановлюємо, що повітря розширюється більше за вищої температури.

Дослід 4. Помістимо посудини різного об'єму (мал. 23), закриті корками зі вставленими в них тонькими трубками з водяними «пробками», у посудину з водою, температура якої 30 °С. Газ, який міститься в посудині з більшим об'ємом, розшириться більше, ніж газ у меншій посудині.

На відміну від твердих тіл і рідин, усі гази розширюються однаково. Це підтверджують результати експериментальних досліджень, поданих у таблиці.

Розширення тіла об'ємом 1000 см³ при зміні температури від 0 до 50 °С.



Мал. 23

| Тверді тіла, ΔV см ³ | Рідини, ΔV см ³ | Гази, ΔV см ³ |
|---|------------------------------------|---------------------------------------|
| Алюміній – 3,4 см ³ | Спирт – 58 см ³ | Повітря – 183 см ³ |
| Мідь – 2,5 см ³ | Ефір – 80 см ³ | Кисень – 183 см ³ |
| Залізо – 1,8 см ³ | Вода – 12 см ³ | Вуглекислий газ – 183 см ³ |



Мал. 24



Мал. 25

Балони з газом, флакони з аерозолями (ароматичними, отруйними речовинами, мал. 24) не слід тримати під прямими сонячними променями, тому що гази (та рідини), які в них містяться, можуть розширитися так, що спричинять вибух.

Щоб скороварка під час приготування їжі не вибухнула, у її кришку вмонтовано спеціальний клапан (мал. 25), через який може виходити водяна пара під час її розширення. Улітку і взимку водії автомобілів накачують шини автомобілів по-різному. Це також пов'язано з розширенням і стисненням газів.



ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Від чого залежить розширення газів?
2. Чим відрізняється одне від одного розширення різних газів?
3. Чому потрібно враховувати розширення газів?



РОЗВ'ЯЗУЄМО РАЗОМ

1. Чому решітку газової плити, на яку ставлять посуд для приготування їжі (мал. 26), звужують біля газових пальників?



Мал. 26

Відповідь: для того, щоб урахувати розширення решітки під час горіння газу в пальнику.

2. Чи можна медичним термометром вимірювати температуру киплячої води, температуру води з льодом?

Відповідь: ні, тому що межі вимірювання температури медичним термометром становлять 34–42 °С.

3. На терезах зрівноважили відкриту колбу. Чи порушиться рівновага терезів, якщо колбу нагріти за допомогою будь-якого нагрівача?

Відповідь: порушиться, тому що частина повітря вийде з колби й маса його зменшиться.



ЗАДАЧІ ТА ВПРАВИ

Рівень А

1. Поясніть, чому лопається склянка, коли в неї наливають окріп? Чому перед тим, як налити в склянку кип'яток, у неї ставлять металеву ложку?

2. Металевий термометр (див. мал. 15, с. 11) містить біметалеву пластинку, один кінець якої закріплено на корпусі, а на другому розміщено стрілку. Чи можете ви пояснити його дію? З яких металів складається пластинка? Який з металів розширюється більше?

3. У новорічних гірляндах раніше використовували блимаючі лампи, які містили у собі біметалеву пластинку. Поясніть, чому в них блимали лампи.

4. Для спорудження печей використовують глиняний розчин, а не цементний. Поясніть чому.

5. Чи однакова густина холодної і нагрітої, майже до кипіння, води? Чому?

6. Що може статися з діжкою, ущертв наповненою водою і щільно закритою, якщо її залишити на морозі?

7. Якщо бляшану банку нагріти й щільно закрити корком, то, охолоджуючись, вона сплюснується. Чому?

Рівень Б

8. Для чого кришку і дно консервних банок роблять гофрованими – штампують концентричними кільцями (колами)?

9. У результаті експерименту отримали дані й заповнили таблицю:

| | Довжина, м (0 °С) | Довжина, м (50 °С) | Довжина, м (100 °С) |
|----------------------|----------------------|-----------------------|------------------------|
| Залізний стержень | 1,0000 | 1,0006 | 1,0012 |
| Залізний стержень | 2,0000 | 2,0012 | 2,0024 |
| Мідний стержень | 1,0000 | 1,0008 | 1,0016 |
| Алюмінієвий стержень | 1,0000 | 1,0011 | 1,0022 |

Який з металів найбільше розширився?

Яка буде довжина мідного стержня за температури 200 °С?

На скільки видовжиться алюмінієвий стержень завдовжки 2 м, якщо його нагріють від 0 до 100 °С?

10. Виріжте з паперу, з якого виготовляють пакети для зберігання соків, молока тощо, стрічку і покладіть на сонце або на батарею водяного опалення. Що ви будете спостерігати? Чому стрічка буде вигинатися?

11. Для чого на градуйованих посудинах (мензурках, вимірвальних циліндрах) написано 20 °С?

12. Чому посудини із соком, лимонадом, мінеральною водою та іншими рідинами наповнюють не вщерть?

13. Чому трубку термометра, по якій піднімається або опускається ртуть чи спирт, роблять тонкою?

14. Для чого в системі водяного опалення і в системі водяного охолодження двигуна автомобіля використовують розширювальні баки?

15. За допомогою точних інструментів виміряли об'єм, який займає 1 кг води за температури від 0 до 8 °С.

| Температура, °С | Об'єм, см ³ |
|-----------------|------------------------|
| 0 | 1000,12 |
| 1 | 1000,07 |
| 2 | 1000,03 |
| 3 | 1000,01 |
| 4 | 1000,00 |
| 5 | 1000,01 |
| 6 | 1000,03 |
| 7 | 1000,07 |
| 8 | 1000,11 |

Як змінюється об'єм води від 0 до 4 °С? Від 4 до 8 °С? Чому говорять про особливості теплового розширення води?

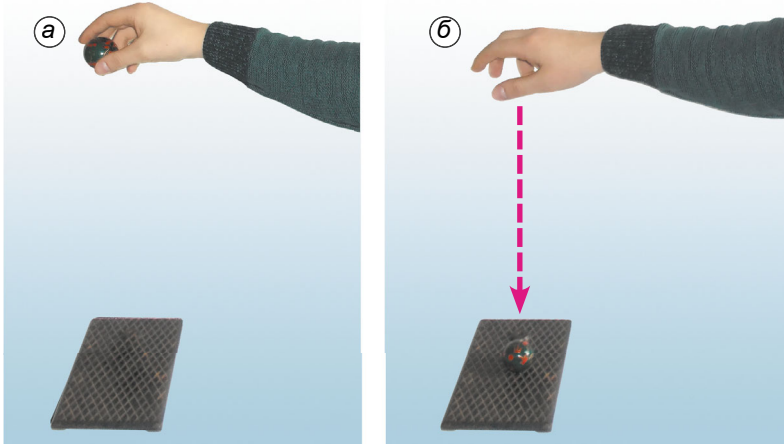
§ 5. ВНУТРІШНЯ ЕНЕРГІЯ ТА СПОСОБИ ЇЇ ЗМІНИ. ТЕПЛООБМІН

Тане сніг, плавляться метали, випаровується вода, нагрівається рідина в посудині – усе це теплові явища. Під час перебігу теплових явищ змінюються температура і стан тіла: лід перетворюється на воду, вода – на пару та навпаки. Щоб розплавити олово, потрібно спочатку його нагріти до температури плавлення, а потім плавити, безупинно надаючи йому енергії. *А які фізичні величини характеризують тепловий стан речовини і дають змогу пояснювати теплові явища?*

Вам уже відомі поняття механічної енергії, види механічної енергії – потенціальна й кінетична. Наприклад, м'яч, піднятий над землею, стиснута або розтягнута пружина мають потенціальну енергію. Кожне рухоме тіло має кінетичну енергію: краплі дощу, які падають на землю; автомобіль, що рухається по дорозі; птах, який летить. Ви також знаєте, що потенціальна й кінетична енергії тіла можуть змінюватися, що під час такої зміни виконується механічна робота.

Дослід 1. Підніmemo пластилінову кульку над столом і відпустимо її. Під дією сили тяжіння кулька впаде на стіл та прилипне до нього.

Проаналізуємо, як змінювалася механічна енергія кульки при цьому. Кулька, піднята над столом, мала потенціальну енергію, її кінетична енергія дорівнювала нулю, тому що вона була нерухома (мал. 27, а). Коли кульку відпустили, то під час падіння її потенціальна енергія зменшувалася, бо зменшувалася висота кульки над столом, а кінетична енергія збільшувалася, бо збільшувалася швидкість руху кульки. Перед торканням кульки до поверхні стола її потенціальна енергія відносно неї дорівнювала нулю, а значення кінетичної енергії дорівнювало значенню потенціальної енергії кульки до початку падіння (мал. 27, б). Коли кулька впала на стіл, то вона зупинилася, тобто її кінетична енергія також стала дорівнювати нулю. Отже, механічна енергія кульки відносно стола в цьому положенні дорівнює нулю.



Мал. 27

Куди ж «зникла» механічна енергія кульки?

Можна припустити, що таке «зникнення» механічної енергії пов'язане з якимись іншими, аніж механічний рух, змінами у стані тіл. Дійсно, якщо за допомогою дуже чутливого термометра виміряти температури кульки та поверхні стола до її падіння й після нього, то виявиться, що їхні температури підвищилися. Отже, відбулися зміни в тепловому стані тіл під час взаємодії.

Науково це можна пояснити так: зміна енергії теплового руху молекул тіл відбулася за рахунок зміни кінетичної енергії їхнього руху та зміни потенціальної енергії їхньої взаємодії, яка стала іншою через деформацію кульки.

Енергію руху та взаємодії частинок, з яких складається тіло, називають внутрішньою енергією тіла.

Отже, під час удару кульки об стіл відбулася зміна механічної енергії кульки на її внутрішню енергію.

За законом збереження енергії, вона нікуди не зникає, тільки відбувається її зміна з одного виду на інший.

Внутрішня енергія тіла залежить від його температури. Підвищується температура тіла – збільшується його внутрішня енергія та навпаки.

Внутрішня енергія тіла не залежить ні від механічного руху тіла, ні від положення цього тіла відносно інших тіл.

Отже, внутрішня енергія тіла, зокрема, пов'язана зі швидкістю руху його частинок. *Як можна збільшити або зменшити цю швидкість, тобто змінити внутрішню енергію тіла?*

Спостереження 1. Вам, напевно, доводилося накачувати насосом велосипедну шину або м'яч (мал. 28), і ви спостерігали, що насос при цьому нагрівається. Збільшення внутрішньої енергії повітря та насоса сталося за рахунок виконання роботи силою, що стискала повітря.

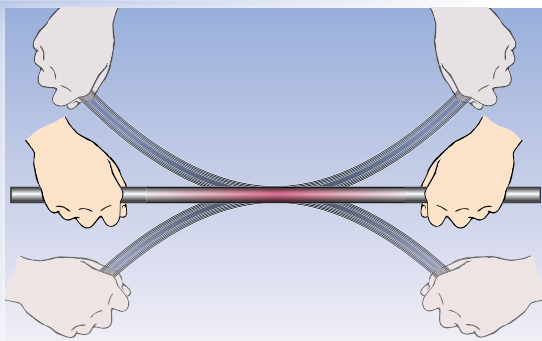


а

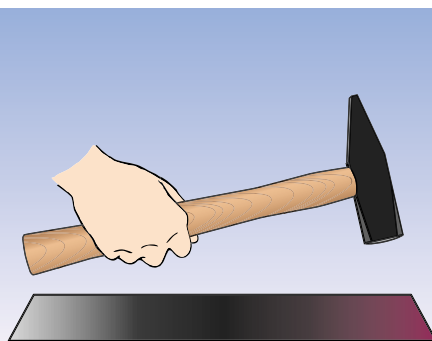


б

Мал. 28



Мал. 29



Мал. 30

Якщо ви зігнете та розігнете кілька разів дротину з м'якого металу (мал. 29), то виявите, що місце згинання нагрілося.

Якщо ви вдарите кілька разів молотком по шматку свинцю (мал. 30), то цей шматок також нагріється. Коли у вас на морозі мерзнуть руки, то ви їх грієте, потираючи одна об одну.

В усіх випадках внутрішня енергія тіл збільшується за рахунок виконання роботи над ними.

Внутрішню енергію тіла можна збільшити, виконуючи над ним роботу.



Мал. 31

Дослід 2. У товстостінній скляній посудині, щільно закритій корком, міститься водяна пара. Через спеціальний отвір будемо накачувати в неї повітря. Через деякий час корок «вискочить» з посудини (мал. 31). У той момент, коли корок вискакує, у посудині з'являється туман (водяна пара перетворилася на рідину), поява якого означає, що повітря в посудині стало холоднішим. Отже, внутрішня енергія повітря в посудині зменшилася. Пояснюється це тим, що стиснуте повітря, яке виштовхнуло корок, тим самим виконало роботу.

Якщо роботу виконує саме тіло, то його внутрішня енергія зменшується.

Внутрішню енергію тіла можна змінити й іншим способом – без виконання роботи.

Спостереження 2. Каструля з водою, що стоїть на гарячій плиті (мал. 32); металева ложка, поміщена в склянку з гарячою водою; батарея водяного опалення, по якій тече гаряча вода; камін, у якому розпалено вогонь (мал. 33); Земля, яку освітлює Сонце (мал. 34), – усі вони нагріваються.

В усіх наведених прикладах температура тіл підвищується. Отже, внутрішня енергія їх збільшується.

Можна спостерігати й охолодження тіл, коли, наприклад, гарячу ложку помістити в холодну воду, чайник, що закипів, зняти з плити.

У наведених прикладах відбувалася зміна внутрішньої енергії тіл, але механічна робота при цьому не виконувалася. Такий процес зміни внутрішньої енергії тіл називають теплообміном, або теплопередачею.



Мал. 32



Мал. 33



Мал. 34

Теплообмін – це процес передачі внутрішньої енергії від нагрітого тіла до холодного без виконання ними або над ними механічної роботи.

Розглянемо, як відбувається теплообмін під час контакту холодної ложки з гарячою водою. На початку кінетична енергія молекул гарячої води перевищує кінетичну енергію атомів металу, з якого виготовлено ложку. Але в місцях стику ложки з водою під час зіткнень швидкі молекули води передають частину своєї кінетичної енергії атомам металу, і ті починають рухатися швидше. Кінетична енергія молекул води при цьому зменшується, а кінетична енергія атомів металу збільшується. Разом з енергією змінюється і температура: вода поступово охолоджується, а ложка – нагрівається. Цей процес триватиме доти, доки температура води і ложки не стане однаковою.

Внутрішню енергію тіла можна змінити шляхом виконання роботи або теплообміну.



ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Які види механічної енергії ви знаєте?
2. Яку енергію називають внутрішньою енергією тіла?
3. Від чого залежить внутрішня енергія тіла?
4. Як можна змінити внутрішню енергію тіла?
5. Наведіть приклади зміни внутрішньої енергії тіла шляхом виконання роботи.
6. Що таке теплообмін?
7. Наведіть приклади зміни внутрішньої енергії тіла шляхом теплообміну.

§ 6. ВИДИ ТЕПЛООБМІНУ

Теплообмін може здійснюватися різними способами.

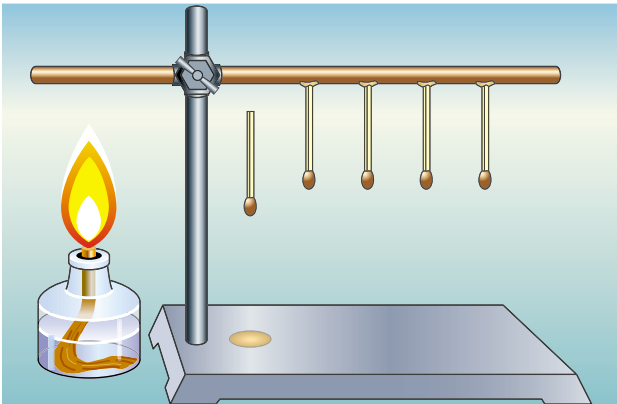
Спостереження 1. Якщо доторкнутися до предметів, виготовлених з металів, дерева, пластмаси, то металеві предмети здаються холоднішими від дерев'яних, хоча їхня температура однакова, наприклад кімнатна.

У цьому випадку ми відчуваємо прохолоду, тому що металеві предмети краще проводять тепло і швидше відбирають його від руки, тобто мають високу **теплопровідність**.

Спостереження 2. Батареї водяного опалення розміщують під вікном біля підлоги. Від них унизу холодне повітря нагрівається й піднімається вгору. Тримаючи руку над запаленою свічкою, ви відчуєте, як від її полум'я вгору піднімаються теплі потоки повітря. Підвісивши над джерелом тепла папірець, можна побачити, як він коливається від руху повітря. У цих прикладах теплообмін здійснюється за рахунок перенесення повітря або рідини. Такий процес передачі тепла називають **конвекцією** (з лат. *convectio* – *перенесення*).

Спостереження 3. Життя на Землі може існувати тому, що вона має придатну для цього температуру завдяки теплу, яке отримує зі світлом від Сонця. Земля і Сонце розташовані на великій відстані (150 млн км), у просторі між ними немає повітря. У цьому разі передача тепла відбувається за рахунок ще одного виду теплообміну – **випромінювання**.

Дослід 1. До мідного стержня парафіном або воском приклеїмо кілька сірників (мал. 35). Один кінець стержня нагріватимемо в полум'ї спиртівки або газового пальника.



Мал. 35



Мал. 36

Під час нагрівання парафін почне плавитися, і сірники відпадатимуть від стержня. Насамперед відпадуть ті сірники, які розміщені ближче до полум'я, а потім по черзі – всі інші.

Передачу тепла від більш нагрітої до менш нагрітої частини тіла внаслідок теплового руху частинок тіла називають *теплопровідністю*. При цьому відбувається передача енергії, а переносу речовини немає.

Дослід 2. У посудину, у якій нагрівається вода, вставимо алюмінієвий, дерев'яний, пластмасовий та скляний стержні (мал. 36). Покладемо зверху на них парафінові кульки. Спочатку розплавиться кулька на алюмінієвому стержні, потім – на скляному. На дерев'яному та пластмасовому стержнях парафін не розплавиться.

Різні речовини мають різну теплопровідність.

За кімнатної температури теплопровідність різних тіл різна (табл. 1).

Теплопровідність деяких речовин порівнянно з теплопровідністю скла Таблиця 1

| Речовина | Теплопровідність, λ , Вт/(м · К) | Речовина | Теплопровідність, λ , Вт/(м · К) |
|------------------|--|----------------|--|
| Мідь | 330 | Вода | 0,5 |
| Алюміній | 270 | Гіпс | 0,4 |
| Латунь | 105 | Бетон | 0,23 |
| Залізо | 60 | Деревина | 0,2–0,1 |
| Нержавіюча сталь | 15 | Пінобетон | 0,043 |
| Вапняк | 1,5 | Пінополістирол | 0,036 |
| Скло | 1,0 | Корок | 0,036 |
| Цегла суцільна | 0,6 | Скловата | 0,035 |
| Цегла порожниста | 0,5 | Сухе повітря | 0,022 |

Добре проводять тепло метали, особливо срібло, золото, мідь. Погано проводять тепло вода, цегла, бетон, лід. Наприклад, теплопровідність бетону в 210 разів нижча за теплопровідність алюмінію. Корок, пінопласт, повітря мають дуже низьку теплопровідність. Такі речовини називають **теплоізоляторами**.

Вовна, пух містять повітря і тому мають низьку теплопровідність. Вони захищають тіло тварин від переохолодження або перегрівання.

Для достатньої теплоізоляції будинку його стіни з бетону повинні мати товщину 30 см. Для забезпечення такої самої теплоізоляції стіни з алюмінію повинні були б мати товщину 63 м, а стіни з корка – 1,2 см.

Дослід 3. Якщо нагрівати воду у верхній частині пробірки (мал. 37), то вона в цьому місці закипить, а внизу можуть залишитися навіть шматочки льоду. Це свідчить про те, що вода – поганий провідник тепла. Якщо ж нагрівати посудину з водою знизу, то вся вода прогріється й закипить (мал. 38), тому що відбуватиметься переміщення верхніх холодних і нижніх нагрітих шарів води. Таке переміщення рідини називають **конвекцією**.



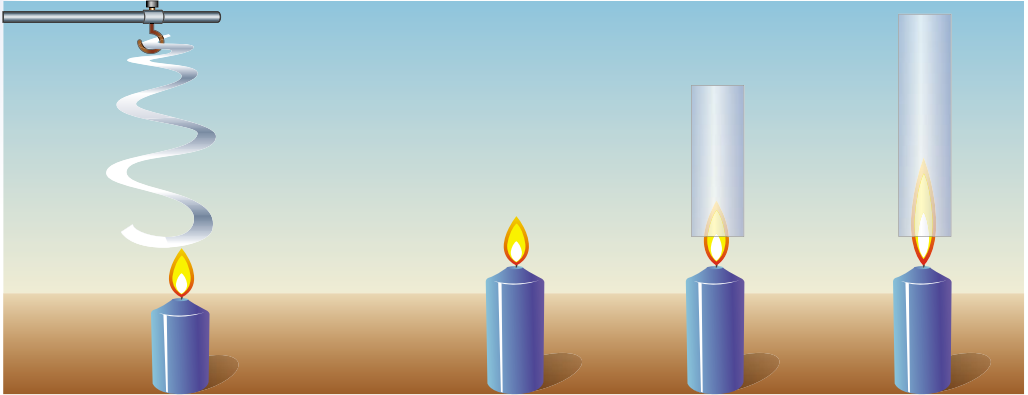
Мал. 37



Мал. 38

Конвекція – процес перенесення енергії струменями рідини або газу.

Дослід 4. Запалимо свічку, розмістимо над полум'ям вирізану з паперу «змійку» (мал. 39). Повітря біля полум'я свічки буде нагріватися і розширюватися. Густина розширеного повітря менша від густини холодного, тому шар теплого повітря піднімається вгору. Його місце відразу заступає сусідній шар холодного повітря, він нагрівається і починає рухатися вгору.



Мал. 39

Мал. 40

Під дією струменів нагрітого повітря паперова «змійка» обертається.

Явищем конвекції можна пояснити виникнення вітрів у природі.

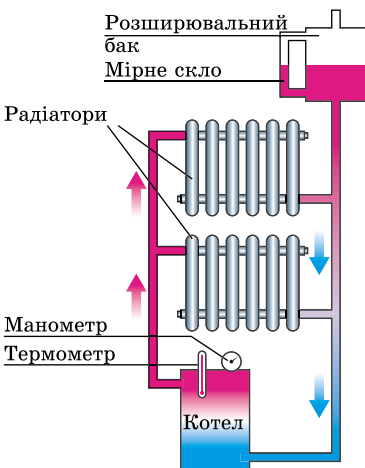
Спостереження 4. Запалимо свічку. Коли над нею розмістимо спочатку нижчий, а потім – вищий скляний циліндр, відкритий з обох боків (мал. 40), то помітимо, що полум'я свічки буде видовжуватися. Такий циліндр – це маленька димова труба, яка створює тягу повітря.

Що вища труба, то краща тяга.

У сучасних будинках встановлюють водяне опалення. Вода, нагріта в котлі (мал. 41), піднімається по трубах угору і віддає тепло радіаторам опалення.

Унаслідок конвекції нагрівається повітря в будинках, при цьому охолоджуються радіатори та вода в них. Охолоджена вода опускається вниз до котла, де знову нагрівається. Щоб уся вода, яка є в системі водяного опалення, нагрівалася, котли або інші нагрівальні установки розміщують у будинку якомога нижче.

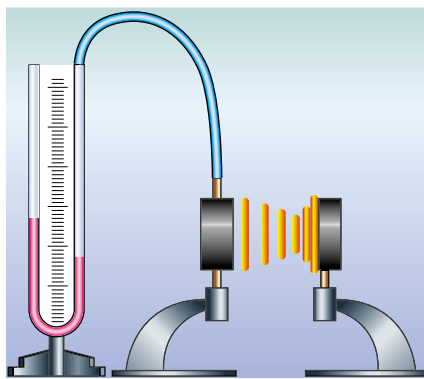
Спостереження 5. Сидячи біля багаття, ми відчуваємо від нього тепло. Отже, відбувається теплообмін, але не через теплопровідність, бо повітря, яке є між



Мал. 41

полум'ям багаття і нами, – теплоізолятор. Конвекцією в цьому разі теплообмін також пояснити не можна, бо ми перебуваємо не над багаттям, а поряд із ним, і потоки холодного повітря йдуть до багаття з нашого боку. Тут маємо справу ще з одним видом теплообміну, який називають **випромінюванням**, про яке ми вже згадували, коли обговорювали нагрівання Землі світлом від Сонця крізь безповітряний простір. Звідси випливає, що для теплообміну випромінюванням не потрібне будь-яке проміжне середовище між тілом і нагрівником.

Дослід 5. Візьмемо теплоприймач (круглу коробочку, один бік якої дзеркальний, а другий – покритий чорною фарбою, мал. 42), з'єднаємо його за допомогою гумової трубки з манометром. Розмістимо на деякій відстані від теплоприймача ввімкнену електроплитку. Невдовзі манометр покаже, що тиск повітря в коробочці теплоприймача збільшився за рахунок його нагрівання від стінки коробочки, температура якої підвищилася внаслідок теплообміну з електроплиткою. Усі тіла, що нас оточують, і ми самі за будь-якої температури є джерелами теплового випромінювання, яке за своєю природою і властивостями подібне до світла й радіохвиль. Що вища температура тіла, то потужнішим є теплове випромінювання від нього. Ми не бачимо його оком, але сприймаємо шкірою, як жар, що йде від джерела. У нашому досліді розжарена електроплитка й була потужним джерелом теплового проміння, яке і сприйняв теплоприймач.



Мал. 42

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

Усі тіла не тільки випускають, а й поглинають теплове проміння. Щоб дослідити, як впливають властивості тіла на його здатність поглинати теплове проміння, повторимо наш дослід двічі: спочатку повернемо теплоприймач до електроплитки блискучою поверхнею, а потім – темною.

Подібні досліди показали, що тіла з темною поверхнею краще випромінюють і поглинають теплове проміння. Тіла, які мають світлу та блискучу поверхню, випромінюють і поглинають енергію гірше, ніж темні.

Тепер можна відповісти на запитання, для чого одні предмети фарбують у темний колір, а інші – у світлі з блиском кольори. Наприклад, чайник з блискучою поверхнею довше зберігає воду теплою, тому що така поверхня випромінює менше тепла, ніж темна. Вагони-холодильники фарбують у світлий колір, щоб вони не нагрівалися на сонці. Улітку ми зазвичай носимо світлий одяг, а взимку – темний.



ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...

- Середня температура тіла людини 36,6 °С підтримується організмом за різноманітних умов життя і діяльності людини. У тканинах і органах тіла безперервно відбуваються процеси окиснення, що супроводжуються виділенням теплоти. Більша частина енергії, яка отримується від перетравлення харчових продуктів, витрачається на механічну роботу, виконання якої також супроводжується виділенням тепла в організмі. Усе це тепло розсіюється тілом людини в навколишнє середовище.

- Самопочуття людини значною мірою залежить від кількості теплоти, яку втрачає організм. Залежно від призначення приміщення, виду виконуваної роботи і вологості повітря нормальною для людини може бути температура навколишнього середовища від 11 до 23 °С. Низькі температури прискорюють процеси вироблення теплоти в організмі. Високі – спричиняють посилення потовиділення, яке є засобом регулювання температури організму. Однак організм людини здатний підтримувати власну температуру сталою тільки за зміни температури навколишнього середовища в невеликих межах. Наприклад, у людини, яка перебуває в стані спокою, у вологому повітрі температура тіла починає підвищуватися за температури повітря вище від 30 °С, а в сухому – від 40 °С.

- Особливо чутливий організм людини до інтенсивності випромінювання. Негативно впливає на нього випромінювання гарячих предметів. Значний вплив на самопочуття людини має температура поверхонь приміщень, з якими тіло людини обмінюється теплом унаслідок випромінювання. Зміна температури стін від 20 до 10 °С спричиняє збільшення випромінювання тіла людини (виділення тілом тепла) на 30 %.



ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Що таке теплопровідність?
2. Що таке конвекція?
3. Що таке випромінювання?
4. Які явища природи пояснюються конвекцією?
5. Яку роль відіграє випромінювання в житті людини?



РОЗВ'ЯЗУЄМО РАЗОМ

1. Як пояснити, що пожежник у спеціальному одязі може безпечно перебувати біля епіцентру вогню (мал. 43)?

Відповідь: тканину спецодягу виготовлено з матеріалів, які мають дуже низьку теплопровідність. Крім того, спецодяг має сріблястий колір і тому відбиває теплове проміння.



Мал. 43

2. Поясніть, чому птахи з великими крилами (орли, шуліки) можуть триматися на одній висоті, не махаючи крилами.

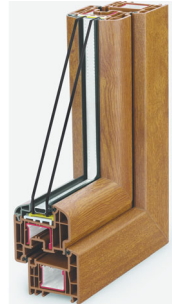
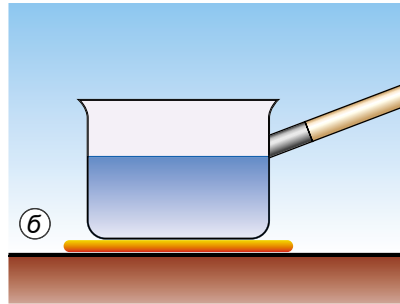
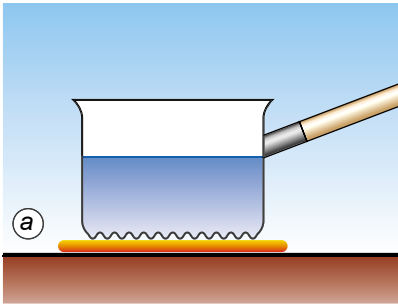
Відповідь: за рахунок висхідних потоків повітря, тобто конвекції.



ЗАДАЧІ ТА ВПРАВИ

Рівень А

16. Холодна і гаряча вода складається з однакових молекул. Чи однакова внутрішня енергія холодної і гарячої води однакової маси? Чому?
17. Чи змінилася внутрішня енергія чайної чашки, коли її переставили зі столу на полицю кухонної шафи?
18. Під час обробки матеріалів інструменти верстатів (різці, свердла, фрези) сильно нагріваються. Чому?
19. Чому, виконуючи вправи на канаті, не слід швидко опускатися, охопивши його руками?
20. Поясніть такі факти: а) борошно, яке сиплеться з-під каменя в млині, гаряче; б) кулькові підшипники машин нагріваються під час роботи менше, ніж підшипники ковзання.
21. Під час огляду космічного корабля після його повернення на Землю виявилось, що найбільше оплавилася й обгоріла поверхня того боку, яким корабель увійшов у земну атмосферу. Дайте цьому пояснення.
22. Чому, коли варять варення, то намагаються користуватися дерев'яною ложкою, а не металевою?
23. З якою метою у будинку між димарем і дошками стелі кладуть шар азбесту?
24. Цегла здається на дотик теплішою за мрамур за тієї самої температури. Який матеріал має кращі теплоізоляційні властивості?
25. У якій з посудин швидше нагріється вода (мал. 44)?



Мал. 44

Мал. 45

26. З якою метою у вікна вставляють подвійне або потрійне скло (мал. 45)?
27. Чому в холодильних камерах м'ясокомбінатів або молокозаводів труби з охолоджувальною рідиною розміщують угорі, біля стелі?
28. Чому в льоху прохолодно навіть у спеку?
29. З якою метою в стінах приміщень роблять вертикальні труби-колодязі, сполучені отворами з кімнатами? Де розміщуються ці отвори?
30. Чому холодильні установки, вагони-холодильники фарбують у світлий колір?

- 31.** У якій суцні влітку менш спекотно: у світлій чи темній? Поясніть чому.
- 32.** Чому зіпсувався медичний термометр, який залишили через недогляд на підвіконні сонячного дня?
- 33.** Улітку повітря в будинку нагрівається за рахунок тепла, що надходить крізь стіни, відчинені вікна і скло, яке пропускає сонячні промені. Про які види теплообміну йдеться в кожному випадку?
- 34.** Чи можна охолодити повітря в кімнаті, відкривши дверцята холодильника?

Рівень Б

- 35.** Чому пилка з недостатньо розведеними зубцями нагрівається більше, ніж з нормальним розведенням зубців?
- 36.** Після розрізання слюсарною ножівкою металевої деталі спостерігається нагрівання деталі й полотна ножівки. Унаслідок чого сталися такі зміни?
- 37.** Виконайте такий дослід: візьміть м'яку залізну або мідну дrottину діаметром 3–4 мм, перегніть її кілька разів в одному й тому самому місці й торкніться цього місця рукою. Що відчуєте? Чому сталася ця зміна з дrottиною?
- 38.** Шматок свинцю можна нагріти різними способами: вдаряючи по ньому молотком, вносячи його в полум'я пальника або гарячу воду. Чи можна стверджувати, що в усіх цих випадках шматок свинцю отримав певну кількість теплоти; що збільшилася його внутрішня енергія?
- 39.** Сірник спалахує, якщо його терти об коробку. Він також спалахує, коли його вносять у полум'я свічки. У чому спільність і відмінність причин, що зумовлюють спалахування сірника в цих випадках?
- 40.** Чому покришки автомобільних коліс виготовляють з гуми, яка не розм'якшується й не втрачає міцності навіть за 100 °С і вищої температури?
- 41.** Як можна зігріти змерзлі руки, не використовуючи нагрітих предметів або теплих рукавичок?
- 42.** Деяку масу води в одному випадку нагріли на 35 °С, а в іншому – охолодили на 10 °С. Збільшилась чи зменшилась внутрішня енергія води в кожному з випадків?
- 43.** Виконайте такий дослід: опустіть алюмінієву і залізну ложки в гарячу воду. Яка з них швидше нагріється? Яка з них має кращу теплопровідність?
- 44.** Чому шматки заліза і дерева на морозі здаються неоднаково холодними, а влітку в спекотний день бетонний стовп огорожі й залізна огорожа – неоднаково нагрітими?
- 45.** Чому щільний вологий ґрунт має значно більшу теплопровідність, ніж сухий і розпушений? Що треба зробити, щоб прискорити прогрівання ґрунту на більшу глибину? З якою метою коткують (ущільнюють) ґрунт?
- 46.** Чому радіатори водяного опалення в кімнаті встановлюють внизу й обов'язково біля вікна? Що було б, якби ці радіатори розмістили біля протилежної до вікна стіни?

47. Коли довільне змішування холодної і гарячої води відбуватиметься швидше: якщо в гарячу воду наливати холодну чи в холодну наливати повільно гарячу в тій самій пропорції? Відповідь поясніть, переверте на досліді, використовуючи при цьому термометр.

48. У якому димарі краще утворюється тяга: цегляному чи металевому, якщо вони мають однакові внутрішній діаметр і висоту?

49. Для чого в газових лампах використовують високе скло (мал. 46)?

50. Пасажири літака, який пролітає через протоку, відчувають невелике струшування («бобтанку») в ті моменти, коли літак пролітає якраз над берегами протоки; а над водою літак летить рівно. Дайте цьому пояснення.



Мал. 46



Мал. 47

51. На малюнку 47, *a* в нижній посудині міститься лід, а у верхній – вода. На малюнку 47, *б* – навпаки. У якій посудині (ліворуч чи праворуч) швидше охолоне вода?

52. Сталевар, спостерігаючи крізь темні окуляри за процесом сталеваріння, часто ще й загороджує обличчя рукою. Чому він це робить?

53. В одному з двох однакових рідинних термометрів резервуар зачорнили, а після цього обидва термометри помістили в холодильник. Який термометр швидше покаже зниження температури і чому?

54. Земна атмосфера внаслідок своєї прозорості дуже слабо поглинає сонячне проміння і через це не нагрівається. Чому ж улітку буває спекотно навіть у тіні?

55. Чи зміниться висота польоту повітряної кулі, якщо вона в літній день опиниться в тіні від хмари?

§ 7. КІЛЬКІСТЬ ТЕПЛОТИ. ПИТОМА ТЕПЛОЄМНІСТЬ РЕЧОВИНИ

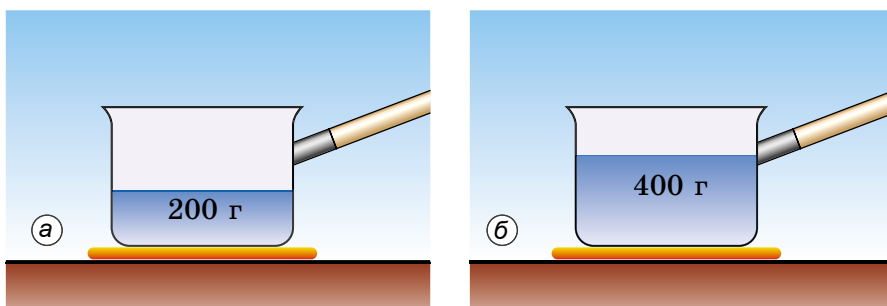
Для кількісного опису властивостей теплообміну застосовують спеціальні фізичні величини, однією з яких є кількість теплоти.

Кількість теплоти показує, яка кінетична енергія хаотичного (безладного) руху молекул передалася від одного тіла до іншого під час теплообміну, у результаті чого змінилася внутрішня енергія обох тіл, що були в тепловому контакті.

Від яких умов теплообміну залежить кількість теплоти?

Усім вам, мабуть, доводилося нагрівати воду, і ви добре знаєте, що для нагрівання чайника, ущерть заповненого водою, потрібна більша кількість теплоти, ніж для такого самого чайника, наповненого до половини. Звідси випливає: що більша маса тіла, то більшу кількість теплоти потрібно затратити, щоб змінити його температуру на одну й ту саму кількість градусів.

Дослід 1. На однакові нагрівники поставимо однакові посудини, в одну з яких налито 200 г води (мал. 48, а), а в другу – 400 г (мал. 48, б). Виміряємо початкову температуру води – вона однакова в обох посудинах.



Мал. 48

Нагриваючи воду до певної температури, побачимо, що посудину з водою масою 400 г потрібно гріти вдвічі довше, ніж посудину з водою масою 200 г, тобто їй слід надати удвічі більшої кількості теплоти. Кількість теплоти, яка потрібна для нагрівання тіла, залежить від маси цього тіла.

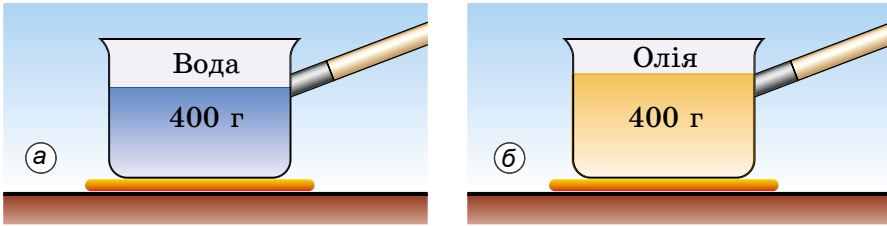
Що більша маса тіла, то більшу кількість теплоти треба надати йому, щоб нагріти до певної температури.

У той самий час тіло, яке охолоджується, передає навколишньому середовищу тим більше кількості теплоти, чим більша його маса. Наприклад, якщо залишити холонуть посудини з попереднього досліду, то посудина, у якій маса води дорівнює 400 г, набуде кімнатної температури за час, удвічі більший, ніж та, у якій води 200 г, а отже, поверне і вдвічі більшу кількість теплоти.

Дослід 2. Поставимо тепер посудину з водою кімнатної температури на нагрівник і нагріємо воду, наприклад, на 10 °С. Процес нагрівання триватиме деякий час, за який тілу буде передано певну кількість теплоти. Якщо ми вирішимо підвищити температуру води ще на 10 °С, то процес нагрівання треба буде продовжити, і він триватиме такий самий час, який знадобився в першій частині досліду. Зрозуміло, що при цьому воді буде передано додатково таку саму кількість теплоти, що й раніше. Отже, що більша різниця кінцевої і початкової температур тіла під час нагрівання, то більшої кількості теплоти йому треба надати.

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

Дослід 3. Візьмемо дві однакові посудини, перша з яких містить 400 г води (мал. 49, а), а друга – 400 г олії (мал. 49, б) кімнатної температури і поставимо їх на однакові нагрівники. Отже, маси обох рідин однакові й нагріватимемо їх до однакової температури, наприклад до 40 °С.

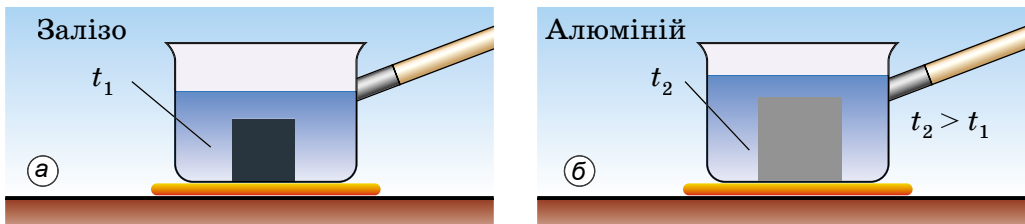


Мал. 49

Спостерігаючи за показами термометрів, занурених у кожну з рідин, побачимо, що олія набуде заданої температури першою. Щоб температура води зрівнялася з температурою олії, нагрівання води треба продовжити і надати їй додаткової кількості теплоти.

Кількість теплоти, яка потрібна для нагрівання тіла до певної температури, залежить від того, з якої речовини виготовлено тіло.

Дослід 4. Нагріємо залізне та алюмінієве тіла однакової маси до певної температури, наприклад до 40 °С (мал. 50). Зануримо кожне з тіл в окремі посудини з однаковою кількістю води кімнатної температури в кожній. Через певний час побачимо, що вода, у яку помістили алюмінієве тіло, нагрілася більше, ніж вода, у яку поклали залізне тіло.



Мал. 50

Тіла з різних речовин однакової маси і температури, охолоджуючись, виділяють різну кількість теплоти.

Кількість теплоти – це внутрішня енергія, яку одержує або втрачає тіло під час теплообміну. Вона залежить від речовини, з якої виготовлено тіло, маси цього тіла та різниці його кінцевої і початкової температур.

Кількість теплоти позначають великою латинською літерою Q . Одиницею кількості теплоти, як і енергії, є один джоуль (1 Дж). Використовують також кратні одиниці кількості теплоти: один кілоджоуль (1 кДж) і один мегаджоуль (1 МДж).

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

Щоб підвищити температуру води масою 1 кг на 1 °С, треба надати їй кількість теплоти, що дорівнює 4200 Дж; якщо нагрівати 1 кг золота на 1 °С, то потрібна кількість теплоти, яка дорівнює лише 130 Дж. Отже, кожна речовина масою 1 кг для нагрівання на 1 °С потребує певної кількості теплоти. Під час охолодження цих речовин масою 1 кг на 1 °С виділятимуться такі самі кількості теплоти.

Фізичну величину, що показує, яка кількість теплоти потрібна для зміни температури речовини масою 1 кг на 1 °С, називають *питомою теплоємністю речовини*.

Питому теплоємність речовини позначають малою латинською літерою *c*. Одиницею питомої теплоємності речовини є **один джоуль, поділений на один кілограм і один градус Цельсія (1 Дж/(кг · °С))**.

У таблиці 2 наведено значення питомої теплоємності для багатьох речовин, що використовуються у промисловості й побуті.

Питома теплоємність речовин

Таблиця 2

| Речовина | Питома теплоємність речовини, Дж/(кг · °С) | Речовина | Питома теплоємність речовини, Дж/(кг · °С) |
|----------|--|----------|--|
| Вода | 4200 | Сталь | 500 |
| Спирт | 2500 | Залізо | 460 |
| Ефір | 2350 | Нікель | 460 |
| Газ | 2100 | Мідь | 380 |
| Лід | 2100 | Латунь | 380 |
| Повітря | 1000 | Цинк | 380 |
| Алюміній | 920 | Срібло | 250 |
| Пісок | 880 | Олово | 250 |
| Цегла | 880 | Свинець | 140 |
| Скло | 840 | Ртуть | 130 |
| Чавун | 540 | Золото | 130 |

Що означає вислів «питома теплоємність срібла дорівнює 250 Дж/(кг · °С)»? Цей вислів означає, що для нагрівання 1 кг срібла на 1 °С потрібно затратити кількість теплоти, що дорівнює 250 Дж, або під час охолодження 1 кг срібла на 1 °С виділяється кількість теплоти, що дорівнює 250 Дж.

Аналізуючи таблицю 2, бачимо, що вода має дуже велику питому теплоємність. Тому вода в морях і океанах, нагріваючись улітку, вбирає велику кількість теплоти, і в місцях поблизу великих водойм улітку не буває так жарко, як у місцях, віддалених від води. Узимку вода охолоджується й віддає значну кількість теплоти, через те зима в цих місцях не така люта. Завдяки великій питомій теплоємності воду широко використовують у системах водяного опалення, для охолодження двигунів.

Раніше з результатів дослідів було зроблено висновок, що для нагрівання будь-якого тіла потрібно затратити певну кількість теплоти, яка пропорційна масі тіла, різниці його кінцевої і початкової температур та залежить від роду речовини, з якої воно виготовлене.

Як обчислити кількість теплоти, коли задано певні значення всіх цих величин? Наприклад, треба обчислити, яку кількість теплоти одержала під час нагрівання мідна деталь масою 5 кг, якщо її температура збільшилася від 20 до 520 °С. У таблиці 2 знаходимо значення питомої теплоємності міді: вона дорівнює 380 Дж/(кг · °С). Це означає, що для нагрівання міді масою 1 кг на 1 °С потрібно 380 Дж, а для нагрівання міді масою 5 кг на 1 °С потрібна в 5 разів більша кількість теплоти, тобто 380 Дж · 5 = 1900 Дж. Для нагрівання міді масою 5 кг на 500 °С потрібна ще в 500 разів більша кількість теплоти, тобто

$$1900 \text{ Дж} \cdot 500 = 950\,000 \text{ Дж} = 950 \text{ кДж.}$$

Щоб обчислити кількість теплоти, яка потрібна для нагрівання тіла, або кількість теплоти, яку виділяє тіло під час охолодження, треба питому теплоємність речовини помножити на масу тіла та на різницю кінцевої і початкової температур тіла.

Математично це правило записують у вигляді такої формули:

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

де Q – кількість теплоти; c – питома теплоємність речовини; m – маса тіла; t_1 – початкова температура тіла; t_2 – кінцева температура тіла.

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

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

Щоб визначити питому теплоємність речовини, з якої виготовлено тіло, потрібно кількість теплоти поділити на масу тіла й на різницю його кінцевої і початкової температур:

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

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

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

**ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...**

- Одиницею кількості теплоти з давніх-давен була особлива одиниця – **калорія** (з лат. calor – тепло, жар).
- Калорія (кал) – це кількість теплоти, яку треба передати 1 г води для нагрівання її на 1 °С. Можна сказати також, що калорія – це кількість теплоти, яку втрачає 1 г води, охолоджуючись на 1 °С.

• Користуються також більшою одиницею кількості теплоти **кілокалорією**:

$$1 \text{ ккал} = 1000 \text{ кал}; \quad 1 \text{ кал} = 4,19 \text{ Дж.}$$

**ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО**

1. Що таке кількість теплоти?
2. Від яких фізичних величин залежить кількість теплоти, потрібна для нагрівання тіла?
3. Назвіть одиниці кількості теплоти.
4. Що таке питома теплоємність речовини? Що вона показує?

§ 8. ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС

Тіла з різними температурами обмінюються між собою теплотою. Тіла, більш нагріті, віддають частину своєї енергії тілам, менш нагрітим, доти, доки в них усіх не зрівняється температура.

Кількість теплоти, яку віддають усі тіла, що охолоджуються, дорівнює кількості теплоти, одержаної всіма тілами, що нагріваються (за умови, що при цьому не відбувається перетворення тепла в інші види енергії).

Завжди під час розрахунків, що стосуються обміну енергією між тілами, треба враховувати всю ту кількість теплоти, яку в теплових явищах, що розглядаються, віддають тіла, і ту кількість теплоти, яку одержують інші тіла, що беруть участь у тих самих явищах: обидві ці кількості теплоти мають бути рівні між собою.

Застосуємо це твердження до змішування двох рідин різної температури.

Позначимо масу більш холодної рідини через m_1 , її питому теплоємність – c_1 і її температуру – t_1 . Ті самі величини для більш нагрітої рідини відповідно будуть: m_2 , c_2 , t_2 .

Якщо обидві рідини змішати в одній посудині (для спрощення задачі вважатимемо, що вона виготовлена з речовини, яка є повним теплоізолятором і не бере участі в теплообміні), то молекули гарячої рідини будуть віддавати енергію молекулам холодної рідини доти, доки температура суміші рідин не набуде певного проміжного значення. Позначимо остаточну температуру суміші літерою t_c . Тоді кількість теплоти, яку віддала рідина, що охолоджується, визначатиметься за такою формулою: $Q_2 = c_2 m_2 (t_2 - t_c)$, а кількість теплоти, яку одержала рідина, що нагрівається, за такою: $Q_1 = c_1 m_1 (t_c - t_1)$.

Оскільки кількість теплоти, яку віддала рідина, що охолоджується, дорівнює кількості теплоти, яку одержала рідина, що нагрівається, тобто ($Q_2 = Q_1$), можемо прирівняти праві частини цих виразів. Одержимо таку рівність:

$$c_2 m_2 (t_2 - t_c) = c_1 m_1 (t_c - t_1).$$

Це рівняння називають **рівнянням теплового балансу**. Свого часу для води його вивів петербурзький академік **Георг Ріхман**. З рівняння теплового балансу можна, якщо решта величин відомі, визначити масу однієї з речовин, що беруть участь у змішуванні, або її початкову температуру чи температуру суміші, а також значення невідомої питомої теплоємності.



ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Що показує рівняння теплового балансу?
2. Що треба знати, щоб обчислити кількість теплоти, яку одержує тіло під час нагрівання або яка виділяється під час охолодження тіла?
3. Який висновок можна зробити з досліду на змішування холодної і гарячої рідини? Чому на практиці ці енергії не дорівнюють одна одній?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

Вивчення теплового балансу за умов змішування води різної температури

Мета роботи: визначити кількість теплоти, яку віддала гаряча вода під час теплообміну, і кількість теплоти, яку одержала холодна вода. Пояснити результати.

Прилади і матеріали: калориметр, вимірювальний циліндр або мензурка, термометр, склянка з холодною водою, посудина з гарячою водою. Калориметр¹ (мал. 51) – прилад, який складається з двох посудин: внутрішня – з алюмінію, зовнішня може бути з пластмаси. Простір між посудинами заповнений повітрям і контакт між їхніми поверхнями практично відсутній. Така будова приладу зменшує теплообмін речовини у внутрішній посудині із зовнішнім середовищем.



Мал. 51

Хід роботи

Ознайомтеся з правилами безпеки життєдіяльності під час виконання роботи.

1. Виміряйте масу внутрішньої посудини калориметра m_k .
2. Налийте у склянку $m_x = 100$ г холодної води, а в калориметр – $m_r = 100$ г гарячої води. Виміряйте термометром температури t_x холодної та t_r гарячої води. Результати запишіть у таблицю.
3. Холодну воду вилийте в калориметр з гарячою водою, помішайте (обережно) термометром отриману суміш і виміряйте її температуру t_c .

¹ *Калориметр* (від лат. calor – тепло і metor – вимірювати) – прилад для вимірювання кількості теплоти, що виділяється або поглинається під час фізичних процесів. Термін «калориметр» запропонували А. Лавуазьє та П. Лаплас.

| Маса калориметра, m_k , кг | Маса гарячої води, m_r , кг | Маса холодної води, m_x , кг | Температура гарячої води, t_r , °C | Температура холодної води, t_x , °C | Температура суміші, t_c , °C | Кількість теплоти, одержана холодною водою, Q_1 , Дж | Кількість теплоти, віддана гарячою водою, Q_2 , Дж | Кількість теплоти, одержана калориметром, Q_k , Дж |
|------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|--|--|--|
| | | | | | | | | |

4. Визначте за формулою $Q_1 = cm_x(t_c - t_x)$ кількість теплоти, яку одержала холодна вода від гарячої.

5. Визначте за формулою $Q_2 = cm_r(t_r - t_c)$ кількість теплоти, яку віддала гаряча вода холодній ($c = 4200$ Дж/(кг · °C)).

6. Визначте за формулою $Q_k = c_k m_k(t_c - t_x)$ кількість теплоти, яку одержала від гарячої води внутрішня посудина калориметра ($c_k = 920$ Дж/(кг · °C)).

7. Перевірте рівняння теплового балансу: $Q_2 = Q_1 + Q_k$. Порівняйте одержані результати, зробіть висновки.

На рівнянні теплового балансу ґрунтується визначення питомої теплоємності речовини.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

Визначення питомої теплоємності речовини

Мета роботи: використовуючи рівняння теплового балансу, визначити питому теплоємність твердого тіла.

Прилади і матеріали: склянка з водою, калориметр, терези (динамометр), набір важків, алюмінієвий циліндр на нитці, посудина з гарячою водою, термометр.

Хід роботи

Ознайомтеся з правилами безпеки життєдіяльності під час виконання роботи.

1. Виміряйте масу тіла (циліндра) m_T і масу внутрішньої посудини калориметра m_k .

2. Налийте в калориметр води $m_1 = 100\text{--}150$ г кімнатної температури. Виміряйте її температуру t_1 . Результати запишіть у таблицю.

3. Нагрійте циліндр у посудині з гарячою водою. Виміряйте її температуру (ця температура й буде початковою температурою циліндра t_T). Потім опустіть його в калориметр з водою.

4. Виміряйте температуру t_c води в калориметрі після опускання циліндра.

5. Визначте за формулою $Q_1 = cm_1(t_c - t_1)$ кількість теплоти, яку одержала холодна вода від гарячого тіла ($c = 4200$ Дж/(кг · °C)).

6. Визначте за формулою $Q_2 = c_T m_T(t_T - t_c)$ кількість теплоти, яку віддало гаряче тіло холодній воді.

7. Визначте за формулою $Q_k = c_k m_k(t_c - t_1)$ кількість теплоти, яку отримала від гарячої води внутрішня посудина калориметра ($c_k = 920$ Дж/(кг · °C)).

8. Використавши рівняння теплового балансу $Q_2 = Q_1 + Q_k$, тобто:

$$c_T m_T (t_T - t_c) = c_m m_1 (t_c - t_1) + c_k m_k (t_c - t_1),$$

визначте питому теплоємність твердого тіла (циліндра):

$$c_T = \frac{c_m m_1 (t_c - t_1) + c_k m_k (t_c - t_1)}{m_T (t_T - t_c)}.$$

Отримане значення питомої теплоємності порівняйте з її табличним значенням і визначте, який це метал.

| Маса калориметра, m_k , кг | Маса холодної води, m_1 , кг | Початкова температура тіла, t_T , °C | Температура холодної води, t_1 , °C | Температура нагрітої тілом води, t_c , °C | Кількість теплоти, одержана холодною водою, Q_1 , Дж | Кількість теплоти, віддана гарячим тілом, Q_2 , Дж | Кількість теплоти, одержана калориметром, Q_k , Дж | Питома теплоємність речовини тіла c_T , Дж/(кг · °C) |
|------------------------------|--------------------------------|--|---------------------------------------|---|--|--|--|--|
| | | | | | | | | |



РОЗВ'ЯЗУЄМО РАЗОМ

1. Яку кількість теплоти потрібно затратити, щоб 2 кг води нагріти від 20 до 100 °C?

Дано:

$$m = 2 \text{ кг}$$

$$t_1 = 20 \text{ °C}$$

$$t_2 = 100 \text{ °C}$$

$$c = 4200 \text{ Дж/(кг · °C)}$$

$$Q = ?$$

Розв'язання

Кількість теплоти, яка потрібна для нагрівання тіла, визначається за формулою $Q = cm(t_2 - t_1)$.

$$Q = 4200 \text{ Дж/(кг · °C)} \cdot 2 \text{ кг} \cdot (100 \text{ °C} - 20 \text{ °C}) = 672\,000 \text{ Дж} = 672 \text{ кДж}.$$

Відповідь: 672 кДж.

2. Яка кількість теплоти виділиться під час охолодження 3 кг свинцю від 320 до 20 °C?

Дано:

$$m = 3 \text{ кг}$$

$$t_1 = 320 \text{ °C}$$

$$t_2 = 20 \text{ °C}$$

$$c = 140 \text{ Дж/(кг · °C)}$$

$$Q = ?$$

Розв'язання

Кількість теплоти, яка виділяється під час охолодження тіла, визначається за формулою $Q = cm(t_2 - t_1)$.

$$Q = 140 \text{ Дж/(кг · °C)} \cdot 3 \text{ кг} \cdot (20 \text{ °C} - 320 \text{ °C}) = -126\,000 \text{ Дж} = -126 \text{ кДж}.$$

Знак «-» означає, що енергія виділилася під час охолодження тіла.

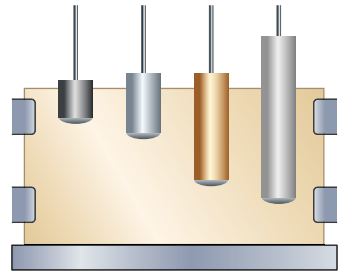
Відповідь: -126 кДж.



ЗАДАЧІ ТА ВПРАВИ

Рівень А

56. Чотири циліндри – алюмінієвий, латунний, залізний і свинцевий, що мають однакову масу, нагріли у воді до однакової температури й одночасно поставили на парафінову пластинку (мал. 52). Чи однакову кількість теплоти віддали ці циліндри парафіну? Чи однакова кількість теплоти потрібна для нагрівання 1 кг кожної з цих речовин на 1 °С?



Мал. 52

57. В одну пробірку налили воду, в іншу – олію такої самої маси і температури. Яка із цих рідин швидше нагріватиметься, якщо пробірки занурити в гарячу воду? Чи однакова кількість теплоти потрібна для нагрівання їх до температури гарячої води?

58. У дві посудини з однаковою кількістю води, температура якої 20 °С, опускають нагріті до 100 °С однакової маси шматки заліза і міді. У якій посудині температура води буде вищою і чому?

59. У склянку перед тим, як налити окріп, кладуть чайну ложку. З якою метою це роблять і яку ложку – алюмінієву чи срібну (однакової маси) – краще використати для цього?

60. Сталеві деталі, нагріті у спеціальних печах до температури 800 °С, гартують, занурюючи їх у воду або олію. У якій із цих рідин деталь швидше охолоджується і чому?

61. Чому вода є найкращою рідиною для: а) водяного опалення будинків; б) охолодження двигунів автомобілів і тракторів; в) охолодження нагрітих металевих деталей; г) медичних грілок; д) гасіння пожежі?

62. Чому стержні паяльників виготовляють із червоної міді, а не використовують для цього залізо?

63. Яку кількість теплоти потрібно надати 1 кг води, щоб підвищити її температуру від 20 до 100 °С?

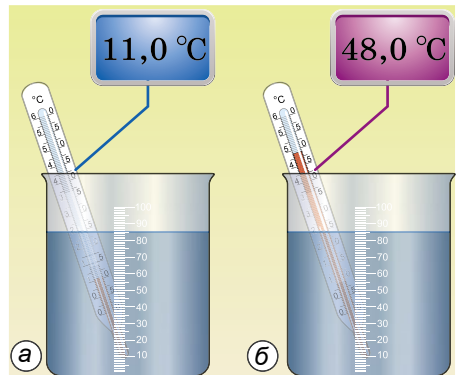
64. Яку кількість теплоти потрібно затратити, щоб нагріти на плиті алюмінієву сковороду масою 500 г від 20 до 220 °С?

Рівень Б

65. Яку кількість теплоти віддасть під час гартування сталева деталь, нагріта до температури 800 °С? Маса деталі дорівнює 2 кг, а вода нагрівається до температури 50 °С.

66. На електроплитці нагріли 2 л води (мал. 53, а, б). Яку кількість теплоти одержала вода?

67. У радіатори водяного опалення надходить вода, температура якої 80 °С, а виходить з них з температурою 60 °С. Яку кількість теплоти



Мал. 53

віддає за добу вода, якщо за 1 год через радіатори протікає 120 л води?

68. Температура молока під час доїння корів дорівнює $37\text{ }^{\circ}\text{C}$. Для транспортування його охолоджують до температури $4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Яка кількість теплоти виділяється при цьому, якщо середній надій у фермерському господарстві дорівнює 800 кг? Питома теплоємність молока $3900\text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C})$. Скільки води можна підігріти за рахунок виділеного тепла від 0 до $30\text{ }^{\circ}\text{C}$, щоб використати її для напування взимку корів?

69. Яку масу води можна нагріти на $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ наданням 1 кДж теплоти?

§ 9. ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТВЕРДИХ ТІЛ, РІДИН І ГАЗІВ

Спробуємо перелічити тіла, що нас оточують (мал. 54). Список тіл буде дуже великим. Ці тіла ми можемо класифікувати за формою, кольором, розмірами, запахом, смаком і т. д. Фізики поділяють фізичні тіла на три класи: **тверді**, **рідкі** і **газуваті**. Фізичні тіла складаються з речовини, тому ми можемо зробити висновок: речовина у природі може перебувати у трьох станах: твердому, рідкому і газуватому. Властивості речовини в різних станах неоднакові.



Мал. 54

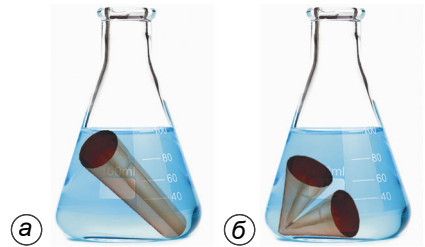
Тверді тіла найлегше розпізнати. Камінь, стіл, склянка, порцелянова чашка, шматок пластиліну – це тверді тіла, їх можна тримати в руках, і хоч би як ми їх переставляли на столі, вони залишаються такими самими. Камінь, шматок заліза – це міцні тверді тіла.

Щоб змінити їхню форму, потрібно докласти великих зусиль. Склянка, порцелянова чашка – це крихкі тверді тіла, їх легко розбити. Шматок пластиліну – це м'яке тверде тіло, з нього легко ліпити вироби, тобто його форму легко змінити (мал. 55).

Дослід 1. У посудину з водою помістимо шматок металевої трубки (мал. 56, а). Зафіксуємо рівень води в посудині. Змінимо форму трубки і знову помістимо її в посудину (мал. 56, б). Рівень води не змінився. Отже, тверді тіла зберігають свій об'єм.



Мал. 55



Мал. 56

Тверді тіла зберігають свою форму та об'єм.

Вода, спирт, олія, молоко розтікаються по поверхні, якщо їх вилити з посудини. Рідини легко змінюють свою форму, вони набувають форми посудини, у яку їх наливають (мал. 57). За звичайних умов тільки маленькі краплини рідини мають свою форму – форму кульки. Наприклад, такі кулясті крапельки води можна побачити під час випадання роси на листках рослин (мал. 58).



Мал. 57



Мал. 58

Властивість рідини набувати форми посудини використовують під час лиття деталей, виготовлення скляного посуду.

Форму рідини змінити легко, а її об'єм – важко.

Дослід 2. Наберемо у шприц води, закриємо його отвір, будемо тиснути на поршень (мал. 59). Хоч би які зусилля ми прикладали, стиснути воду неможливо.



Мал. 59

Зберігся опис історичного досліду, під час якого воду намагалися стиснути так: її налили у свинцеву кулю, яку потім запаляли, щоб вода не вилілася під час стискання. Після цього по свинцевій кулі вдарили важким молотом, щоб вона сплющилась і стиснула воду. І який результат? Вода не стиснулася, вона просочилася крізь стінки кулі. Це свідчить про те, що рідини малостисливі й вони зберігають свій об'єм.

Якщо розглянемо посудину з рідиною, то побачимо, що існує поверхня розділу між рідиною і повітрям. Цю поверхню називають **вільною поверхнею**. Вільна поверхня нерухомої рідини є плоскою і горизонтальною. Щоб це перевірити, використаємо висок і косинець (мал. 60). У вузьких трубках вільна поверхня викривлена. Таку поверхню називають **меніском** (мал. 61).



Мал. 60



Мал. 61

Коли ми наливаємо рідину в посудину, вона займає в ній певний простір. Простір, який займає рідина в посудині, називають об'ємом рідини.

Одиницею об'єму в СІ є **один метр кубічний (1 м³)**. Для вимірювання місткості посудини – об'єму рідини, яку може містити вщерть наповнена посудина, – використовують одиницю, яку називають **один літр (1 л)**. Використовують й інші одиниці об'єму і місткості: 1 дм³, 1 см³, 1 мл. Зв'язок між цими одиницями показано в таблиці 3.

Таблиця 3

| | | | | | | | |
|-------------------|------------------|--------------------|---------------------|-------------------|---------------------|--------------------|-------------------|
| Одиниці об'єму | 1 м ³ | 0,1 м ³ | 0,01 м ³ | 1 дм ³ | 100 см ³ | 10 см ³ | 1 см ³ |
| Одиниці місткості | 1000 л | 100 л | 10 л | 1 л | 0,1 л | 0,01 л | 0,001 л |

Для того щоб виміряти об'єм будь-якої рідини, використовують градуйовані посудини (мал. 62): мензурки, вимірювальні циліндри, бюретки, колби. Медичні шприци також проградуйовано, щоб знати, скільки ліків вводити хворому. У торгівлі використовують посудини, які мають місткість 0,33 л, 0,5 л, 0,75 л, 1 л, 1,5 л, 2 л.

Повітря, яке оточує Землю, – це суміш різних газів. Ми не бачимо повітря, але знаємо, що воно існує, і можемо спостерігати його прояви.



Мал. 62

Нагріте повітря піднімає повітряні кулі (мал. 63). Метеорологічні зонди, які використовують для дослідження верхніх шарів атмосфери Землі, наповнюють легким газом – гелієм.



Мал. 63



Мал. 64

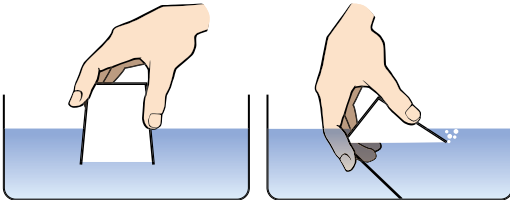


Мал. 65

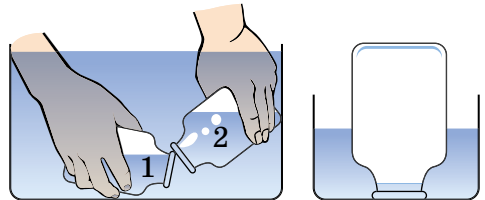
Водолази, щоб перебувати довгий час під водою, беруть із собою балони зі стисненим повітрям (мал. 64). Повітря рухає парусні судна (мал. 65).

Під час швидкого руху, перебуваючи в автомобілі, поїзді, а також коли дме вітер, відчуваємо повітря навколо нас. Його можна виявити й за допомогою дослідів.

Дослід 3. Зануримо склянку догори дном у посудину з водою. Вода не буде входити в склянку, тому що там є повітря. Нахилимо склянку, повітря виходить, а вода займає його місце (мал. 66).



Мал. 66

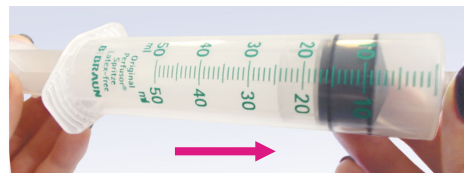


Мал. 67

Використовуючи цю властивість, повітря можна переливати з посудини 1 в посудину 2, його можна консервувати (мал. 67).

Дослід 4. Закриємо пальцем отвір шприца і натиснемо на його поршень. Поршень без великих зусиль переміщується, об'єм повітря зменшується (мал. 68).

Гази легко стискаються.

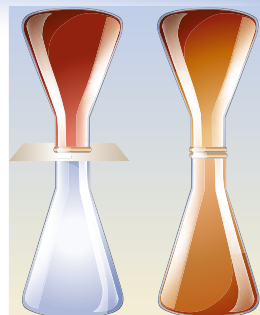


Мал. 68

Гази мають ще одну особливу властивість, якої не мають тверді тіла і рідини, а саме:

вони займають повністю всю надану їм місткість.

Дослід 5. Наповнимо одну колбу оксидом азоту (газ червоно-коричневого кольору) і накриємо її аркушем паперу. Поставимо її на другу колбу так, як показано на малюнку 69. Заберемо папір – газ заповнить другу колбу.



Мал. 69

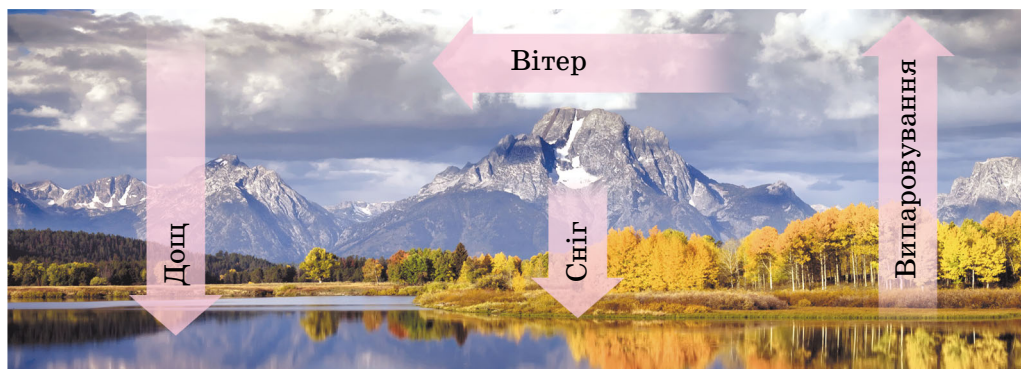


ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

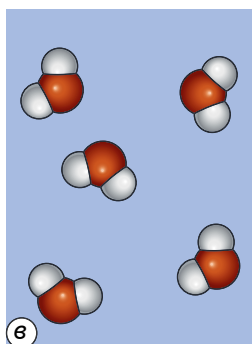
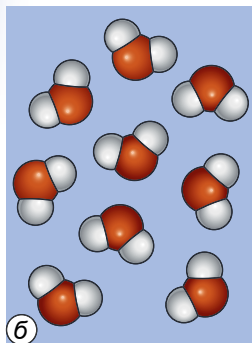
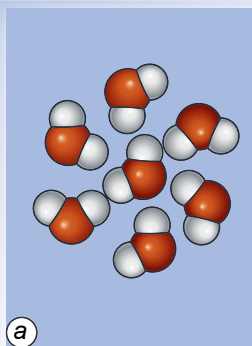
1. Яку речовину можна побачити одночасно у твердому, рідкому і газуватому станах?
2. Назвіть загальні властивості твердих тіл; рідин.
3. Які рідини ви знаєте?
4. Тіло зберігає свій об'єм, але легко змінює форму. У якому стані перебуває тіло?
5. Які загальні властивості газів?
6. У якому стані перебуває тіло, якщо воно не зберігає ні форми, ні об'єму?

§ 10. АГРЕГАТНІ СТАНИ РЕЧОВИНИ

Залежно від умов одна й та сама речовина може перебувати в різних станах: *твердому*, *рідкому* і *газуватому*. Ці стани називають агрегатними (з лат. *aggregatus* – *приєдную, зв'язую*). Речовина може переходити з одного агрегатного стану в інший. У природі агрегатні стани змінюються в широких масштабах (мал. 70). З поверхонь океанів, морів, озер, річок випаровується вода, а під час охолодження водяної пари утворюються хмари, роса, туман, сніг. Річки й озера взимку замерзають, а навесні лід і сніг тануть. Перехід речовини з одного стану в інший широко використовують у металургії, наприклад, під час плавлення металів, щоб отримати з них сплави: бронзу, латунь; для лиття деталей. Отриману під час нагрівання води пару використовують для обертання парових турбін на електростанціях. Зріджені гази застосовують у холодильниках.



Мал. 70



Мал. 71



Мал. 72

Щоб зрозуміти зазначені вище процеси і вміти керувати багатьма з них, потрібно знати, за яких умов речовина перебуває в тому чи іншому агрегатному стані, які властивості кожного із цих станів і що потрібно для переходу речовини з одного стану в інший.

Нам уже відомо, що молекули однієї речовини у твердому, рідкому й газуватому станах ті самі, вони нічим не відрізняються одна від одної. Тверді тіла в звичайних умовах зберігають форму та об'єм. Це пояснюється тим, що атоми або молекули більшості твердих тіл, таких як лід (мал. 71, а), сіль, нафталін, метали, розміщені в певному порядку. Такі тіла називають **кристалічними**. Частинки (атоми або молекули) цих тіл завжди перебувають у русі, але рухаються вони навколо певної точки подібно до маятника, тобто коливаються. Частинка не може переміститися далеко від цієї точки, тому тверде тіло зберігає форму. Деякі тверді тіла, наприклад сніжинки (мал. 72), мають природно правильну і красиву форму.

Поряд з кристалічними твердими тілами трапляються **аморфні** тверді тіла, у яких, на відміну від кристалів, немає строгого порядку в розміщенні атомів. В аморфних тіл фізичні властивості в усіх напрямках однакові (вони деформуються, проводять тепло однаково в усіх напрямках, не мають сталої температури плавлення). До аморфних тіл належить скло, багато пластмас, смола, каніфоль (використовується для паюння металів), цукровий льодяник тощо.

Властивості рідин пояснюються малими проміжками між їхніми молекулами: вони в рідинах «упаковані» так щільно (мал. 71, б), що відстань між кожними двома з них менша від розмірів самих молекул. На таких відстанях притягання молекул значне, але менше, ніж у твердих тілах. Ось чому молекули рідини не розходяться на великі відстані й рідина у звичайних умовах зберігає свій об'єм. Проте притягання молекул рідини вже не таке велике, щоб вона зберігала свою форму. Це пояснює, що рідини набувають форми посудини і їх легко можна перелити в іншу посудину. Стискаючи рідину, ми так зближуємо її молекули, що вони починають відштовхуватись. Ось чому рідини важко стиснути.

Газ можна стиснути так, що його об'єм зменшиться в багато разів. Це пояснюється тим, що відстані між молекулами газу значно більші від розмірів самих молекул (мал. 71, в). На таких відстанях молекули дуже слабо притягуються одна до одної, саме тому гази не мають власної форми й об'єму.



ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

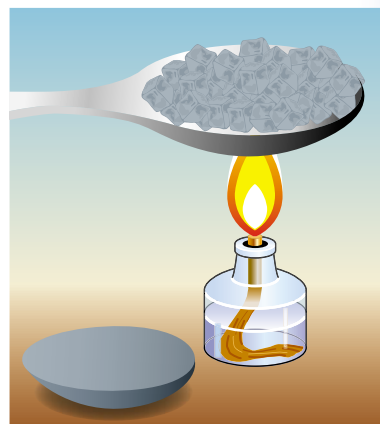
1. У яких агрегатних станах може перебувати речовина?
2. Чим відрізняються між собою агрегатні стани речовини?
3. Як розміщені молекули тіла у твердому, рідкому і газуватому станах?
4. Назвіть речовини, які одночасно можуть перебувати в різних станах.

§ 11. ПЛАВЛЕННЯ І КРИСТАЛІЗАЦІЯ ТВЕРДИХ ТІЛ. ПІТОМА ТЕПЛОТА ПЛАВЛЕННЯ РЕЧОВИНИ

Спостереження. Виймемо з морозильної камери лід, покладемо його в тарілку. Через певний час він почне танути і повністю перетвориться на воду.

Дослід 1. Візьмемо шматочки олова або свинцю, помістимо їх у сталеву ложку і будемо нагрівати на спиртівці або газовому пальнику (мал. 73). Олово почне плавитися й повністю перейде в рідкий стан. Приймемо ложку з рідким оловом із полум'я пальника. Олово почне кристалізуватися і повністю перетвориться на тверде тіло, яке матиме форму ложки.

Отже, нагріваючи тіла, їх можна перевести з твердого стану в рідкий, і, навпаки, охолоджуючи – з рідкого стану в твердий.



Мал. 73

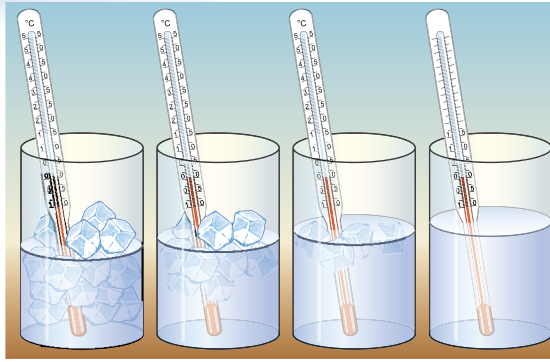
Процес переходу речовини з твердого стану в рідкий називають плавленням, а процес переходу речовини з рідкого стану в твердий – кристалізацією.

Узимку, восени, навесні, коли температура повітря може бути $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, тануть сніг і лід, але водночас замерзає вода. За температури $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ сніг і лід тануть (плавляться), а вода – замерзає (твердне).

На Півночі та в Антарктиді, де температура повітря може опускатися нижче від $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$, не можна користуватися ртутним термометром, бо ртуть твердне за температури $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$. Там використовують спиртові термометри, тому що спирт замерзає за температури $-114\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Кожна речовина плавиться або кристалізується за певної температури. Температуру, за якої речовина плавиться, називають **температурою плавлення**, а за якої твердне, – **температурою кристалізації**. З дослідів відомо, що речовини тверднуть за тієї самої температури, за якої плавляться. Під час плавлення тіла поглинають теплоту, а під час тверднення – теплоту виділяють. Значення температури плавлення для частовживаних речовин подано в таблиці 4 (див. с. 48).

Дослід 2. У посудину з грудочками льоду помістимо термометр і будемо її підігрівати (мал. 74). Лід танутиме, а термометр показуватиме $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Поки весь лід не розтане, температура ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$) у посудині не змінюватиметься.



Мал. 74

Під час плавлення речовини температура її не змінюється.

Дослід 3. Поставимо на шальку терезів закриту посудину з льодом, зрівноважимо терези (мал. 75, а). Через якийсь час лід розтане. Рівновага терезів не порушиться (мал. 75, б).

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



Мал. 75



Мал. 76

Дослід 4. Наллємо в скляну пляшку води і щільно її закриємо. Помістимо цю посудину з водою в морозильну камеру. Коли вода замерзне, пляшка трісне, тому що об'єм льоду більший, ніж води (мал. 76).

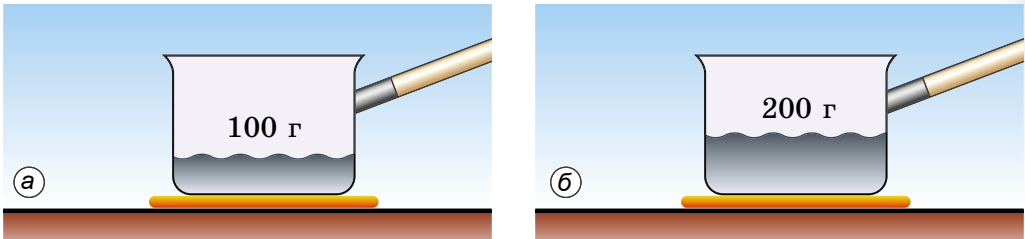
Під час переходу речовини з одного стану в інший змінюється густина, а отже, й об'єм даної маси речовини.

Тепер з'ясуємо, від чого залежить кількість теплоти, яку потрібно затратити, щоб розплавити кристалічне тіло (за температури плавлення), або яка виділяється під час його кристалізації.

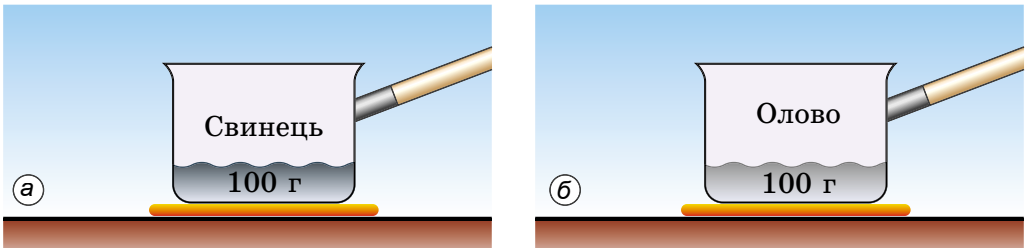
Дослід 5. В одній посудині будемо плавити 100 г свинцю (мал. 77, а), а в іншій – 200 г (мал. 77, б). Якщо нагрівники однакові, то побачимо, що для плавлення 200 г свинцю потрібно затратити більшу кількість теплоти, ніж для 100 г.

Кількість теплоти, яка потрібна для плавлення тіла, залежить від його маси.

Дослід 6. На однакових нагрівниках в одній посудині будемо плавити 100 г свинцю (мал. 78, а), а в іншій – 100 г олова (мал. 78, б). У результаті досліду побачимо, що для плавлення олова потрібно затратити більшу кількість теплоти, ніж для плавлення свинцю.



Мал. 77



Мал. 78

Кількість теплоти, яка потрібна для плавлення тіла, залежить від роду речовини, з якої виготовлено тіло.

Величину, що характеризує енергетичні затрати на плавлення 1 кг певної речовини, назвали **питомою теплою плавлення речовини**. Її позначають малою грецькою літерою λ (ламбда). Одиницею питомої теплоти плавлення речовини в СІ є **один джоуль на кілограм (1 Дж/кг)**.

Питому теплоту плавлення речовини визначають за допомогою дослідів. Було встановлено, що питома теплота плавлення льоду дорівнює 340 000 ($3,4 \cdot 10^5$) Дж/кг. Це означає, що для перетворення бруска льоду масою 1 кг (за температури плавлення 0°C) на воду потрібно затратити 340 000 Дж енергії. Під час зворотного процесу – кристалізації – така сама кількість теплоти виділиться.

Питома теплота плавлення речовини – фізична величина, що показує, яку кількість теплоти потрібно надати тілу масою 1 кг, щоб перетворити його на рідину за температури плавлення.

З дослідів визначено питому теплоту плавлення для кожної речовини, значення якої для частовживаних речовин подано в таблиці 4.

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

Таблиця 4

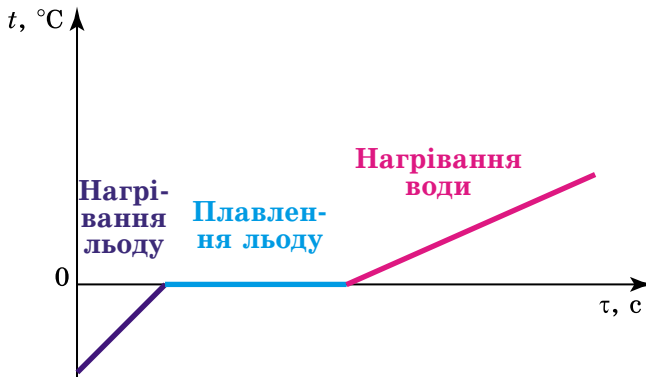
| Речовина | Питома теплота плавлення λ , Дж/кг | Температура плавлення (кристалізації), °С | Речовина | Питома теплота плавлення λ , Дж/кг | Температура плавлення (кристалізації), °С |
|----------|--|---|--------------|--|---|
| Алюміній | 393 000 | 660 | Сталь, чавун | 85 000–140 000 | 1100–1500 |
| Лід | 332 400 | 0 | Золото | 67 000 | 1064 |
| Залізо | 270 000 | 1535 | Водень | 58 600 | -259 |
| Мідь | 213 000 | 1085 | Олово | 59 000 | 232 |
| Вольфрам | 185 000 | 3387 | Свинець | 24 300 | 327 |
| Спирт | 105 000 | -98 | Кисень | 13 800 | -218 |
| Срібло | 87 300 | 962 | Ртуть | 11 700 | -39 |

Щоб обчислити кількість теплоти Q , яку потрібно затратити для плавлення тіла масою m , взятого за температури плавлення, треба питому теплоту плавлення λ помножити на масу тіла:

$$Q = \lambda m.$$

Кількість теплоти, яка виділяється під час тверднення тіла масою m , також визначають за цією формулою.

Процеси нагрівання і кристалізації можна зобразити графічно. По осі Oy відкладають значення температури речовини, а по осі Ox – час нагрівання і плавлення речовини. Наприклад, на малюнку 79 графічно зображено процеси нагрівання і плавлення льоду та нагрівання води. Графік нагрівання і плавлення речовини складається з трьох ділянок: для нагрівання льоду – це пряма лінія з певним кутом нахилу, який залежить від значення питомої теплоємності речовини: що більше



Мал. 79

її значення, то менший нахил, температура льоду збільшується прямо пропорційно до часу нагрівання; для плавлення льоду – це горизонтальна лінія, температура суміші води і льоду залишається сталою і дорівнює температурі плавлення льоду доти, доки весь лід не розтане; для нагрівання утвореної води – пряма лінія, кут нахилу якої визначається питомою теплоємністю води, її значення більше, ніж для льоду, тому і нахил менший, температура води збільшується прямо пропорційно до часу.



ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Що таке плавлення тіл?
2. Що називають кристалізацією речовини?
3. Як змінюється температура тіла під час плавлення і кристалізації?
4. Як змінюється маса тіла під час перетворення його з твердого стану в рідкий і навпаки?
5. Від чого залежить кількість теплоти, яку потрібно затратити для розплавлення кристалічного тіла або яка виділяється під час його кристалізації?
6. Що таке питома теплота плавлення речовини?



РОЗВ'ЯЗУЄМО РАЗОМ

1. Користуючись таблицею 4, з'ясуйте, у якому стані перебувають метали: срібло, золото, мідь, алюміній, вольфрам, сталь за температури $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$?

Відповідь: срібло, алюміній – у рідкому стані; золото, мідь, вольфрам, сталь – у твердому стані.

2. Яку кількість теплоти потрібно затратити, щоб розплавити 1 кг свинцю, узятото за температури $27\text{ }^{\circ}\text{C}$?

Дано:

$$m = 1\text{ кг}$$

$$t = 27\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_{\text{пл}} = 327\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$c = 140\text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C})$$

$$\lambda = 24\ 300\text{ Дж}/\text{кг}$$

$Q - ?$

Розв'язання

Для того щоб розплавити свинець, його потрібно нагріти до температури плавлення, а потім розплавити.

Кількість теплоти, яку потрібно затратити на нагрівання свинцю, визначаємо за формулою:

$$Q_1 = cm(t_{\text{пл}} - t).$$

Кількість теплоти, яку потрібно затратити, щоб розплавити свинець, визначаємо за формулою:

$$Q_2 = \lambda m.$$

Тоді кількість теплоти, затрачену на нагрівання і плавлення свинцю, визначимо так:

$$Q = Q_1 + Q_2 = cm(t_{\text{пл}} - t) + \lambda m = m(c(t_{\text{пл}} - t) + \lambda).$$

Підставивши значення величин, отримаємо:

$$Q = 1\text{ кг} (140\text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}) (327\text{ }^{\circ}\text{C} - 27\text{ }^{\circ}\text{C}) + 24\ 300\text{ Дж}/\text{кг}) = 66\ 300\text{ Дж} = 66,3\text{ кДж}.$$

Відповідь: $66\ 300\text{ Дж} = 66,3\text{ кДж}$.



ЗАДАЧІ ТА ВПРАВИ

Рівень А

70. У воді плаває лід (температура води і льоду однакова – $0\text{ }^{\circ}\text{C}$). Один учень стверджує, що вода замерзне, а другий – що лід розтане. Вирішіть суперечку.

71. Чому олово можна розплавити в полум'ї свічки, а залізо – ні?

72. Яку кількість теплоти потрібно затратити, щоб розплавити 2 кг срібла, взятого за температури плавлення?

73. Яку кількість теплоти треба затратити, щоб розтопити 10 кг льоду, взятого за температури $0\text{ }^{\circ}\text{C}$? Поясніть розв'язок.

74. Яку масу золота можна розплавити, затративши 125 кДж теплоти?

75. Яка кількість теплоти виділиться під час замерзання води масою 5 кг за температури $0\text{ }^{\circ}\text{C}$?

Рівень Б

76. Весною, коли температура повітря набагато вища за $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, лід ще тривалий час не тоне і, навпаки, восени, коли температура повітря нижча від $0\text{ }^{\circ}\text{C}$, вода не відразу замерзає. Чому?

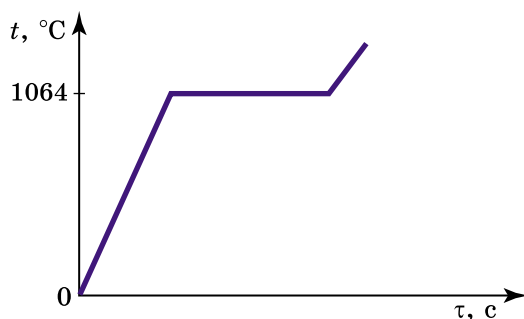
77. Чи можна розплавленим металом заморозити воду?

78. Яку кількість теплоти треба затратити, щоб розплавити 2 кг олова, взятого за температури $0\text{ }^{\circ}\text{C}$?

79. Яку кількість теплоти треба затратити, щоб повністю розплавити свинцеву штабу масою 4 кг, температура якої $7\text{ }^{\circ}\text{C}$?

80. Алюмінієва штаба, маса якої 5 кг, має температуру $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Чи можна повністю розплавити таку штабу, надавши їй 500 кДж енергії?

81. Для якої речовини на графіку (мал. 80) зображено процеси нагрівання і плавлення?



Мал. 80

§ 12. ВИПАРОВУВАННЯ І КОНДЕНСАЦІЯ РІДИН. ПІТОМА ТЕПЛОТА ПАРУОТВОРЕННЯ РЕЧОВИНИ

Спостереження 1. Улітку, після того як пройде дощ, калюжі швидко висихають; увечері, коли повітря стає холоднішим, випадає роса. Якщо залишити на вогні посудину з водою, то через деякий час води

в посудині не залишиться, тому що вона википить. Отже, **рідини можуть випаровуватися, тобто перетворюватися в газуватий стан.** Легко переконалися: що вища температура, то інтенсивніше відбувається цей процес. Так, улітку калюжі висихають швидше, ніж навесні або восени.

Процес перетворення рідини в пару (у газуватий стан) називають пароутворенням.

Є два способи перетворення рідини в газуватий стан: **випаровування і кипіння.**

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

Випаровування відбувається за будь-якої температури, але швидкість його залежить від кількох причин. Щоб переконалися в цьому, виконаємо такі досліди.

Дослід 1. На папір капнемо ефіру, води, спирту, олії. Спочатку випарується ефір, потім – спирт, вода, а олія висихатиме кілька днів.

Швидкість випаровування залежить від виду рідини.

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

Швидкість випаровування залежить від площі поверхні рідини.

Дослід 3. Одну тарілку з водою поставимо на столі в кімнаті, а іншу – на батарею опалення або в інше тепле місце. Вода спочатку випарується в тій тарілці, яка стоїть у теплішому місці.

Швидкість випаровування залежить від температури рідини.

Спостереження 2. Випрану білизну розвішують для просушування. У суху, вітряну й теплу погоду білизна висушується набагато швидше, ніж у тиху або прохолодну погоду.

Швидкість випаровування залежить від наявності потоків повітря і його вологості.

Отже, знаючи причини, від яких залежить швидкість випаровування рідини, ми можемо пояснити тепер, для чого, наприклад, переливають чай зі склянки в блюдце, дмуть на гарячий борщ чи кашу, користуються віялом за високої температури повітря.

За певної температури (**температури кипіння**) рідини починають інтенсивно випаровуватися не лише з поверхні, а й із середини, з утворенням бульбашок. Це явище називають **кипінням** (мал. 81).

Кипіння – це інтенсивне пароутворення не тільки з вільної поверхні рідини, а й з усього об'єму всередину бульбашок пари, які при цьому виникають.



Мал. 81

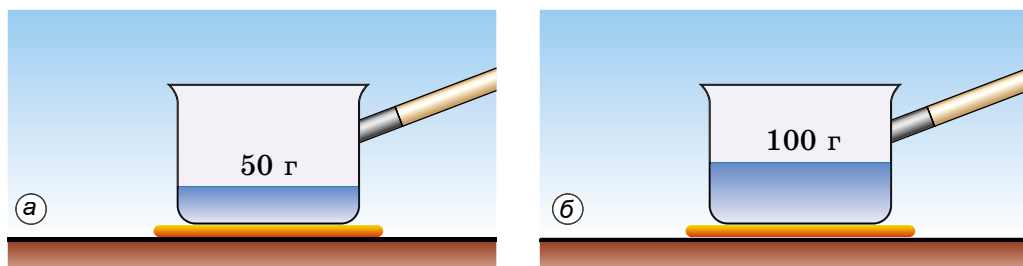
Значення температури кипіння рідин залежить від атмосферного тиску. У таблиці 5 подано значення температури кипіння деяких рідин за нормального атмосферного тиску: вода кипить за температури $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, ацетон – $57\text{ }^{\circ}\text{C}$, рідкий кисень – за температури $-183\text{ }^{\circ}\text{C}$.

З дослідів відомо, що з охолодженням газів до певної температури (**температури конденсації**) вони починають зріджуватися і стають рідинами.

Установлено, що це відбувається за такої самої температури, за якої відповідна рідина кипить. Це зворотні процеси, як і в разі перетворення води в лід, напрямок перетворення залежить від конкретних фізичних умов: якщо рідина набуває теплоти, то кипить і перетворюється у газовий стан; якщо газ віддає теплоту, то він зріджується, тобто конденсується. Наприклад, аміак конденсується за температури $-33,4\text{ }^{\circ}\text{C}$, рідкий кисень – за $-183\text{ }^{\circ}\text{C}$.

У повітрі є багато водяної пари. Коли повітря охолоджується, пара переходить у рідкий стан: утворюються хмари, туман, роса.

Тепер з'ясуємо, від чого залежить кількість теплоти, яку потрібно затратити, щоб випарувати рідину за температури кипіння, або яка виділяється під час її конденсації.

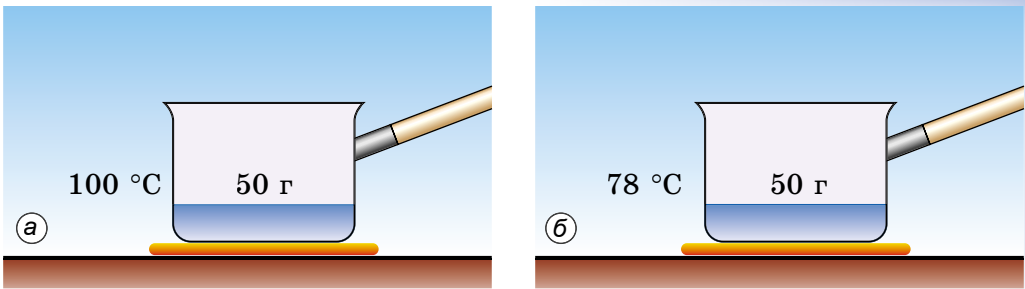


Мал. 82

Дослід 4. Поставимо на плиту дві посудини, в одну наллємо 50 г води (мал. 82, а), а в другу – 100 г води (нагрівники та посудини – однакові) (мал. 82, б). Доведемо воду до кипіння й будемо випаровувати. Спочатку випарується вода в посудині, де було 50 г , а потім – у посудині зі 100 г води.

Кількість теплоти, яка потрібна для випаровування рідини за температури кипіння, залежить від маси рідини.

Дослід 5. На однакові нагрівники поставимо посудини, в одній – 50 г води (мал. 83, а), а в другій – 50 г спирту (мал. 83, б). Доведемо ці речовини до кипіння (спирт закипає за температури $78\text{ }^{\circ}\text{C}$, а вода – $100\text{ }^{\circ}\text{C}$) та будемо їх випаровувати. Результати дослідів показують, що спочатку випарується спирт, а потім – вода.



Мал. 83

Кількість теплоти, яка потрібна для випаровування рідини за температури кипіння, залежить від роду речовини.

Величину, що характеризує енергетичні витрати на випаровування певної рідини масою 1 кг, називають **питомою теплотою пароутворення**. Її позначають великою латинською літерою L . Одиницею питомої теплоти пароутворення речовини в СІ є **один джоуль на кілограм (1 Дж/кг)**.

Питому теплоту пароутворення речовини визначають за допомогою дослідів. Установлено, що питома теплота пароутворення води за температури 100 °C дорівнює $2,3 \cdot 10^6$ Дж/кг. Інакше кажучи, для перетворення води масою 1 кг на пару за температури 100 °C потрібно 2 300 000 Дж енергії. Під час зворотного процесу – конденсації – така сама кількість теплоти виділиться.

Питома теплота пароутворення речовини – фізична величина, що визначає, яка кількість теплоти потрібна, щоб перетворити рідину масою 1 кг на пару за температури кипіння.

Кожна рідина має свою питому теплоту пароутворення. Значення питомої теплоти пароутворення деяких рідин наведено в таблиці 5.

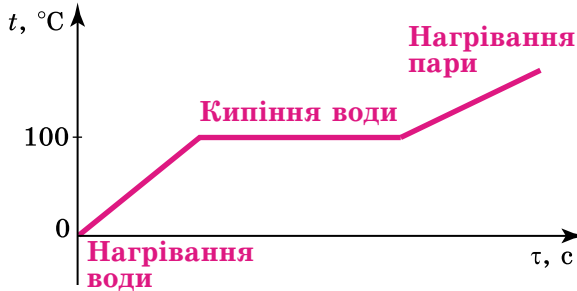
**Питома теплота пароутворення речовин
(за температури кипіння і нормального
атмосферного тиску)**

Таблиця 5

| Речовина | Питома теплота пароутворення L , Дж/кг | Температура кипіння (конденсації), °C | Речовина | Питома теплота пароутворення, L , Дж/кг | Температура кипіння (конденсації), °C |
|----------|--|---------------------------------------|----------|---|---------------------------------------|
| Вода | 2 300 000 | 100 | Ртуть | 300 000 | 357 |
| Ацетон | 521 000 | 57 | Кисень | 213 000 | -183 |
| Спирт | 900 000 | 78 | Скипидар | 161 000 | 287 |

Щоб обчислити кількість теплоти Q , яка потрібна для випаровування рідини масою m , узятій за температури кипіння, потрібно питому теплоту пароутворення речовини L помножити на масу рідини: $Q = Lm$.

Кількість теплоти, яка виділяється під час конденсації пари масою m , визначається також за цією формулою.



Мал. 84

Процеси нагрівання і випаровування можна зобразити графічно. По осі Oy відкладають значення температури рідини, а по осі Ox – час нагрівання і випаровування рідини. Наприклад, на малюнку 84 графічно зображено процеси нагрівання і випаровування води кипінням. Графік нагрівання і випаровування рідини складається з трьох ділянок: для нагрівання рідини – це пряма лінія з певним кутом нахилу, який залежить від значення питомої теплоємності рідини; для кипіння рідини – це горизонтальна лінія, температура рідини залишається сталою і дорівнює температурі кипіння рідини доти, доки вся рідина випарується; для нагрівання утвореної пари – пряма лінія, кут нахилу якої визначається питомою теплоємністю пари, її значення відрізняється від такого для рідини, тому і нахил інший; температура пари збільшується прямо пропорційно до часу.



ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Що таке пароутворення?
2. Що називають конденсацією речовини?
3. Що таке кипіння?
4. Від чого залежить кількість теплоти, яка потрібна для випаровування рідини або яка виділяється під час конденсації пари?
5. Що показує питома теплота пароутворення рідини? Назвіть її одиницю.
6. Як обчислити кількість теплоти, яка потрібна для випаровування рідини за температури кипіння цієї рідини?



РОЗВ'ЯЗУЄМО РАЗОМ

1. Чому жирний суп довго не охолоджується навіть тоді, коли його налили в тарілку?

Відповідь: жир дуже повільно випаровується порівняно з водою, тому тонкий шар жиру на поверхні супу затримує випаровування води, у зв'язку із цим охолодження супу сповільнюється.

2. Яку кількість теплоти потрібно затратити, щоб перетворити на пару 3 кг спирту, взятого за температури 18 °С?

Дано:

$$m = 3 \text{ кг}$$

$$c = 2400 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{С})$$

$$t = 18 \text{ }^\circ\text{С}$$

$$t_k = 78 \text{ }^\circ\text{С}$$

$$L = 900\,000 \text{ Дж}/\text{кг}$$

$$Q = ?$$

Розв'язання

Для того щоб перетворити спирт на пару, потрібно спочатку його нагріти до температури кипіння, а потім випарувати.

Кількість теплоти, яку потрібно затратити на нагрівання спирту, визначаємо за формулою:

$$Q_1 = cm(t_k - t).$$

Кількість теплоти, яку потрібно затратити, щоб випарувати спирт, визначаємо за формулою:

$$Q_2 = Lm.$$

Тоді кількість теплоти, затрачену на нагрівання і випаровування спирту, визначимо так:

$$Q = Q_1 + Q_2 = cm(t_k - t) + Lm = m(c(t_k - t) + L).$$

Підставивши значення величин, отримаємо:

$$Q = 3 \text{ кг}(2400 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{С})(78 \text{ }^\circ\text{С} - 18 \text{ }^\circ\text{С}) + 900\,000 \text{ Дж}/\text{кг}) = \\ = 3\,132\,000 \text{ Дж} = 3132 \text{ кДж} = 3,132 \text{ МДж}.$$

Відповідь: 3,132 МДж.



ЗАДАЧІ ТА ВПРАВИ

Рівень А

82. Як пояснити, що випаровування рідин відбувається за будь-якої температури?

83. Перебуваючи в поході, турист налив у посудину води з холодного джерела і побачив, що посудина ззовні вкрилася крапельками рідини. Поясніть це явище.

84. Для чого овочі і фрукти, призначені для сушіння, розрізають на тонкі шматочки?

85. Чому на лісових дорогах калюжі висихають довше, ніж на польових?

86. Яку кількість теплоти потрібна для перетворення 150 г води в пару за температури 100 °С?

87. Яку кількість теплоти виділиться під час конденсації 10 кг водяної пари?

Рівень Б

88. Відомо, що надмірне випаровування води з ґрунту призводить до його висихання і зниження врожайності. Проте без випаровування неможливо уявити розвиток рослин. Чому?

89. Холодну воду налили в пляшку, у флягу, на яку наділи брезентовий чохол, і у випалений глиняний глечик. Випалена глина має пористу будову. У якій посудині вода через деякий час буде найхолоднішою? Найтеплішою?

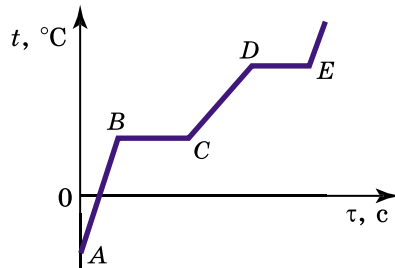
90. Рослини, що ростуть у місцях з вологим кліматом, мають широке листя, а в місцях із сухим кліматом листя в рослин вузьке і розміщене вертикально. Чим це зумовлено?

91. Дистильовану воду масою 5 кг, взяту за температури 20 °С, потрібно нагріти до температури кипіння. Яка кількість теплоти знадобиться для цього?

92. У якому випадку виділиться більша кількість теплоти: під час охолодження 5 кг води від 100 до 0 °С чи під час конденсації 5 кг пари без зміни температури?

93. Яку кількість теплоти потрібно затратити, щоб 2 кг льоду, температура якого –10 °С, перетворити повністю у пару?

94. Опишіть процеси, зображені на графіку (мал. 85).



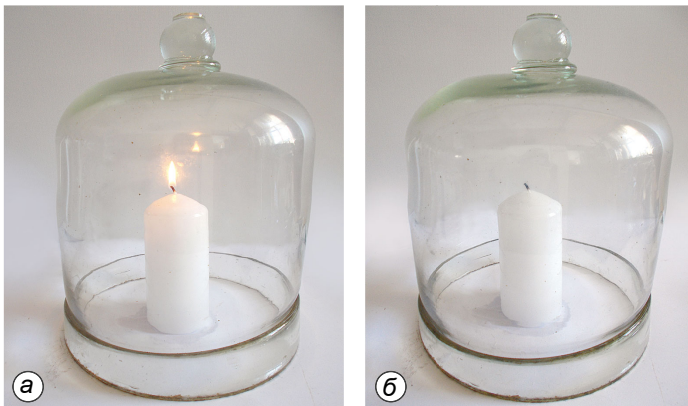
Мал. 85

§ 13. ЗГОРЯННЯ ПАЛИВА

Основним джерелом енергії для забезпечення руху залізничних локомотивів, автомобілів і тракторів, літаків тощо є різні види палива. У промисловості, на транспорті та в побуті використовують такі види палива: вугілля, горючі сланці, нафту, бензин, дизельне паливо, природний газ тощо.

З'ясуємо, за яких умов відбувається повне згоряння палива та які його наслідки.

Дослід 1. Запалимо свічку. Вона буде горіти. Накриємо її скляною посудиною (мал. 86, а). Через певний час свічка згасне (мал. 86, б). Чому?



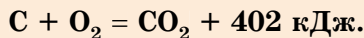
Мал. 86

Процес горіння відбувається за наявності повітря.

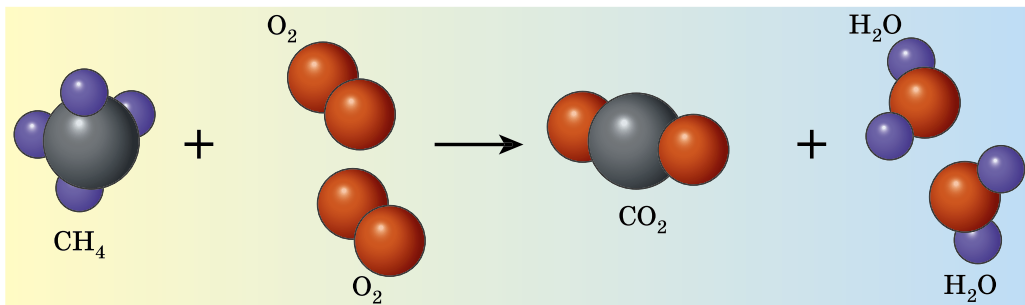
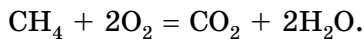
Дослід 2. Циліндр з поршнем з'єднуємо зі скляною кулею. На поршень ставимо гирю. Нагріваємо кулю, спалюючи сухе паливо. Повітря, яке нагрівається в кулі, розширюється і виштовхує поршень, піднімаючи гирю, тобто виконує роботу.

Під час спалювання палива виділяється енергія, за рахунок якої може виконуватися робота.

Вугілля, нафта, мазут, дерево містять вуглець (табл. 6). Під час горіння молекули Карбону сполучаються з молекулами Оксигену, який міститься в повітрі. Кожна молекула Карбону взаємодіє з двома молекулами Оксигену, утворюючи при цьому молекулу вуглекислого газу. Під час утворення цієї молекули виділяється енергія.

Під час повного згорання 1 моля вуглецю утворюється вуглекислий газ і виділяється енергія:

Горіння пов'язане з руйнуванням одних молекул і утворенням інших, наприклад, під час горіння метану утворюються вуглекислий газ і вода (мал. 87) з виділенням енергії:



Мал. 87

Під час горіння зміна внутрішньої енергії речовини відбувається не шляхом теплообміну чи виконання роботи тілом або над тілом, а в результаті термохімічних реакцій за участю палива. При цьому енергія руху молекул продуктів згорання, а отже і їхня температура, буде більшою, ніж у молекул палива.

Горіння палива – це процес сполучення молекул палива з молекулами Оксигену, який супроводжується виділенням певної кількості теплоти й утворенням нових речовин (табл. 6).

Основні характеристики певних видів палива Таблиця 6

| Назва палива | Дерево сухе | Кам'яне вугілля | Мазут |
|---|---|---|---|
| Склад палива | Органічні речовини (83 %), у тому числі: Вуглець (50 %) Кисень (43 %) Водень (6 %) Азот (1 %) Мінеральні речовини (2 %) Вода (15 %) | Вуглець (78 %) Водень (5 %) Кисень (6,4 %) Азот (1,4 %) Сірка (0,7 %) Шлак (7,3 %) Волога (1,2 %) (Антрацит містить 95 % вуглецю) | Вуглець (82–86 %) Водень (11–14 %) Сірка (до 0,5 %) |
| Температура загоряння палива (за присутності повітря і під час контакту з полум'ям) | 300 °С | 600 °С | 55 °С |
| Спалювання 1 кг палива потребує | 3,5 м ³ повітря | 9 м ³ повітря | 11 м ³ повітря |
| Після повного згоряння 1 кг палива виділяється | 4 м ³ суміші: вуглекислого газу; пари води; азоту | 9,5 м ³ суміші: вуглекислого газу; пари води; азоту; двоокису сірки | 11,5 м ³ суміші: вуглекислого газу; пари води; азоту; двоокису сірки |
| Кількість теплоти, яка виділяється під час повного згоряння 1 кг палива, можна нагріти до температури кипіння | 40 л води | 100 л води | 125 л води |

Дослід 3. Дві однакові склянки наповнимо водою однакової маси. Під однією склянкою запалимо одну таблетку сухого палива, а під другою – дві таблетки. Температуру води в склянках виміряємо за допомогою термометрів. Після повного згоряння сухого палива температура води у другій склянці виявиться вищою, ніж у першій.

Кількість теплоти, яка виділяється під час повного згоряння палива, залежить від маси палива.

Під час конструювання і виготовлення теплових двигунів завжди треба знати, яка кількість теплоти потрібна для роботи певного двигуна, а отже, враховувати вид палива. Для визначення потрібної кількості палива треба знати, яка кількість теплоти виділяється під час повного його згоряння. Щоб порівнювати, який вид палива під час його повного згоряння виділяє більше теплоти, ввели фізичну величину – **питому теплоту згоряння палива.**

Кількість теплоти, яка виділяється під час повного згоряння 1 кг палива, називають *питомою теплотою згоряння палива*.

Питому теплоту згоряння палива позначають малою латинською літерою q . Одиницею питомої теплоти згоряння палива в СІ є **один джоуль на кілограм (1 Дж/кг)**. На практиці здебільшого застосовують кратну величину – один мегаджоуль на кілограм (1 МДж/кг).

$$1 \text{ МДж/кг} = 1000 \text{ 000 Дж/кг.}$$

Питома теплота згоряння палива – це фізична величина, що є енергетичною характеристикою різних видів палива.

Її значення для поширених видів палива наведено в таблиці 7.

Питома теплота згоряння палива

Таблиця 7

| Назва палива | Питома теплота згоряння палива q , МДж/кг | Назва палива | Питома теплота згоряння палива q , МДж/кг | Назва палива | Питома теплота згоряння палива q , МДж/кг |
|------------------|---|-----------------|---|---------------|---|
| Деревне вугілля | 34 | Бензин | 46 | Водень | 120 |
| Антрацит | 30 | Гас | 46 | Метан | 50 |
| Кам'яне вугілля | 27 | Нафта | 44 | Ацетилен | 48,1 |
| Буре вугілля | 17 | Дизельне паливо | 42,7 | Природний газ | 44 |
| Торф | 14 | Мазут | 41 | Пропан | 42,4 |
| Тротил | 15 | Ефір | 34 | Аміак | 18,4 |
| Дрова сухі | 11 | Спирт етиловий | 27 | Окис вуглецю | 10,1 |
| Дрова сирі | 8 | Спирт | 25 | | |
| Порох | 3,8 | Спирт метиловий | 19,5 | | |
| Умовне паливо 30 | | | | | |

Умовне паливо – узагальнена одиниця обліку органічного палива – нафти і її похідних, сланців і кам'яного вугілля, газу, торфу, що використовується для обчислення коефіцієнта корисної дії різних видів палива.

Зауважимо, що наведені у таблиці 7 дані відповідають кількості теплоти, що виділяється під час повного згоряння палива.

Щоб підрахувати, яка кількість теплоти виділиться під час повного згоряння 5 кг гасу, потрібно міркувати так. Під час згоряння 1 кг гасу виділяється 46 МДж теплоти. Коли згорить 5 кг гасу, кількість виділеної теплоти буде в 5 разів більша, а саме: $46 \text{ МДж} \cdot 5 = 230 \text{ МДж}$.

Щоб визначити кількість теплоти Q , яка виділяється внаслідок повного згоряння даної маси певного виду палива, потрібно питому теплоту згоряння цього виду палива q помножити на масу палива m : $Q = qm$.

**ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...**

Під час неповного згоряння вуглецю, що міститься в паливі, у печах або котлах, у двигунах внутрішнього згоряння виділяється оксид вуглецю (чадний газ): $2C + O_2 = 2CO$. Ця сполука – сильна отрута! Вона не має кольору, запаху (у чистому вигляді), трохи легша за повітря, погано розчиняється у воді, має дуже низьку температуру кипіння ($-191,5\text{ }^\circ\text{C}$). Чадний газ краще, ніж кисень, сполучається з гемоглобіном крові. Виникає кисневе голодування, що супроводжується головним болем, непритомністю. Якщо в повітрі приміщення міститься 0,4 % чадного газу, то внаслідок сильного отруєння настає смерть. Щоб надати першу допомогу потерпілому, потрібно його винести на свіже повітря і зробити штучне дихання.

**ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО**

1. Що називають питомою теплотою згоряння палива?
2. Які види палива мають найбільшу питому теплоту згоряння? Найменшу?
3. Якими способами досягають повного згоряння палива?

**РОЗВ'ЯЗУЄМО РАЗОМ**

1. Кожне паливо за присутності повітря і в контактi з вогнем загоряється за певної температури: наприклад, мазут – за температури $55\text{ }^\circ\text{C}$; суха деревина – за температури $300\text{ }^\circ\text{C}$; кам'яне вугілля – за температури $600\text{ }^\circ\text{C}$. Чи можна розпалити котел, засипавши у нього кам'яне вугілля першим?

Відповідь: не можна, кам'яне вугілля не загориться, тому що в котлі не досягнуто відповідної температури.

2. Яку кількість води можна нагріти від 0 до $100\text{ }^\circ\text{C}$, спаливши 1 кг водню?

Дано:

$$t_1 = 0\text{ }^\circ\text{C}$$

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

$$m = 1\text{ кг}$$

$$c = 4200\text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$$

$$q = 120\,000\,000\text{ Дж}/\text{кг}$$

$$m_B = ?$$

Розв'язання

Кількість теплоти, яка виділяється за повного згоряння палива, визначаємо за формулою:

$$Q = qm.$$

Кількість теплоти, яку потрібно затратити для нагрівання води, визначаємо за формулою:

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

Вважаємо, що вся енергія, яка виділилася під час спалювання водню, піде на нагрівання води. Тоді: $qm = cm_B(t_2 - t_1)$.

$$\text{Звідси } m_B = \frac{qm}{c(t_2 - t_1)}.$$

Підставивши значення величин, отримаємо:

$$m_B = \frac{120\,000\,000\text{ Дж}/\text{кг} \cdot 1\text{ кг}}{4200\text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})(100\text{ }^\circ\text{C} - 0\text{ }^\circ\text{C})} = 285,7\text{ кг}.$$

Відповідь: 285,7 кг.



ЗАДАЧІ ТА ВПРАВИ

Рівень А

95. Назвіть усі види палива, які ви знаєте.
96. Які види палива використовують для опалювання в Україні?
97. Що означає запис: «теплота згоряння антрациту $3,0 \cdot 10^7$ Дж/кг, сухих дров $1,1 \cdot 10^7$ Дж/кг»?
98. Чи однакою кількістю дров, кам'яного вугілля, торфу треба спалити в грубці, щоб нагріти повітря кімнати до однакової температури?
99. Чому під час спалювання сирих дров виділяється менша кількість теплоти, ніж від спалювання сухих?
100. У котлі спалили 12 кг кам'яного вугілля. Яка кількість теплоти при цьому виділилась?

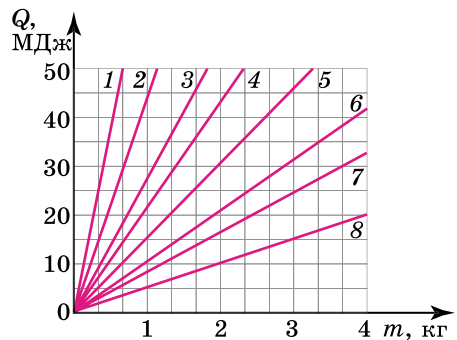
Рівень Б

101. Спалюють 2 кг кам'яного вугілля, яке містить 90 % чистого вуглецю. Визначте масу вуглекислого газу, який під час цього виділяється, якщо під час спалювання 12 г чистого вуглецю виділяється 44 г вуглекислого газу.
102. Вуглекислий газ складається з двох хімічних елементів: Карбону (27,2 %) і Оксигену (72,8 %). Визначте, яка маса кисню міститься в 50 г вуглекислого газу, яка маса вуглецю міститься в 25 г вуглекислого газу? Які маси вуглецю і кисню треба поєднати, щоб отримати 200 г вуглекислого газу?
103. Розміри кімнати: довжина – 4 м, ширина – 2,8 м, висота – 2,5 м. Яка маса сухої деревини може повністю згоріти, використавши весь кисень, що міститься в повітрі кімнати? Повне спалювання 10 кг сухої деревини потребує 7 м^3 кисню. За нормального атмосферного тиску об'єм кисню становить 0,2 від об'єму повітря в кімнаті.
104. Яка кількість теплоти виділиться під час повного згоряння 15 кг деревного вугілля? 7 кг спирту? Порівняйте ці кількості теплоти. Зробіть висновки.
105. На скільки градусів можна було б нагріти 2 кг води під час повного спалювання 10 г спирту, якби вся виділена енергія пішла на нагрівання води?
106. За графіком залежності (мал. 88) кількості теплоти, яка виділяється під час повного згоряння метану (1), бензину (2), антрациту (3), бурого вугілля (4), сухого торфу (5), горючих сланців (6), свіжої деревини (7) і твердого ракетного палива (8), від маси палива визначте:

а) кількість теплоти, яка виділяється під час повного згоряння 2 кг сухого торфу;

б) питому теплоту згоряння бензину;

в) яке паливо має найбільшу питому теплоту згоряння; найменшу;



Мал. 88

- г) скільки деревини треба спалити, щоб виділилося 20 МДж енергії;
 д) яку масу горючих сланців треба спалити, щоб одержати таку саму кількість теплоти, як і в результаті повного згоряння 0,5 кг бензину;
 е) скільки антрациту треба спалити, щоб нагріти цинкове відро з водою від 0 до 100 °С. Маса відра – 1 кг, об'єм – 10 л.

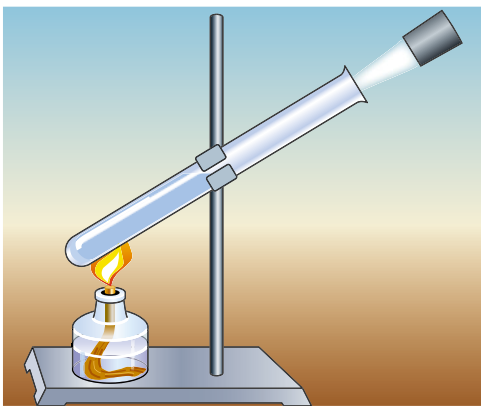
§ 14. ТЕПЛОВІ ДВИГУНИ. ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОВИХ ДВИГУНІВ

Теплові машини було створено на початку XVIII ст., у період бурхливого розвитку текстильної та металургійної галузей промисловості. Парову водопідйомну установку побудували англійці Томас Ньюкомен і Джон Коулі в 1712 р. Їхній співвітчизник Джеймс Ватт у 1784 р. одержав патент на універсальний паровий двигун. Створення парових машин, двигунів внутрішнього згоряння започаткувало розвиток автомобільного транспорту і літакобудування. Газова турбіна дала поштовх перебудові в авіації, літаки з поршневими двигунами було замінено реактивними та турбореактивними лайнерами, швидкість яких наближалася або була більша за швидкість звуку ($330 \text{ м/с} = 1188 \text{ км/год}$). За допомогою реактивних двигунів здійснено одвічну мрію людства – вихід у космічний простір. На електростанціях парові турбіни надають руху електричним генераторам, які виробляють електричний струм.

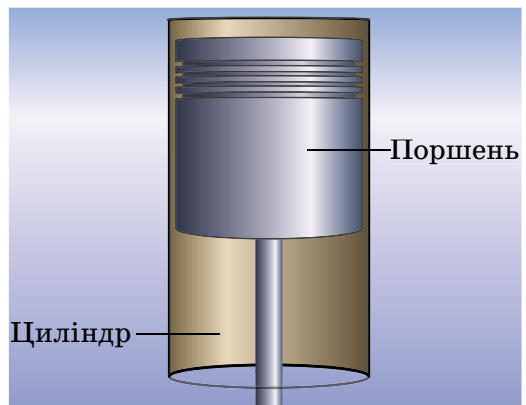
Усі теплові машини, незалежно від їхньої будови й призначення, поділяють на два види: **теплові двигуни** та **холодильні установки**.

Дослід. Наллемо в пробірку трохи води, потім щільно закриємо її корком (мал. 89) і нагріємо воду до кипіння. Під тиском пари корок вилетить і злетить угору. У цьому разі енергія палива перейшла у внутрішню енергію пари, а пара, розширюючись, виконала роботу – підняла корок. Внутрішня енергія пари перетворилася на кінетичну енергію корка.

Якщо замінити пробірку міцним металевим циліндром, а корок – припасованим поршнем, який може рухатися в циліндрі (мал. 90), то отримаємо найпростіший тепловий двигун, у якому внутрішня енергія палива перетворюється на механічну енергію поршня.



Мал. 89



Мал. 90

Тепловими двигунами називають машини, у яких внутрішня енергія палива перетворюється на механічну енергію.

До теплових двигунів належать: парова машина, двигун внутрішнього згоряння (карбюраторний, дизельний), парова та газова турбіни, реактивний двигун.

В усіх цих двигунах внутрішня енергія палива спочатку переходить у внутрішню енергію газу або пари. Розширюючись, газ виконує роботу й при цьому охолоджується – частина його внутрішньої енергії перетворюється на механічну енергію.

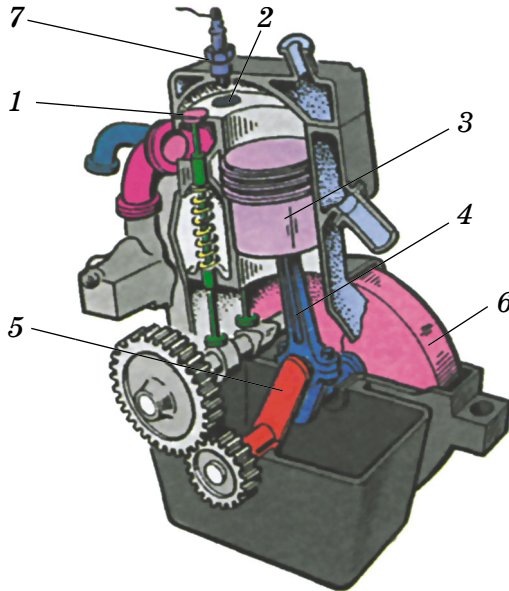
Двигун внутрішнього згоряння. Така назва походить від того, що паливо згоряє в циліндрі, усередині самого двигуна.

Перший поршневий двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ) створив у 1860 р. французький інженер Етьєн Ленуар. На той час, порівняно з іншими тепловими двигунами, він мав менші розміри та масу. Це дало змогу використовувати його на транспорті (автомобіль, трактор, тепловоз), в авіації, на кораблях (дизель-електрохід, катер, підводний човен).

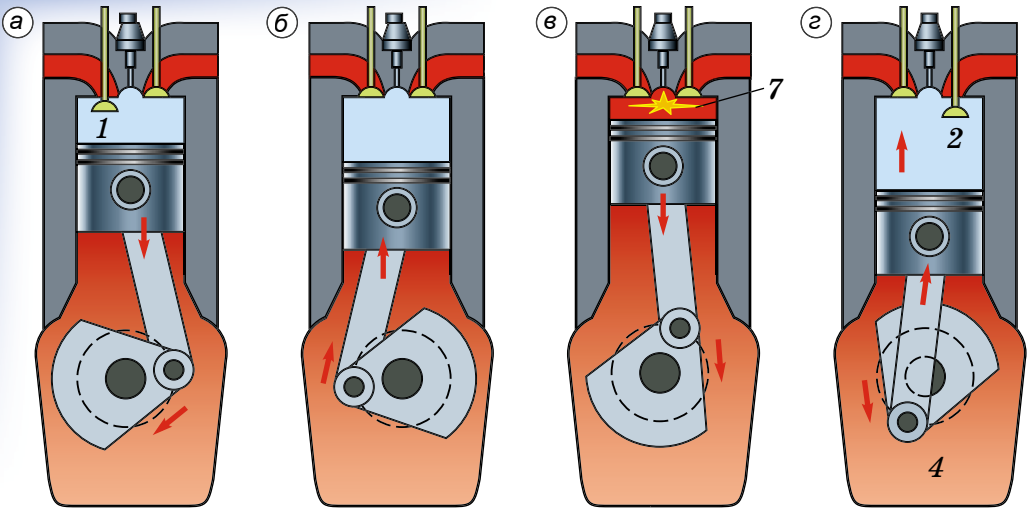
Двигуни внутрішнього згоряння працюють на рідкому паливі (бензині, гасі, нафті) або на горючому газі.

На малюнку 91 показано розріз найпростішого ДВЗ. Двигун складається із циліндра, у якому переміщується поршень 3, з'єднаний за допомогою шатуна 4 з колінчастим валом 5. На валу закріплено важкий маховик 6, який призначений для зменшення нерівномірності обертання вала.

У верхній частині циліндра є два клапани 1 і 2, які під час роботи двигуна автоматично відкриваються і закриваються в потрібні моменти. Через клапан 1 у циліндр надходить суміш, яка запалюється за допомогою свічки 7, а через клапан 2 виходять відпрацьовані гази.



Мал. 91



Мал. 92

Кожний хід поршня вгору або вниз називають **тактом**. Розглянемо процеси, які відбуваються протягом кожного такту.

Нехай поршень рухається вниз із крайнього верхнього положення (мал. 92, а) та впускний клапан 1 відкритий. Під час опускання поршня через цей клапан у камеру згоряння всмоктується горюча суміш – пара бензину з повітрям. У кінці такту клапан 1 закривається. Такий такт називають **впуском**.

Поршень починає підніматися вгору, стискаючи горючу суміш (мал. 92, б). Цей такт називають **стиском**. Незадовго до того як поршень дійде до верхнього крайнього положення, у свічці 7 проскакує іскра, горюча суміш спалахує.

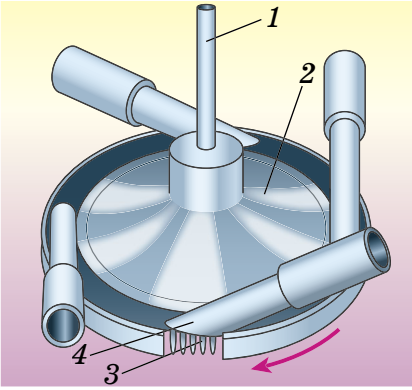
Третій такт двигуна (мал. 92, в) називають **робочим ходом**. Під час згоряння суміші температура газів у циліндрі сягає 1600–1800 °С, а тиск – 10 000 000 Па. Ці гази з великою силою тиснуть на поршень, який опускається вниз і за допомогою шатуна 4 і кривошипного механізму надають руху колінчастому валу.

У кінці робочого ходу, коли поршень приходить у крайнє нижнє положення, відкривається випускний клапан 2 (мал. 92, г). Починається четвертий такт – **випуск**. Поршень, піднімаючись угору, виштовхує відпрацьовані гази в атмосферу.

Отже, робота чотиритактного двигуна складається із чотирьох процесів (тактів): **впуску, стиску, робочого ходу і випуску**.

В автомобілях найчастіше використовують чотирициліндрові двигуни внутрішнього згоряння. Робота циліндрів у двигуні узгоджується так, що в кожному з них по черзі здійснюється робочий хід і колінчастий вал весь час одержує енергію від кожного з поршнів. Є також і восьмициліндрові двигуни. Вони краще забезпечують рівномірність обертання вала й мають велику потужність.

Парова турбіна. Це тепловий двигун, у якому пара, нагріта до високої температури, перебуває під високим тиском і обертає його вал без допомоги поршня, шатуна і колінчастого вала.



Мал. 93



Мал. 94

На малюнку 93 наведено схему найпростішої парової турбіни. На вал 1 насаджено диск 2, по ободу якого закріплено лопатки 3. Біля лопаток розміщено труби, які називають соплами 4. Пара, яка утворюється в котлі, надходить до сопел, виривається струменями, які з великою силою тиснуть на лопатки і надають обертального руху диску турбіни.

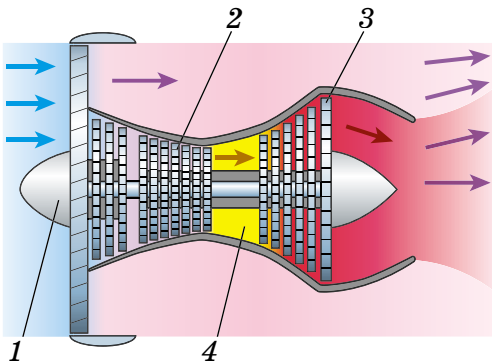
У сучасних парових турбінах застосовують не один, а багато дисків, насаджених на спільний вал (мал. 94). Пара послідовно проходить через лопатки всіх дисків, віддаючи кожному з них частину своєї енергії.

Парові турбіни є незамінними тепловими двигунами на теплових та атомних електростанціях.

Першу парову турбіну практичного застосування виготовив у 1889 р. шведський інженер та винахідник Карл Лаваль.

Газова турбіна та реактивні двигуни. Переваги парової турбіни та двигуна внутрішнього згоряння поєднано в газовій турбіні, у якій внутрішня енергія газу перетворюється на кінетичну енергію вала.

У камеру згоряння 4 (мал. 95) газової турбіни за допомогою компресора 2 подається стиснене повітря, температура якого приблизно $200\text{ }^{\circ}\text{C}$, і впорскується рідке паливо (гас) під високим тиском. Під час горіння палива повітря і продукти згоряння нагріваються до температури $1500\text{--}2200\text{ }^{\circ}\text{C}$. Газ, який рухається з великою швидкістю,



Мал. 95



Мал. 96

направляється на лопатки турбіни 3. Переходячи від одного диска турбіни до іншого, газ віддає свою внутрішню енергію, приводячи турбіну в рух. Отримувана механічна енергія використовується для обертання, наприклад, гвинта літака 1 або електричного генератора.

У ракетах паливо згоряє в камері згоряння (мал. 96). Утворені гази з великою силою тиснуть на стінки камери. З одного боку камери є сопло, через яке продукти згоряння вириваються в навколишнє середовище. Ракета, відштовхуючись від струменя газу, що витікає, набуває руху в протилежному напрямку. Такі двигуни називають **реактивними**. У реактивному двигуні внутрішня енергія палива перетворюється на кінетичну енергію рухомої ракети.

У своєму житті ви постійно маєте справу з різноманітними двигунами. Вони надають руху автомобілям і літакам, тракторам, кораблям і залізничним локомотивам. За допомогою теплових машин на електростанціях виробляється електричний струм.

Робота теплових машин пов'язана з використанням різних видів палива. Топки теплових електростанцій, двигуни внутрішнього згоряння автомобілів (мал. 97), літаків та інших машин викидають в атмосферу шкідливі для людини, тварин і рослин речовини (чадний газ, вуглекислий газ, оксиди Нітрогену, Сульфуру тощо). Ці речовини сполучаються з атмосферною вологою й утворюють кислоти. Це стає причиною випадання кислотних дощів, у результаті чого знищуються хвойні ліси, гине риба, знижується врожайність зернових та інших культур.



Мал. 97

Збільшення кількості автомашин, особливо в містах, призводить до надмірного забруднення атмосфери вихлопними газами двигунів внутрішнього згоряння. Щоб зменшити ці викиди, проводять регулювання двигунів для повного згоряння палива та зменшення вмісту чадного газу, впроваджують двигуни, у яких використовується чистіше паливо.

Застосування парових турбін на електростанціях вимагає багато води та великих площ, які займають водойми для охолодження від-

працьованої пари. Для економії площі та водних ресурсів доцільно будувати комплекси електростанцій, які мають замкнену систему водопостачання.

Найефективніший спосіб боротьби із забрудненням середовища – заміна двигунів внутрішнього згоряння електричними двигунами, використання енергії Землі, Сонця, вітру.

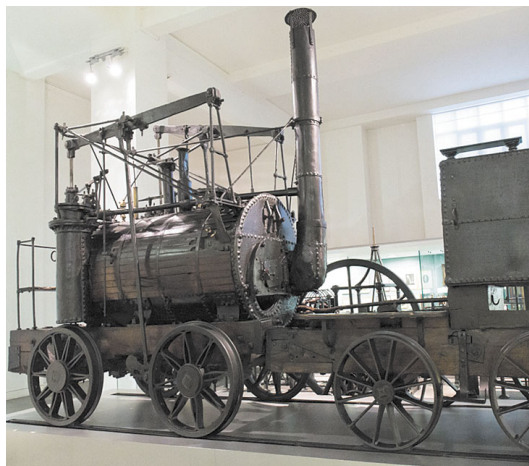


ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...

- Думка про використання пари для потреб транспорту виникла ще в XVII ст. Конструктори спочатку намагалися прилаштувати парові двигуни до звичайних візків. У 1763 р. французький інженер **Жорж Коніо** сконструював перший паровий візок. Ця машина працювала всього 12–15 хв. Пізніше він сконструював досконаліший візок, але коли той пустили вулицями Парижа, то виявилось, що ним неможливо керувати. У 1787 р. американець **Олівер Еванс** сконструював паровий візок, що також був непридатний до практичного використання. У кінці 80-х років XVIII ст. **Вільям Мердок**, учень та помічник Джеймса Ватта, створив паровий візок із двигуном конструкції свого вчителя. Він сконструював ряд цікавих моделей візків, але створити практичну транспортну машину він також не зміг.

Проблему створення парового автомобіля так і не було розв'язано, це вдалося зробити тільки на базі двигуна внутрішнього згоряння.

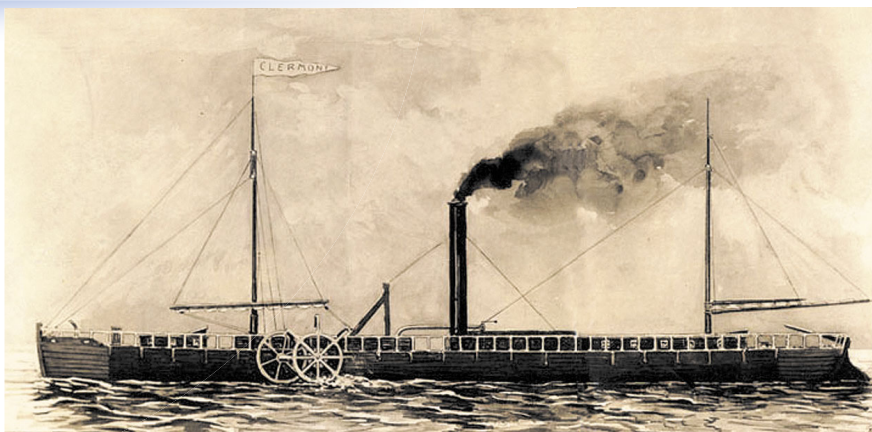
- Багато винахідників у ті часи намагалися сконструювати локомотив, який рухався б рейками. Першим до ідеї застосування парових локомотивів на спеціальних рейкових шляхах дійшов шотландський інженер та механік **Річард Тревітік**.



Мал. 98

У 1803 р. він сконструював паровоз для рейкового шляху, а наступного року провів його випробування. У 1814 р. сконструював та випробував свій перший паровоз і **Джордж Стефенсон**. Його конструкція власне й розв'язала проблему створення парового залізничного транспорту (мал. 98).

- Пароплав, як і паровоз, має також цікаву історію створення. Ще на початку XVIII ст. **Дені Папен** сконструював човен, який рухався за допомогою парового двигуна. Але через недосконалість останнього човен плив досить повільно.



Мал. 99

У 1736 р. англієць **Джонатан Кольз** безуспішно намагався застосувати на судах більш досконалу парову машину **Томаса Ньюкомена**.

- Удаліші спроби розпочалися, коли **Джеймс Ватт** винайшов двигун. Так, у 1781 р. француз **Клод де Жоффруа д'Аббан** сконструював пароплав, який за допомогою парового двигуна міг годину пливати проти течії. Через чотири роки американець **Джон Фітч** побудував човен, у якому паровий двигун надавав руху веслу. Однак випробування цього пароплава не виправдали сподівань.

- Перший практично придатний для плавання пароплав сконструював ірландський інженер та механік **Роберт Фултон**, випробувавши його у 1803 р. на р. Сені в Парижі (мал. 99). Дослід удався: судно протягом 1,5 год пливло Сеною, розвиваючи швидкість 5 км/год за течією. У 1807 р. Фултон сконструював колісний пароплав «Клермонт», на якому встановив парову машину Ватта подвійної дії. Довжина цього пароплава сягала 43 м, потужність двигуна – 20 кінських сил, тоннаж – 15 т.



ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Що таке тепловий двигун?
2. Які види теплових двигунів ви знаєте?
3. Який двигун називають двигуном внутрішнього згорання?
4. Які процеси відбуваються протягом чотирьох тактів роботи двигуна внутрішнього згорання?
5. Яка будова парової турбіни? Як вона працює? Яке її призначення?
6. Поясніть, як працюють газова турбіна та реактивний двигун.
7. Які шкідливі речовини викидають в атмосферу теплові машини? До яких наслідків це призводить?

§ 15. ЗАКОН ЗБЕРЕЖЕННЯ ЕНЕРГІЇ В МЕХАНІЧНИХ І ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСАХ

Під час падіння тіла, піднятого над землею, його потенціальна енергія зменшується, а кінетична – збільшується. Під час падіння свинцевої або пластилінової кульки на свинцеву плиту чи підлогу механічна енергія кульки зменшується до нуля, але збільшується внут-

рішня енергія кульки та плити або підлоги. У двигуні внутрішнього згоряння автомобіля або трактора за рахунок внутрішньої енергії палива збільшується механічна енергія рухомих частин двигуна.

Механічна та внутрішня енергії тіл можуть перетворюватися одна в одну.

Колеса водяної турбіни обертаються за рахунок кінетичної енергії води, а крила вітряного двигуна – за рахунок кінетичної енергії вітру. Під час теплообміну внутрішня енергія одного тіла змінюється за рахунок зміни внутрішньої енергії іншого тіла (наприклад, внутрішня енергія води збільшується за рахунок зменшення внутрішньої енергії нагрітого шматка заліза, кинутого у воду).

Розглядаючи приклад змішування гарячої та холодної води, виконавши відповідні підрахунки, ми побачили, що кількість теплоти, яку віддала гаряча вода, дорівнює кількості теплоти, яку одержала холодна вода. Лабораторна робота № 1 «Вивчення теплового балансу за умов змішування води різної температури», яку ви виконали, підтвердила б цей висновок, якби ви виконували її в умовах, які не допустили б передачі тепла до інших тіл, окрім холодної води, або врахували б усі кількості теплоти, які було передано всім тілам.

Під час теплообміну в системі контактуючих тіл кількість теплоти зберігається.

Спостереження й досліди привели до відкриття закону збереження та зміни енергії.

Енергія не зникає і не створюється з нічого. Вона тільки перетворюється з одного виду на інший, при цьому повне значення її в системі тіл, що взаємодіють лише між собою, зберігається.

Додаткова енергія може виникнути в тілі тільки внаслідок його взаємодії з іншим тілом. Енергія рухомої води океанських течій або вітру виникає за рахунок енергії Сонця; потенціальна та кінетична енергії ракети – за рахунок внутрішньої енергії палива, витраченого на її запуск і політ; повітря в кімнаті нагрівається, тобто його внутрішня енергія збільшується за рахунок енергії, яку воно отримало від радіатора опалення або печі.

Закон збереження та зміни енергії – один з основних законів природи. Цей закон завжди слід враховувати в науці й техніці, за його допомогою можна пояснити багато явищ природи.



ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. У чому полягає закон збереження енергії в механічних і теплових процесах?
2. Наведіть приклади перетворення енергії одного виду на інший.
3. За рахунок чого рухається автомобіль по дорозі, ракета – у космічному просторі, човен – на воді?

§ 16. КОЕФІЦІЄНТ КОРИСНОЇ ДІЇ (ККД) ТЕПЛОВОГО ДВИГУНА

Для оцінки будь-якого теплового двигуна дуже важливо знати, яку частину енергії, що виділяється під час згоряння палива, він перетворює в корисну роботу. Що більша ця частина енергії, то більш економічним є тепловий двигун.

Для характеристики економічності різних теплових двигунів вводять поняття **коефіцієнта корисної дії (ККД) теплового двигуна**.

Відношення тієї частини енергії, яка витрачається на виконання корисної роботи двигуном, до всієї енергії, що виділяється внаслідок згоряння палива, називають коефіцієнтом корисної дії (ККД) теплового двигуна.

ККД позначають малою грецькою літерою η (ета) і зазвичай виражають у відсотках (%):

$$\eta = \frac{A_{\text{к}}}{Q} 100 \%,$$

де η – коефіцієнт корисної дії теплового двигуна; $A_{\text{к}}$ – виконана корисна робота; Q – повна тепла енергія, що виділилася внаслідок згоряння палива.

ККД теплового двигуна завжди менший від одиниці, тобто менший від 100 %.

Основні характеристики теплових двигунів

Поршнева парова машина: робочим тілом є пара, температура нагрівника становить 207 °С, температура холодильника – 27 °С, ККД – 7–15 %.

Парова турбіна: робочим тілом є пара, температура нагрівника становить 577 °С, температура холодильника – 107 °С, ККД – 20–25 %.

Дизель: робочим тілом є продукти згоряння палива, температура нагрівника становить 1827 °С, температура холодильника – 107 °С, ККД – 30–39 %.

Карбюраторний двигун: робочим тілом є продукти згоряння палива, температура нагрівника становить 1827 °С, температура холодильника – 107 °С, ККД – 18–24 %.

Як можна збільшити ККД теплових двигунів? До найпопулярніших теплових двигунів належать газова турбіна і двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ). Щоб підвищити ККД турбіни, потрібно збільшити температуру нагрівача і зменшити температуру холодильника. Для цього потрібно знайти такий кут нахилу лопаток турбіни, при якому найбільша частина енергії газу буде передаватися їм, перетворюючись у механічну. Тоді температура газу в холодильнику знизиться. На практиці зробити це досить складно, цією проблемою сьогодні займаються кращі технічні інститути. Тому потрібно робити грубе налаштування, знаходячи кут, при якому турбіна в потоці газу матиме найбільшу частоту обертання.

Збільшити ККД ДВЗ також можна, використовуючи якісне паливо, наприклад бензин з високим октановим числом. Під час його згоряння виділяється більша кількість теплоти, і це приводить до того, що ККД двигуна підвищується. Для зменшення втрат на тертя та інертність поршневої групи потрібно встановити ковани поршні, які легші й менші за розмірами. Вони витримують вищі температури, що дає змогу форсувати двигун, допрацювавши форсунки для впорскування палива. Форсування двигуна призведе до збільшення витрати палива з одночасним збільшенням потужності, тому ККД у цьому випадку не збільшиться. Для підвищення ККД ДВЗ потрібно своєчасно змінювати в ньому мастило, зменшуючи тертя між деталями двигуна.



ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Що таке коефіцієнт корисної дії теплового двигуна?
2. Як визначають коефіцієнт корисної дії теплового двигуна?



РОЗВ'ЯЗУЄМО РАЗОМ

1. Чому радіатор є системою багатьох тонких трубок, а не суцільним резервуаром (мал. 100)?

Відповідь: щоб забезпечити достатнє тепловідведення від двигуна автомобіля за рахунок збільшення площі теплообміну.

2. У якому тепловому двигуні струмись пари чи газу, нагрітий до високої температури, обертає вал двигуна без допомоги поршня, шатуна і колінчастого вала?

Відповідь: у паровій турбіні.



Мал. 100



ЗАДАЧІ ТА ВПРАВИ

Рівень А

107. Як працюють і чим відрізняються один від одного різні теплові двигуни в сучасній промисловості?

108. Чому трубки радіатора автомобільного або тракторного двигуна виготовляють з латуні або алюмінію?

109. Чому під час роботи двигунів внутрішнього згоряння температура води в радіаторах підвищується?

110. З якою метою трубки радіатора обдувають швидким потоком повітря за допомогою вентилятора, причому вентилятор засмоктує повітря всередину капота двигуна, а не видуває його з-під капота через радіатор?

111. Чому в систему охолодження двигуна внутрішнього згоряння потрібно заливати чисту воду?

112. Чому саме вода використовується для охолодження автомобільних двигунів?

- 113.** Чому в мотоциклетних та авіаційних двигунах охолодження повітряне? Як забезпечується належне охолодження цих двигунів?
- 114.** Які особливості двигунів внутрішнього згоряння сприяють широкому застосуванню їх на транспорті, у промисловому виробництві і сільському господарстві?
- 115.** Як називають тепловий двигун, у циліндрі якого періодично згоряє пальна суміш?
- 116.** Скільки робочих ходів відбувається в чотирициліндровому двигуні за один оберт колінчастого вала?
- 117.** Який вид механічної енергії водяної пари використовується в парових турбінах?
- 118.** Чому парові турбіни розвивають велику швидкість обертання вала?
- 119.** Автомобіль (мал. 101), на якому встановлено потужний двигун, розвиває під час змагань швидкість 250 км/год. Яку відстань подолає автомобіль за 5 с, рухаючись рівномірно?
- 120.** Тролейбус загальмував і зупинився. Які зміни енергії відбулися при цьому?
- 121.** Частими ударами молотка можна розігріти шматок металу. На що затрачається при цьому механічна енергія?
- 122.** Назвіть, яка енергія зменшується, а яка – відповідно – збільшується під час: а) роботи теплового двигуна; б) нагрівання води в котлі; в) їзди на велосипеді; г) руху автомобіля з вимкненим двигуном.



Мал. 101

Рівень Б

- 123.** Під час сильного перегрівання двигуна внутрішнього згоряння можливе так зване заклинювання поршнів – збільшення розмірів, при яких неможливий їхній рух. Що є причиною такого заклинювання?
- 124.** Чому потужність двигуна за наявності глушника зменшується?
- 125.** Чому в паровій турбіні температура відпрацьованої пари нижча, ніж температура пари, що надходить на лопаті турбіни?
- 126.** У якому тепловому двигуні енергія палива безпосередньо перетворюється на механічну енергію рухомого апарата?
- 127.** Під час спалювання палива в камері згоряння реактивного двигуна утворюються гази, які під високим тиском і з великою швидкістю витікають через отвір (сопло) у задній стінці камери. Які тіла взаємодіють при цьому? Яка причина руху ракети? Чи відбувався б рух реактивного двигуна, якщо б камера згоряння не мала отвору?
- 128.** Космічні ракети значну частину свого шляху рухаються за межами земної атмосфери. Поясніть, чому рух ракет можливий у безповітряному просторі (мал. 102).



Мал. 102

129. Скількох людей позбавляє кисню автомобіль, що протягом 4 год рухається зі швидкістю 80 км/год? Добову норму кисню для однієї людини він споживає на ділянці шляху 2,5 км.

130. Сучасний реактивний лайнер за 1 год польоту спалює 8 т кисню. На скільки біднішим на кисень стане повітря, якщо такий літак пролетить відстань 2550 км зі швидкістю 850 км/год?

131. Осі машин і механізмів під час роботи нагріваються. Яка причина цього нагрівання і які способи усунення її? Які зміни енергії відбуваються при цьому?

132. Існує такий спосіб зварювання деяких деталей: на токарному верстаті одну деталь закріплюють у задній бабці верстата, а другу, притискуючи до першої, швидко обертають разом з його шпинделем. Коли місце дотику деталей нагрівається до плавлення, деталі стискають і зварюють. Поясніть, які зміни енергії відбуваються при цьому.

133. Заточуючи на точилі зубило, доводиться кілька разів занурювати його у воду. Для чого це роблять? Які зміни енергії відбуваються при цьому?

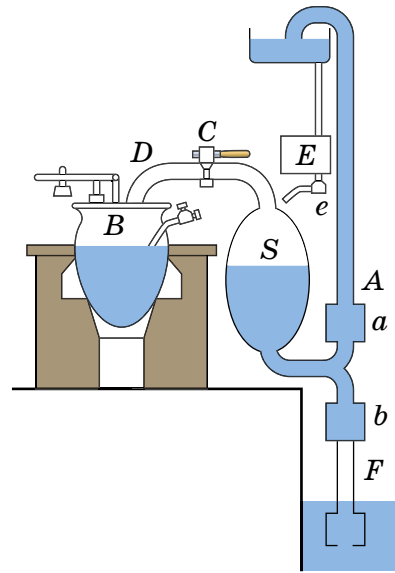
ІСТОРИЧНА ДОВІДКА

Перший тепловий двигун – еоліпіл – сконструював давньогрецький учений Герон Александрійський, який жив у I ст. (мал. 103). Цей прилад був металевою кулею з двома зігнутими трубками. У кулю наливали воду і розпалювали під нею вогонь. Коли утворена пара виходила з трубок, то куля починала обертатися.

До середини XVIII ст. вся фізична робота виконувалася лише силою м'язів людини або свійських тварин, а також природними силами вітру та води, що падає. Одним із найперших парових насосів, які призначалися для відкачування води із шахт, був насос (мал. 104), який сконструював у кінці XVII ст. англієць **Томас Севері**.



Мал. 103

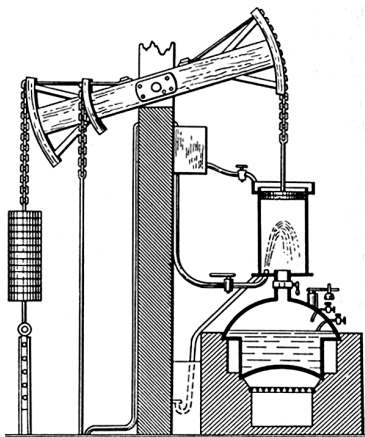


Мал. 104

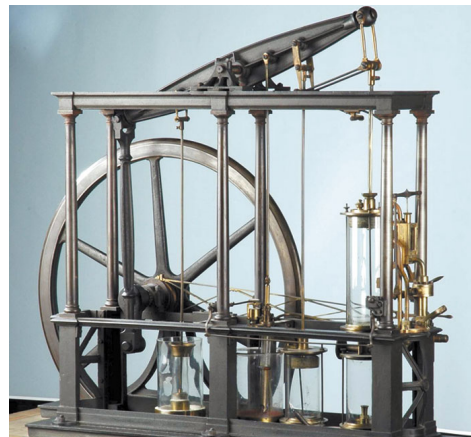
Принцип роботи такого насоса: із котла *B* пара через трубку *D* і кран *C* надходить у резервуар *S* і витискає з нього воду через клапан *a* і трубку *A*. Після цього резервуар *S* відключали від котла і охолоджували водою. Пара конденсувалася в резервуарі, у результаті чого по трубці *F* вода всмоктувалася і через клапан *b* надходила в резервуар *S*, звідки вона знову витискувалася паром по трубці *A*. Паровий насос Севері поширився на початку XVIII ст., удосконалені його варіанти застосовувалися на шахтах аж до середини XIX ст.

Досконалішу парову машину (так звану атмосферну машину) сконструював у 1705 р. англійський коваль **Томас Ньюкомен**.

Машина Ньюкомена (мал. 105) вже мала основні деталі парової машини – циліндр і поршень. Вона працювала так: у циліндр із поршнем через трубку із краном надходила пара з парового котла і своїм тиском піднімала поршень у верхнє положення. Потім кран перекиривався, відділяючи тим самим циліндр і паровий



Мал. 105



Мал. 106

котел. У циліндр через другий кран, який у той момент відкривався, вприскувала-ся холодна вода. Пара конденсувалася, і під дією атмосферного тиску поршень опускався вниз. Потім процес повторювався. Таким чином, плече коромисла, з'єднане з поршнем, то піднімалося, то опускалося. Водночас друге плече коромисла надавало руху насосу, який відкачував воду.

Машини Севері й Ньюкомена мали два істотні недоліки: 1) машина виконувала роботу лише під час руху поршня в одному напрямку; 2) потрібно було весь час закривати та відкривати крани, тобто машина працювала не автоматично.

У 1765 р. англійський винахідник **Джеймс Ватт** (1736–1819) сконструював парову машину (мал. 106), яка мала один циліндр із поршнем. Пара впускала-ся позмінно то з одного боку поршня, то з другого, що досягалося застосуванням спеціального механізму.

Цікавий випадок пов'язаний із машиною Ватта. Одного разу власник невеличкої шахти домовився з винахідником, що той поставить свою парову машину для відкачування води із шахти. Досі таку роботу на шахті виконували коні.

– Ваша машина повинна за годину викачувати води не менше, ніж мій кінь, – сказав власник.

– Добре, – погодився Ватт, – якщо так, то потужність вашого коня приймемо за одиницю.

У день випробувань кінь упав від втоми. Відтоді у техніці існує така одиниця потужності – *кінська сила*. Ватт виміряв цю одиницю потужності, встановивши, що за 1 хв звичайний кінь піднімає вантаж масою 60 кг на висоту 67,5 м. Ім'я Ватта увічнено в назві одиниці потужності – один ват.



ПЕРЕВІР СВОЮ КОМПЕТЕНТНІСТЬ

Контрольні запитання

1. Як можна змінити внутрішню енергію тіла?
2. Чому теплопровідність пухкого снігу менша, ніж злеглого?
3. У який час доби вітер дме в море, а в який – на сушу?
4. Чому скафандри космонавтів та астронавтів мають сріблясто-білий колір?
5. Потрібно нагріти 1 кг води і 1 кг олії на 1 °С. На що потрібно затратити більше енергії?
6. У якому стані перебуває срібло за температури 900 °С?
7. Чи можна отримати золоту пару?
8. Чому в набоях використовують порох, а не інші горючі речовини?
9. Яке паливо є найенергетичнішим?
10. Який двигун є ефективнішим: дизельний чи карбюраторний?
11. Які зміни енергії відбуваються в реактивному двигуні?
12. Якими способами можна збільшити ККД двигуна?

Що я знаю і вмію робити

● Я знаю, як можна змінити внутрішню енергію тіла.

1. Назвіть спосіб зміни внутрішньої енергії тіла в таких випадках:
 - а) внутрішня енергія тіла збільшується, якщо виконується робота над тілом;
 - б) процес, за якого відбуваються зміни внутрішньої енергії, а робота не виконується;
 - в) внутрішня енергія тіла зменшується, коли тіло виконує роботу.
2. 1 кг води і 1 кг заліза нагріли на 1 °С. На скільки змінилася їхня внутрішня енергія і як цю зміну пояснити з точки зору молекулярної будови речовини?

● **Я вмю визначати, яку кількість теплоти потрібно затратити для того, щоб нагріти, розплавити і випарувати тіло, або яка виділяється під час повного згоряння палива.**

3. Яку кількість теплоти потрібна для нагрівання чавунної деталі від 20 до 320 °С, якщо її маса дорівнює 2 кг?

4. Чи можна розплавити 12 кг олова, затративши 120 000 кДж енергії?

5. Яку енергію потрібно затратити, щоб випарувати за температури кипіння 3 кг води, температура якої 20 °С?

6. Чи вистачить 100 г бензину, щоб довести до кипіння 0,5 кг води, температура якої 20 °С? ККД теплового нагрівача дорівнює 25 %.

● **Я вмю будувати графіки.**

7. В алюмінієвому чайнику нагрівають воду. Побудуйте схематичні графіки залежності кількості теплоти від часу нагрівання:

а) чайника;

б) води.

● **Я знаю, які є види теплових двигунів.**

8. Чим відрізняється двигун внутрішнього згоряння від реактивного?

● **Я вмю виконувати досліди.**

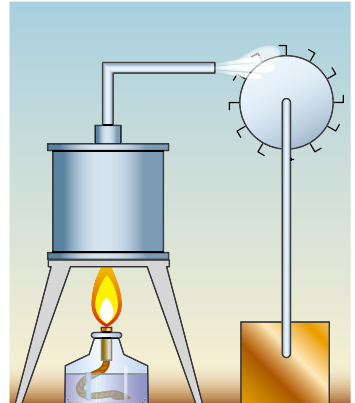
9. Налийте у велику каструлю води і доведіть її до кипіння. Помістіть у неї меншу каструлю з холодною водою. Чи закипить вода в меншій каструлі? Обґрунтуйте результат.

10. У воду, температура якої 0 °С, укинть лід, температура якого така сама, як і води. Чи зміниться температура води? Чому?

● **Я знаю, як відбуваються зміни енергії.**

11. Поясніть, чому колесо турбінки (мал. 107) обертається.

12. Які зміни енергії відбуваються в газовій турбіні?



Мал. 107



ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

Варіант 1

1. Який рух називають тепловим?
 - А упорядкований рух частинок, з яких складаються тіла
 - Б безладний рух частинок, з яких складаються тіла
 - В прямолінійний рух тіла
 - Г нерівномірний рух тіл
2. Залізничні рейки або інші металеві балки виготовляють способом прокату. Для цього розігрітий до білого розжарення сталевий вилівок пропускають між котками-вальцями, на поверхні яких є канавки відповідно до форми рейки, і він, деформуючись, набирає потрібної форми. Сталевий вилівок пропускають крізь вальця по кілька разів, не нагріваючи його додатково. За рахунок чого підтримується потрібна температура сталі під час прокату?
 - А за рахунок виконуваної механічної роботи
 - Б за рахунок внутрішньої енергії
 - В за рахунок теплопровідності
 - Г правильної відповіді немає
3. Чому глибокий пухкий сніг захищає озимину від замерзання?
 - А тому, що він має високу теплопровідність
 - Б тому, що він має низьку теплопровідність
 - В у пухкому снігу є багато повітря, яке погано проводить тепло
 - Г правильної відповіді немає
4. Чи змінюється температура тіла, якщо воно поглинає більше тепла, ніж випромінює?
 - А тіло нагрівається
 - Б тіло охолоджується
 - В температура тіла не змінюється
 - Г правильної відповіді немає
5. Кількістю теплоти називають внутрішню енергію, яку...
 - А тіло отримує від іншого під час теплообміну
 - Б має тіло
 - В тіло отримує або втрачає під час теплообміну
 - Г отримує тіло під час виконання над ним роботи
6. Свинець плавиться за температури 327 °С. Що можна сказати про температуру кристалізації (тверднення) свинцю?
 - А вона також дорівнює 327 °С
 - Б вона нижча від температури плавлення
 - В вона вища від температури плавлення
 - Г правильної відповіді немає
7. Випаровування відбувається...
 - А тільки за температури кипіння
 - Б за будь-якої температури
 - В за певної температури для кожної рідини
 - Г за високих температур

8. Унаслідок повного згоряння сухих дров виділилось 50 000 кДж енергії. Скільки дров згоріло?
- А** 50 кг **Б** 0,5 кг
В 5 кг **Г** 500 кг
9. Горюча суміш, яка надходить у циліндр двигуна автомобіля, складається з...
- А** різних видів рідкого палива
Б суміші гасу з повітрям
В повітря і парів бензину
Г масла і бензину
10. Кулька, піднята на деяку висоту, падає в пісок і застрягає в ньому. Зміни якого виду енергії при цьому відбуваються?
- А** потенціальної і кінетичної
Б потенціальної і внутрішньої
В кінетичної і внутрішньої
Г потенціальної, кінетичної і внутрішньої
11. Під час удару молотом об ковадло виконано роботу 15 Дж. Яку кількість внутрішньої енергії отримало ковадло?
- А** менше ніж 15 Дж
Б 15 Дж
В більше ніж 15 Дж
Г правильної відповіді немає
12. Маємо бензиновий двигун внутрішнього згоряння і дизельний. Який з двох двигунів має більший ККД?
- А** двигун внутрішнього згоряння
Б дизельний
В однаковий в обох
Г правильної відповіді немає

Варіант 2

1. Чи змінюється внутрішня енергія води в морі з настанням ночі?
- А** збільшується
Б зменшується
В не змінюється
Г правильної відповіді немає
2. Під час деформації тіла змінилось тільки взаємне розташування молекул. Чи змінилася при цьому температура тіла і його внутрішня енергія?
- А** температура тіла збільшилася, а внутрішня енергія не змінилася
Б температура і внутрішня енергія тіла не змінилися
В температура тіла не змінилася, а внутрішня енергія збільшилася
Г правильної відповіді немає
3. Сидячи біля багаття, ми зігріваємося, відчуваємо, як передається тепло від багаття до нашого тіла. Який це вид теплообміну?
- А** теплопровідність
Б конвекція
В випромінювання
Г теплопровідність і випромінювання

4. Чи можна передбачити, який напрямок матиме вітер біля моря в спекотний літній день?
- А не можна
 - Б із моря на сушу
 - В із суші на море
 - Г правильної відповіді немає
5. Кількість теплоти, яка витрачається на нагрівання тіла, залежить від...
- А маси, об'єму і роду речовини
 - Б значення зміни температури, густини і роду речовини
 - В роду речовини, його маси і значення зміни температури
 - Г маси тіла, його густини і значення зміни температури
6. На поверхні Місяця в місячну ніч температура опускається до $-170\text{ }^{\circ}\text{C}$. Чи придатні для вимірювання температури на Місяці ртутний і спиртовий термометри?
- А не придатний жоден з них
 - Б придатний тільки спиртовий
 - В придатний тільки ртутний
 - Г правильної відповіді немає
7. Чи випаровується вода у відкритій посудині за температури $0\text{ }^{\circ}\text{C}$?
- А випаровується, випаровування відбувається за будь-якої температури
 - Б не випаровується, тому що за температури $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ вода замерзає
 - В не випаровується, тому що утворення пари відбувається під час кипіння
 - Г правильної відповіді немає
8. Спалили $0,2\text{ кг}$ водню. Яку кількість води можна нагріти від 0 до $100\text{ }^{\circ}\text{C}$?
- А 65 кг
 - Б 70 кг
 - В 40 кг
 - Г 57 кг
9. Двигун внутрішнього згоряння працює на...
- А нафті
 - Б кам'яному вугіллі
 - В бензині
 - Г гасі
10. Які зміни енергії відбуваються під час падіння метеорита?
- А потенціальної і кінетичної
 - Б потенціальної і внутрішньої
 - В кінетичної і внутрішньої
 - Г потенціальної, кінетичної і внутрішньої
11. Під час гальмування поїзда було виконано роботу $150\ 000\text{ кДж}$. Яка кількість теплоти виділилася в гальмах?
- А менша від $150\ 000\text{ кДж}$
 - Б більша за $150\ 000\text{ кДж}$
 - В $150\ 000\text{ кДж}$
 - Г правильної відповіді немає
12. На практиці використовують установки, у яких застосовують водень і природний газ. Яка з установок має більший ККД?
- А та, що працює на водні
 - Б та, що працює на природному газі
 - В однаковий в обох
 - Г правильної відповіді немає

Розділ 2

ЕЛЕКТРИЧНІ ЯВИЩА. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ



- Електризація тіл • Електричний заряд • Два роди електричних зарядів
- Дискретність електричного заряду • Закон збереження електричного заряду • Електричне поле • Взаємодія заряджених тіл • Закон Кулона
- Електричний струм • Джерела електричного струму • Електричне коло і його складові частини • Електричний струм у металах • Дії електричного струму • Напрямок електричного струму • Сила струму • Амперметр
- Електрична напруга • Вольтметр • Електричний опір провідників
- Одиниці опору • Закон Ома для однорідної ділянки електричного кола
- Залежність опору провідника від його довжини, площі перерізу та матеріалу • Реостати • Послідовне з'єднання провідників
- Паралельне з'єднання провідників • Робота електричного струму
- Потужність електричного струму • Закон Джоуля–Ленца • Споживачі електричного струму • Електронагрівальні прилади • Електричний струм у розчинах і розплавах електролітів • Електричний струм у газах
- Самостійний і несамостійний розряди • Безпека людини під час роботи з електричними приладами і пристроями

§ 17. ЕЛЕКТРИЗАЦІЯ ТІЛ. ЕЛЕКТРИЧНИЙ ЗАРЯД

Термін «електрика» вам відомий і звичний. Він дуже давній, увійшов до науки значно раніше, ніж було винайдено електролампи, електродвигуни, холодильники, телевізори, радіоприймачі – все те, без чого нині важко уявити наше життя. Ще за 600 років до н. е. стародавні греки помітили, що коли бурштин (скам'яніла викопна смола хвойних дерев, які росли на Землі сотні тисяч років тому) потерти об вовну, то він набуває властивості притягувати до себе пух, листя, соломинки. Бурштин грецькою – **електрон**. Коли бурштин притягує до себе інші тіла, то говорять, що він наелектризований, або йому надано **електричного заряду**. Від слова «електрон» і походить слово **електрика**.

Дослід 1. Візьмемо ебонітову паличку (ебоніт – твердий матеріал з каучуку і значної домішки сірки), покладемо її на клаптики паперу. Бачимо, що ебонітова паличка не притягує паперові клаптики (мал. 108, а). Потremo тепер паличку об клаптик вовняної тканини (мал. 108, б) і наблизимо її до папірців. Папірці притягуються до палички і налипають на неї (мал. 108, в).



Мал. 108

Крім того, паличка, аркуш паперу та одяг набувають здатності притягувати до себе клаптики паперу, пух, тонкі струмені води (мал. 109). Ви зможете переконатися в цьому, коли потрете пластмасовий гребінець або ручку об аркуш паперу або вовну і піднесете його потім до тонкої струминки води.

В усіх наведених прикладах ми бачимо, що тіла набувають нової властивості – діяти на інші тіла силою, яка набагато більша за силу всесвітнього тяжіння. Цю силу називають **електричною**. Про тіла, які діють одне на одне електричною силою говорять, що вони заряджені або вони мають електричний заряд. Електризуватися можуть тіла, виготовлені з різних речовин. Наприклад, дуже легко наелектризувати **тертям** об вовну палички з гуми, сірки, пластмаси, капрону.

Електризуються тіла й від **дотику** одне до одного з наступним їх роз'єднанням. Можна електризувати тіла також, наближаючи до них *без торкання* будь-яке наелектризоване тіло. Це явище називають **електризацією впливом**, або **індукцією**.



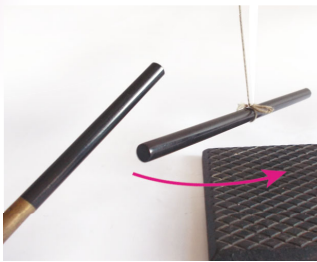
Мал. 109

Унаслідок дотику скляної палички до шматка гуми електризуються і скло, і гума. Гума, як і скло, притягує до себе легкі тіла.

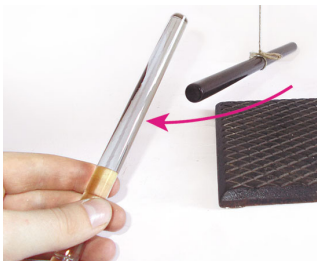
В електризації завжди беруть участь два тіла. При цьому електризуються обидва тіла.

Але за притяганням тіл не можна відрізнити електричний заряд на скляній паличці, потертій об шовк, від заряду на ебонітовій паличці, потертій об вовну, тому що обидві наелектризовані палички притягують клаптики паперу.

Чи означає це, що заряди на тілах, виготовлених з різних речовин, нічим не відрізняються один від одного?



Мал. 110



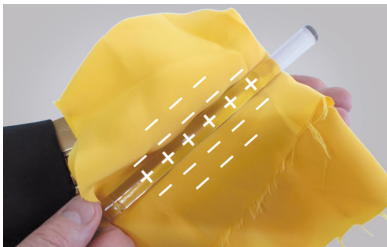
Мал. 111

Дослід 2. Наелектризуємо ебонітову паличку, підвішену на нитці, шматком вовни. Наблизимо до неї таку саму паличку, наелектризовану внаслідок тертя об ту саму вовну. Палички відштовхуватимуться одна від одної (мал. 110). Оскільки палички однакові та наелектризовані одним тілом, то можна дійти висновку, що заряди на них також однакові, або палички заряджені однаковими зарядами.

Дослід 3. Піднесемо до наелектризованої ебонітової палички скляну паличку, потерту об шовк. Скляна та ебонітова палички притягуватимуться одна до одної (мал. 111). Можна зробити висновок, що заряд на склі, потертому об шовк, іншого роду, ніж на ебоніті, потертому об вовну. Численні досліді свідчать, що у природі існують електричні заряди тільки двох родів.

Заряд на склі, потертому об шовк, назвали **позитивним**, а заряд на ебоніті, потертому об вовну, – **негативним**, позначають їх відповідно «+» і «-».

Отже, під час електризації скла об шовк скло набуває позитивного заряду «+», а шовк – негативного «-»; під час електризації ебоніту об вовну ебоніт набуває негативного заряду «-», а вовна – позитивного «+» (мал. 112, 113).



Мал. 112



Мал. 113



ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Як можна наелектризувати тіло?
2. Скільки тіл беруть участь в електризації і що з ними відбувається?
3. Які електричні заряди існують у природі?
4. Який електричний заряд матиме скляна паличка, потерта об шовкову тканину?
5. Який електричний заряд матиме ебонітова паличка, потерта об вовну?
6. Який найпростіший дослід доводить, що дане тіло наелектризоване?
7. Чому про деякі частинки говорять, що вони мають заряд?
8. Чому тіла заряджаються негативно або позитивно?

§ 18. ДВА РОДИ ЕЛЕКТРИЧНИХ ЗАРЯДІВ. ДИСКРЕТНІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОГО ЗАРЯДУ

У природі існують два роди електричних зарядів: позитивні та негативні.

З попередніх дослідів ви побачили, що наелектризовані тіла взаємодіють між собою. Під час електризації ебонітової або скляної палички виникають порівняно невеликі заряди, тому сили, з якими вони взаємодіють, незначні. Сильнішу взаємодію можна спостерігати, зарядивши будь-які тіла від **електрофорної машини**, яка дає змогу безперервно розділяти і накопичувати позитивні та негативні заряди. З'єднані дротом-провідником з кульками машини, «султани» (вузькі паперові смужки на штативах для демонстрації взаємодії заряджених тіл) сильніше взаємодіють, якщо збільшується кількість електричних зарядів на них (мал. 114).

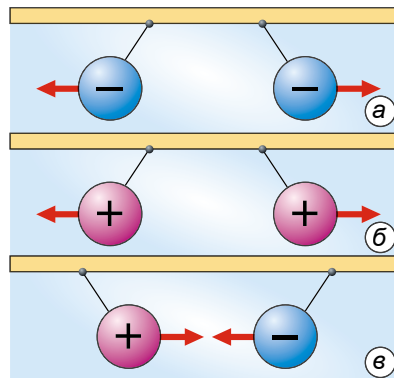
Із цих і попередніх дослідів добре видно, що **однойменні заряди відштовхуються, а різнойменні – притягуються.**

Тіла, які мають електричні заряди однакового знака (мал. 115, а, б), взаємно відштовхуються, а тіла, що мають заряди протилежних знаків, взаємно притягуються (мал. 115, в).

Явище взаємного притягання або відштовхування наелектризованих тіл використовують для виявлення, чи передано певному тілу електричний заряд. Дія пристрою, за допомогою якого виявляють, чи



Мал. 114



Мал. 115

наелектризоване тіло, ґрунтується на взаємодії заряджених тіл. Такий пристрій називають *електроскопом* (з грец. електрон – *бурштин*, *електрика* і *skoreo* – *спостерігаю, виявляю*). Прилад, у конструкцію якого додано стрілку і шкалу для оцінювання значення електричного заряду, називають *електрометром* (мал. 116).

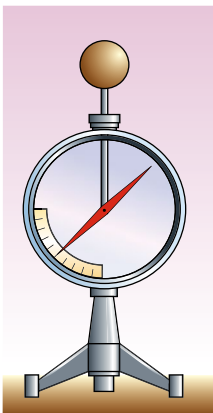
Крізь пластмасову вставку в металевій оправі корпусу електрометра пропущено металевий стержень, до якого прикріплено легку стрілку (або дві паперові смужки). Стрілка, заряджаючись від наелектризованого ебонітовою (скляною) паличкою стержня, відштовхується від нього й відхиляється на певний кут. Що більший заряд електрометра, то з більшою силою стрілка відштовхується від стержня і на більший кут вона відхиляється. Отже, за зміною кута відхилення стрілки електрометра можна визначати, збільшується чи зменшується його заряд. Аналогічні висновки можна зробити за кутом розходження паперових смужок у найпростішому електроскопі, який можна самостійно виготовити зі скляної баночки, цвяха і пробки.

Якщо доторкнутися рукою до зарядженого стержня електрометра, то він розрядиться (електрометр заряду не матиме). Електричні заряди перейдуть на тіло та через нього можуть піти в землю (мал. 117). Будь-яке заряджене тіло розрядиться, якщо його з'єднати із землею залізною, мідною або алюмінієвою дротиною. Якщо заряджене тіло з'єднати із землею скляною, ебонітовою або пластмасовою паличкою, то електричні заряди не переходитимуть із тіла в землю, тіло не розрядиться.

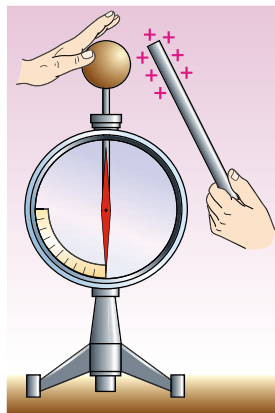
За здатністю проводити електричні заряди речовини поділяють на провідники та непровідники електрики.

Дослід 1. Зарядимо електрометр, з'єднаємо його за допомогою ебонітової, скляної, порцелянової або пластмасової палички з іншим таким самим електрометром, але незарядженим. У результаті досліду побачимо, що другий електрометр не зарядиться (мал. 118).

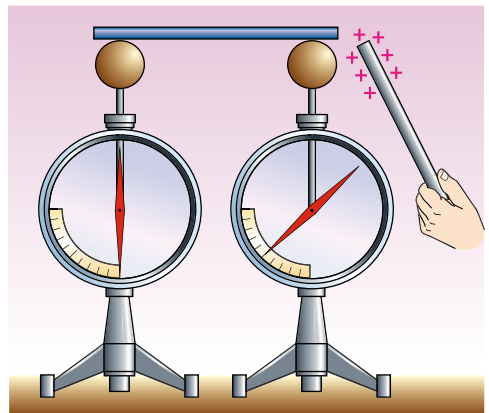
Порцеляна (фарфор), ебоніт, скло, бурштин, гума, шовк, капрон, пластмаса, гас, повітря – непровідники електрики.



Мал. 116



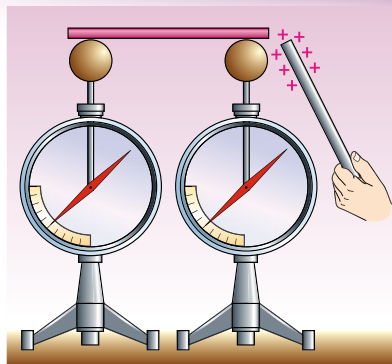
Мал. 117



Мал. 118

Тіла, виготовлені з речовин, що погано або зовсім не проводять електричний струм, називають **ізоляторами** (*діелектриками*), з франц. *isolateur* – *відокремити*).

Дослід 2. Зарядимо електрометр, з'єднаємо його за допомогою будь-якого металевого провідника з таким самим, але незарядженим електрометром. Через провідник заряди перейдуть на незаряджений електрометр. Обидва електрометри стануть однаково зарядженими (мал. 119). Усі метали, ґрунт, розчини солей і кислот у воді – гарні **провідники** електрики. Тіло людини також є провідником.



Мал. 119

Дослід 3. Роз'єднаємо заряджені в попередньому досліді електрометри і дотиком розрядимо один із них. Знову з'єднаємо його з першим електрометром, на якому залишилася половина початкового заряду. Заряд, що залишився на ньому, знову поділиться на дві рівні частини, і на першому електрометрі залишиться четверта частина початкового заряду. У такий самий спосіб можна отримати одну восьму частину, одну шістнадцяту частину початкового заряду і т. д.

Виникають запитання: *доки можна зменшувати заряд? Чи існує межа поділу електричного заряду?* Щоб довести, що існує межа поділу електричного заряду, та встановити її, видатний фізик **А. Ф. Йоффе** (1880–1960) виконав досліди, у яких електризувалися дрібні порошинки цинку, видимі тільки в мікроскоп. Заряд порошинок кілька разів змінювали і щоразу його вимірювали. Досліди показали, що всі зміни заряду порошинок були в ціле число (тобто 2, 3, 4, 5 і т. д.) разів більші від певного найменшого заряду, тобто дискретні (з лат. *discretus* – *роздільний, перервний*). Оскільки електричний заряд властивий речовині, учений зробив висновок, що у природі є така частинка речовини, яка має найменший заряд, що далі вже не ділиться. У 1897 р. зроблено відкриття, яке дало змогу пояснити більшість електричних явищ – англійський учений **Дж. Дж. Томсон** відкрив частинку, що є носієм найменшого (елементарного) негативного електричного заряду. Цю частинку назвали **електроном**.

Числове значення заряду електрона вперше визначив американський учений **Р. Міллікен**. Свої досліди, подібні до дослідів Йоффе, він проводив з дрібними крапельками олії.

Електричний заряд – одна з основних характеристик електрона. Цей заряд не можна «забрати» з електрона. Більше того, заряд електрона не можна ні збільшити, ні зменшити. Він завжди має одне й те саме значення.

Маса електрона дорівнює $9,1 \cdot 10^{-31}$ кг, вона в 3700 разів менша від маси молекули Гідрогену. Маса крильця мухи приблизно в $5 \cdot 10^{22}$ разів більша, ніж маса електрона.

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

Позначають електричний заряд малою латинською літерою q . У Міжнародній системі одиниць (СІ) одиницею електричного заряду є **один кулон (1 Кл)**. Цю одиницю названо на честь французького фізика **Шарля Кулона (1736–1806)**, який відкрив закон взаємодії електричних зарядів.

Один кулон – це дуже великий заряд. У дослідах з електризації тіл, про які йшлося вище, ми мали справу із зарядами в мільйони і мільярди разів меншими, ніж один кулон. Абсолютне значення (модуль) найменшого електричного заряду позначають літерою e і називають **елементарним зарядом**:

$$e = 0,0000000000000000016 \text{ Кл} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл.}$$

За визначенням заряд електрона $q_e = -e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$.

Найменший позитивний електричний заряд позначають літерою q_p і називають **протоном**. Заряд протона $q_p = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$. Цей заряд у мільярди разів менший від заряду, що отримують у дослідах з електризації тіл тертям.



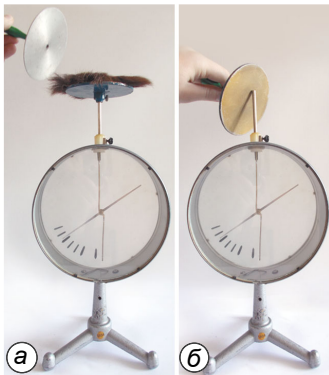
ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Як взаємодіють між собою різнойменні заряди? Одноіменні?
2. Яка будова електроскопа або електрометра? Для чого його використовують?
3. Як за допомогою зарядженого електроскопа (електрометра) встановити, які з предметів, виготовлених з різних речовин, є провідниками, а які – ізоляторами?
4. Чи можна електричний заряд ділити нескінченно?
5. Хто й коли відкрив електрон? Який електричний заряд має електрон? Яка його маса?
6. Як називають одиницю заряду в СІ?
7. Чому заряд електрона можна назвати мінімальним елементарним зарядом?

§ 19. ЗАКОН ЗБЕРЕЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ЗАРЯДУ

Відомо, якщо в результаті взаємодії тіл відбувається зміна значень мас цих тіл або їх частин, то загальна маса тіл та їх частин не змінюється. Наприклад, після розбивання брили льоду сума мас її уламків дорівнює початковій масі брили.

Під час електризації тіл та взаємодії між ними також відбувається перерозподіл електричних зарядів між тілами. *Чи змінюється при цьому загальний заряд тіл, що взаємодіють, чи можуть виникати або зникати електричні заряди тільки одного знака?*



Мал. 120

Дослід 1. Закріпимо на стержні електрометра металевий диск, покладемо на нього клаптик сукна і накриємо його таким самим диском, але з ручкою з діелектрика. Виконаємо диском кілька рухів по клаптику сукна і заберемо диск. Побачимо, що стрілка електрометра відхилиться на певний кут, що свідчить про появу електричного заряду на сукні й диску (мал. 120, а).

Диском, яким терли об сукно, доторкнемося до стержня другого такого самого електрометра. Його стрілка відхилиться на такий самий кут, як і в першому електрометрі (мал. 120, б). Це означає, що під час електризації обидва диски отримали рівні за модулем заряди.

Які знаки цих зарядів? З'єднаємо стержні обох електрометрів металевим провідником. Бачимо, що стрілки обох приладів повернуться в нульове положення, тобто заряди електрометрів нейтралізуються. Отже, заряди, набуті дисками під час електризації, були рівними за модулем, але протилежні за знаком, тому їхня сума дорівнює нулю.

Цей та інші досліди показують, що під час електризації **загальний (сумарний) заряд тіл зберігається**: якщо він дорівнював нулю до електризації, то таким самим він залишається і після електризації.

Чому так відбувається? Якщо скляну паличку терти об шовк, то вона заряджається позитивно, а шовк – негативно. Певна кількість електронів під час контакту перейшла зі скляної палички на шовк, створюючи тим самим нестачу електронів на паличці, тобто позитивний заряд, і такий самий за модулем негативний заряд на шовку з надлишком тих самих електронів. При цьому повний електричний заряд на шовку і скляній паличці залишається рівним нулю, тобто зберігається.

Повний електричний заряд зберігається і в тому випадку, якщо початкові заряди тіл не дорівнювали нулю.

Отже, під час електризації тіл справджується фундаментальний закон природи, який називають **законом збереження електричного заряду**. Цей закон справджується лише для електрично ізольованих, або замкнутих, систем, які не обмінюються електричними зарядами з тілами чи частинками, що не входять до цих систем.

У замкнутій системі заряджених тіл алгебраїчна сума зарядів залишається сталою.

Якщо окремі заряди позначити через $q_1, q_2, q_3, \dots, q_n$, то

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

Із цього закону також випливає, що під час взаємодії заряджених тіл не може виникнути чи зникнути заряд тільки одного знака. Виникнення позитивного електричного заряду завжди супроводжується появою такого самого за модулем негативного електричного заряду.

Закон збереження заряду відкрив у 1750 р. американський учений і видатний політичний діяч **Бенджамін Франклін**. Він також уперше ввів поняття про позитивні й негативні електричні заряди, позначивши їх знаками «+» і «-».



ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Чому на скляній паличці й на шовку під час дотику утворюються заряди, рівні за модулем і протилежні за знаком?
2. Чому дорівнює сумарний заряд під час електризації тіл?
3. Сформулюйте закон збереження електричного заряду.
4. Наведіть приклади явищ, у яких спостерігається збереження заряду.
5. Є три однакові металеві ізольовані кулі, одна з яких електрично заряджена. Як зробити, щоб дві інші набули таких самих зарядів, але різних за знаком?

§ 20. ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ. ВЗАЄМОДІЯ ЗАРЯДЖЕНИХ ТІЛ

Спостереження та проведені досліди підтверджують, що наелектризовані тіла взаємодіють одне з одним на відстані – притягуються або відштовхуються.

Як же передається дія наелектризованого тіла на інше тіло?

Дослід 1. Підвісимо на нитці заряджену гільзу і піднесемо до неї наелектризовану скляну паличку. Навіть за відсутності безпосереднього контакту гільза на нитці відхиляється від вертикального положення (мал. 121).

Заряджені тіла, як бачимо, здатні взаємодіяти одне з одним на відстані. Але як при цьому передається дія одного із цих тіл іншому? *Можливо, причина в повітрі, що міститься між ними?* З'ясуємо це на досліді.

Дослід 2. Помістимо заряджений електроскоп (без скла) під ковпак з повітряним насосом, після чого відкачаємо повітря з ковпака (мал. 122). Ми побачимо, що в безповітряному просторі листочки електроскопа будуть так само відштовхуватися один від одного. Отже, на передачу електричної взаємодії повітря не впливає. *Як же здійснюється взаємодія заряджених тіл?*

Вивчаючи взаємодію наелектризованих тіл, учені **Майкл Фарадей** (1791–1867) і **Джеймс-Кларк Максвелл** (1831–1879) установили, що у просторі навколо електричного заряду існує **електричне поле**. За допомогою цього поля і здійснюється електрична взаємодія.

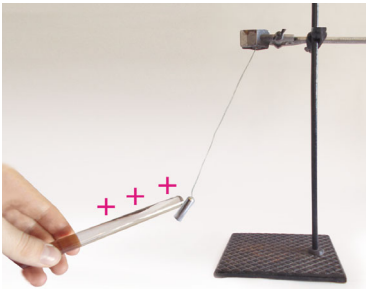
Електричне поле – це особливий вид матерії, який відрізняється від речовини й існує навколо будь-яких заряджених тіл.

Органи чуття людини не можуть сприймати електричне поле, виявити його можна лише за дією на електричні заряди.

Спостереження і досліди дають змогу встановити основні властивості електричного поля.

Електричне поле зарядженого тіла діє з певною силою на будь-яке інше заряджене тіло, що перебуває в цьому полі.

Це підтверджують усі досліди, у яких демонструється взаємодія заряджених тіл.



Мал. 121



Мал. 122

Електричне поле, створюване зарядженим тілом, сильніше діє на заряджені тіла, розміщені поблизу нього, слабше – на тіла, що розміщуються на більшій відстані.

Переконаємося в цьому, виконавши такий дослід.

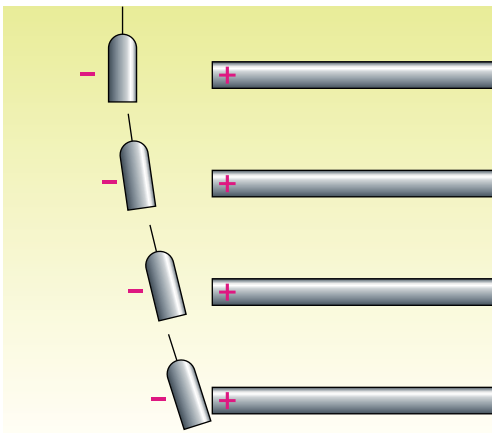
Дослід 3. Підвісимо на нитці негативно заряджену гільзу. Розмістимо неподалік від неї паличку із зарядом позитивного знака (мал. 123). Наближатимемо підставку з гільзою до зарядженої палички. Дослід показує: що ближче гільза до палички, то з більшою силою діє на неї електричне поле зарядженої палички.

Силу, з якою електричне поле діє на заряджені тіла, що перебувають у цьому полі, називають *електричною силою*.

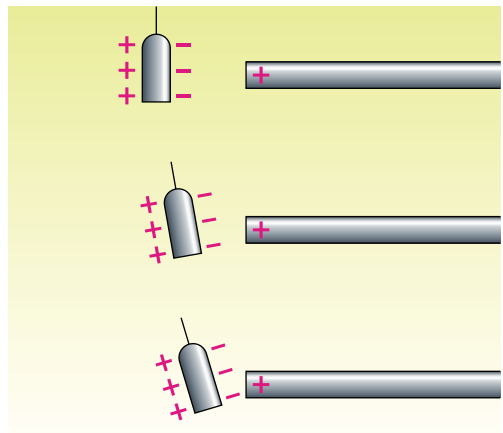
Слід мати на увазі, що не тільки заряджена паличка своїм електричним полем діє на заряджену гільзу, а й гільза власним електричним полем діє на паличку. Така спільна дія електричних полів кожного із заряджених тіл і характеризує електричну **взаємодію заряджених тіл**.

Дослід 4. Підвісимо на нитці незаряджену гільзу з алюмінієвої фольги. Розмістимо неподалік від неї позитивно заряджену паличку, як у досліді 3 (мал. 124). Під час зближення палички і гільзи побачимо, що незаряджена гільза також притягується до палички подібно до випадку із зарядженою гільзою.

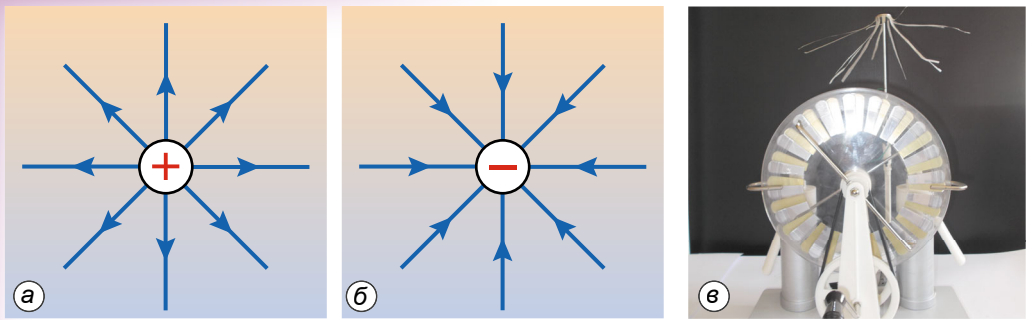
Чому незаряджена гільза притягується до наелектризованої палички? У металах електрони із зовнішніх оболонок атомів легко відриваються від них, утворюючи позитивні йони, які розташовані у вузлах кристалічних ґраток. Ці вільні електрони можуть легко пересуватися по всьому кристалу, електричне поле позитивно зарядженої палички діє на них, і вони, притягуючись до палички, збираються на тому боці гільзи, який розташований найближче до палички. Отже, ця частина гільзи набуває негативного заряду, а протилежна частина гільзи виявляється «збідненою» на електрони і набуває позитивного заряду. Оскільки електричне поле сильніше діє на ближчий до палички



Мал. 123



Мал. 124



Мал. 125

ки негативний заряд, ніж на віддалений позитивний, то результуючою дією і буде притягування гільзи паличкою.

Описаний дослід ілюструє явище **електростатичної індукції**, а тип електризації тіл без торкання до них зарядженим тілом, як вже згадувалося, називають **електризацією впливом**, або **індукцією**.

Дія електричного поля на заряди виявляється також і в дослідах з діелектриками. Якщо діелектрик розміщений в електричному полі, то позитивно заряджені частинки (йони) під дією електричного поля зміщуються в один бік, а негативно заряджені частинки (електрони) – в інший. Це явище називають **поляризацією діелектрика**.

Саме поляризацією пояснюються досліди, у яких відбувається притягання зарядженими тілами легеньких клаптиків паперу, ворсинок, які в цілому нейтральні. Однак в електричному полі наелектризованого тіла (скляної або ебонітової палички, гребінця) вони поляризуються. На тій частині клаптика паперу, що розміщена ближче до палички, виникає заряд, протилежний за знаком до заряду палички. Взаємодія з ним і спричиняє притягання клаптиків паперу до наелектризованого тіла.

Електричне поле зображають графічно за допомогою **силових ліній** (мал. 125).

Силкові лінії електричного поля – це умовні лінії, що вказують напрямки сили, яка діє в цьому полі на розміщене в ньому позитивно заряджене маленьке тіло.

На малюнку 125 зображено силкові лінії поля, яке створюється позитивно (а) і негативно (б) зарядженим тілом. Подібні «картинки» ми спостерігали, коли проводили досліди з електричними «султанами» (мал. 125, в).



ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Що таке електричне поле?
2. Назвіть основні властивості електричного поля.
3. На що вказують силкові лінії електричного поля?
4. Чому нейтральні шматочки паперу притягаються до наелектризованого тіла?
5. Поясніть, чому після надання електричному «султанові» заряду його паперові смужки розходяться в різні боки.
6. Як можна виявити наявність електричного поля, адже у нас немає для цього ніяких спеціальних органів чуття?

**ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...**

- Інколи мандрівникам, особливо альпіністам, яких зненацька темної ночі заставала у горах гроза, доводилося спостерігати таке рідкісне явище. Під час грози палки, обковані залізом, починають «звучати», і на їхніх кінцях у темряві виникає свічення. Волосся на голові й бороді стає дибки, голова починає світитися. Іноді вогники з'являються також на поверхні одягу.

Світяться і вершини високих дерев, громовідводів, антен, корабельні щогли. Таке свічення називають «вогнями святого Ельма» – за назвою церкви, на шпилі якої це явище помітили вперше. Пояснюється це явище так. Перед грозою електричне поле поблизу гострих предметів, що виступають над поверхнею землі, іноді стає настільки сильним, що виникає електропровідність повітря, і проходження струму в газі (електричний розряд) супроводжується випромінюванням світла.

- Одна з «професій» електричного поля – електрофарбування. Воно пояснюється явищем переміщення зарядів в електричному полі. Предмет, що фарбують, приєднують до негативного полюса електричної машини, а фарбопульт – до позитивного. Позитивно заряджені краплини фарби, що відриваються від фарбопульту, рухаються в електричному полі до негативно зарядженого предмета і рівномірно вкривають його. Такий спосіб фарбування дуже економічний і значно підвищує якість фарбування.

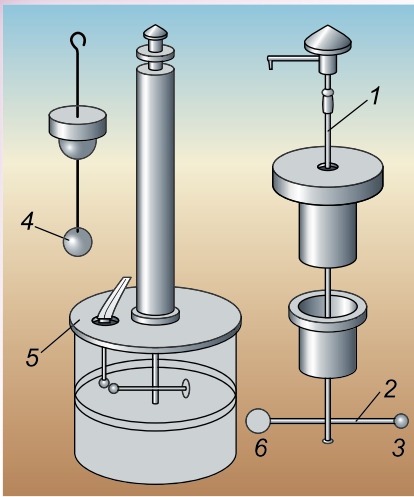
Фарбувати в електричному полі можна вироби з металу, дерева, скла, гуми тощо. Тому цей спосіб застосовують не тільки в машинобудівній, а й у взуттєвій, деревообробній і меблевій промисловості.

- Димарі заводів, фабрик, теплових електростанцій викидають багато диму, який забруднює й отрує повітря. Щохвилини наші легені пропускають близько 10 л повітря, а за добу – майже 15 м³. Для людського організму потрібне чисте повітря. Тому для очищення повітря від диму застосовують електрофільтри. Електрофільтри – це металеві циліндри, по осі яких натягнуто негативно заряджений провід. Циліндри мають позитивний заряд. Під дією електричного поля, створеного всередині циліндра, дрібні частинки, заряджені негативно, рухаються до стінок і осідають на них. Зі стінок пил або сажу періодично зчищають. За добу з електрофільтра середніх розмірів збирають кілька тонн уловленого пилу і сажі. На одному із цементних заводів за 12 років електричний фільтр уловив 340 000 т цементного пилу. Уявіть, скільки зведених із цього цементу будівель могло «вилетіти в трубу», якби не було фільтра.

§ 21. ЗАКОН КУЛОНА

Виконуючи досліди, ми переконалися, що сила взаємодії між зарядженими тілами залежить від ступеня електризації тіл, їх форми і відстані між ними. На практиці немає єдиної формули, яка описувала б електричну взаємодію заряджених тіл за довільних умов. Однак у 1785 р. Шарль Кулон запропонував просту формулу, яка описувала закон взаємодії **точкових зарядів** у вакуумі.

Точковими зарядами називають заряджені тіла, розміри яких дуже малі порівняно з відстанями, на яких ці тіла взаємодіють.



Мал. 126

Подібною ознакою ми скористалися раніше для означення поняття матеріальної точки. У своїх дослідах Кулон використав маленькі заряджені кульки. У *крутильних терезах* (мал. 126) легке скляне коромисло 2, підвішене на пружній тонкій нитці 1, закінчується з одного боку металевою кулькою 3, а з іншого – противагою 6. Через отвір у кришці можна було вносити всередину наелектризовану кульку 4, однаковою за розміром з кулькою 3. Дослідник торкався кулькою 4 до кульки 3. При цьому заряд перерозподілявся між цими кульками, і вони відштовхувалися одна від одної. Коромисло поверталось і закручувало нитку доти, доки сила пружності, що виникла в нитці, не врівноважувала силу електричної взаємодії. Повертаючи рукоятку у верхній частині приладу, до якої прикріплено нитку, можна було змінювати кут закручування нитки, у результаті чого змінювалася сила пружності, а внаслідок цього – і відстань між зарядами.

Кулон визначив: сила електричної взаємодії між точковими зарядами обернено пропорційна квадрату відстані між ними.

Складність експерименту полягала в тому, що вчений не володів точним методом вимірювання заряду на кульках, тому йому довелося застосувати такий прийом. До наелектризованої кульки він торкався незарядженою кулькою такого самого розміру, яку потім віддаляв на значну відстань. Оскільки при цьому заряд розподілявся порівну між обома кульками, заряд пробної кульки зменшувався вдвічі. Виявилось, що в стільки само разів зменшилась і сила електричної взаємодії.

Виконавши дослід кілька разів, Кулон дійшов висновку: сила електричної взаємодії пропорційна добутку точкових зарядів, що взаємодіють.

Досліди Кулона були не дуже точними, оскільки кульки мали великі розміри і сила вимірювалася зі значною похибкою (порядку 3 %). Крім того, досліди проводилися в повітрі, що також спотворювало результати експерименту. Вважаючи, що точкові заряди взаємодіють у вакуумі, Кулон сформулював закон, який підтверджується всією сукупністю електричних явищ.

Сила взаємодії між двома нерухомими точковими електричними зарядами прямо пропорційна добутку цих зарядів і обернено пропорційна квадрату відстані між ними.

Якщо позначити модулі точкових зарядів через q_1 і q_2 , а відстань між ними – через r , то в СІ модуль сили F електричної взаємодії у вакуумі дорівнюватиме:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2},$$

де $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}$ – електрична стала. Якщо точкові заряди взаємодіють у певному середовищі, то закон Кулона слід записувати так:

$$F = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r^2},$$

де ϵ – діелектрична стала (для вакууму $\epsilon = 1$, для різних речовин подається в таблицях).

Інколи використовують електричну сталу у вигляді:

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = \frac{1}{4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}.$$

У цьому разі формула для закону Кулона набуває такого вигляду:

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

Із цієї формули випливає: якщо відстань між двома точковими зарядами становить 1 м і заряд кожного дорівнює 1 Кл, то сила взаємодії між ними у вакуумі дорівнюватиме $9 \cdot 10^9$ Н.



ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Який заряд називають точковим?
2. Чому Кулон, виконуючи дослід, був упевнений, що електричний заряд змінюється саме вдвічі?
3. Сформулюйте закон Кулона.
4. Чому у формулюванні закону Кулона слід обов'язково користуватися терміном «точковий заряд»?
5. Як визначають одиницю заряду 1 кулон?
6. Чому за одиницю заряду не прийняли заряд електрона?



РОЗВ'ЯЗУЄМО РАЗОМ

1. Якщо гладити шерсть кішки долонею, можна помітити в темноті невеликі іскорки, які виникають між рукою і шерстю. Яка причина виникнення іскор?

Відповідь: іскри виникають у результаті електризації руки під час тертя об шерсть.

2. Є щітки, які очищують одяг, притягуючи до себе пил. Дайте цьому пояснення.

Відповідь: такі щітки виготовляють зі спеціального матеріалу, який під час тертя сильно електризується.

3. З якою силою взаємодіятимуть два точкові заряди по 10^{-4} Кл кожний, якщо їх розмістити у вакуумі на відстані 1 м один від одного?

Дано:

$$q_1 = q_2 = 10^{-4} \text{ Кл}$$

$$\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}$$

$$r = 1 \text{ м}$$

$$\pi = 3,14$$

$$F = ?$$

Розв'язання

Щоб визначити силу взаємодії двох точкових зарядів, використаємо формулу:

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2}.$$

Підставивши значення фізичних величин, отримаємо:

$$F = \frac{10^{-8} \text{ Кл}^2}{4 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2} \cdot 1 \text{ м}^2} = 90 \text{ Н}.$$

Відповідь: 90 Н.



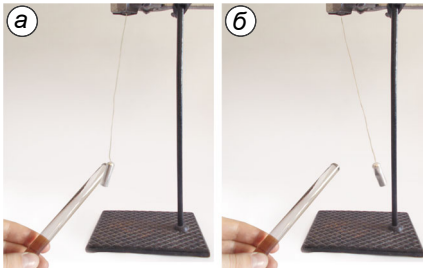
ЗАДАЧІ ТА ВПРАВИ

Рівень А

134. Як можна показати, що на обох тілах під час їх тертя виникають електричні заряди?

135. Як пояснити виникнення на одному з натертих тіл позитивного заряду, а на іншому – негативного?

136. На шовковій нитці підвішено незаряджену гільзу з алюмінієвої фольги. Якщо до неї наблизити наелектризовану скляну паличку, то гільза притягнеться до неї (мал. 127, а). Чому гільза одразу після дотикання до палички відштовхується від неї (мал. 127, б)?



Мал. 127

137. Як пояснити, що між пасами та шківками машин і трансмісією періодично виникають іскри?

138. Якщо гладити рукою сухе, чисто вимите волосся чи розчісувати його гребінцем, то воно піднімається за рукою або гребінцем. Як пояснити це явище?

139. Чому можна наелектризувати скляну паличку, тримаючи її в руках, і не можна наелектризувати металеву?

Що потрібно було б зробити, щоб наелектризувати металеву паличку?

140. Синтетичні тканини, якими оббивають сидіння автомобілів, швидко забруднюються внаслідок їх електризації. Чому? Як запобігти цьому?

141. Якщо ебонітову паличку натерти гумою, то вона наелектризується позитивно, а якщо натерти хутром – то негативно. У чому – хутрі чи гумі – атоми слабше утримують електрони, що входять до їх складу?

142. Чи можна ебонітову паличку натиранням електризувати так, щоб одна половина її була заряджена позитивно, а друга – негативно? (Див. умову попередньої задачі).

143. Чому метали внаслідок натирання їх вовною або шовком електризуються тільки позитивно?

144. На нитках однакової довжини підвісили дві кульки. Одна з них відштовхується від позитивно зарядженої палички, а друга – притягується. До негативно зарядженої палички обидві кульки притягуються. Що можна сказати про електричний стан цих кульок?

145. Відомо, що однойменно заряджені тіла відштовхуються. У якому шкільному приладі застосовується властивість заряджених тіл відштовхуватися? Як він діє?

146. Листочки електроскопа починають розходитися ще до спроби доторкнутися до нього зарядженою паличкою. Яка причина цього явища? Чому листочки опускаються, тільки-но ми віддалимо паличку?

147. Чому кульку і стержень електроскопа виготовляють з металу? Як пояснити, що заряджений електроскоп розряджається, тільки-но до його кульки доторкнеться пальцем?

148. Чому в приміщенні, де багато людей, заряджений електроскоп швидко втрачає заряд?

149. Чому тіла погано електризуються, якщо в кімнаті висока вологість?

150. З перелічених речовин назвіть провідники та ізолятори: срібло, ебоніт, порцеляна, розчин кухонної солі, мідь, шовк, тіло людини, алюміній, гас.

151. Чому корпуси штепсельних розеток, вилок, патронів, вимикачів тощо роблять з пластмаси чи фарфору?

152. Чому під час роботи електромонтери надівають гумові чоботи та рукавиці (мал. 128)?

153. Яким способом можна виявити електричне поле і його дію?

154. Два заряди $2,3 \cdot 10^{-6}$ Кл і $3,5 \cdot 10^{-5}$ Кл розміщені у вакуумі на відстані 1,7 см. Визначте силу взаємодії між ними.

Рівень Б

155. Як можна встановити, яка з двох однакових бузинових кульок, підвішених на тонких шовкових нитках, наелектризована, а яка – ні?

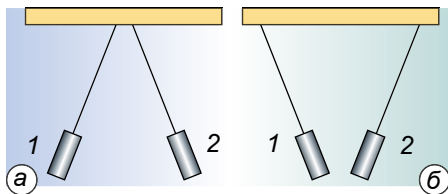
156. Як заряджена гільза 1 (мал. 129, а), якщо гільза 2 заряджена позитивно? Як заряджена гільза 2 (мал. 129, б), якщо гільза 1 заряджена негативно?

157. Під час перевезення в цистернах бензин і гас електризуються, що може призвести до їх загоряння. Яких заходів вживають, щоб нейтралізувати заряди, що виникають унаслідок електризації бензину, гасу?

158. Якщо піднести до незарядженої гільзи на нитці наелектризовану ебонітову паличку, то вона швидко притягнеться до палички, відразу відскочить і утримуватиметься на певній відстані. А коли піднести наелектризовану скляну паличку, то гільза знову притягнеться. Який висновок можна зробити із цього досліду?



Мал. 128



Мал. 129

- 159.** Чому спочатку помітили електризацію тіл з бурштину, скла, а не міді або олова?
- 160.** Є дві однакові металеві кулі, в одній з них не вистачає електронів, а в іншій – 4000 зайвих. Кулі з'єднали. Як були заряджені кулі до з'єднання і як – після їх з'єднання?
- 161.** Коли у простір, що оточує наелектризоване тіло, вносять інше заряджене тіло, то на нього діє електрична сила, а в просторі, що оточує ненаелектризоване тіло, цього не спостерігається. Чому ж тоді до зарядженого тіла притягуються дрібні клаптики паперу?
- 162.** Як можна перенести заряд з наелектризованого тіла на ненаелектризоване за допомогою третього ненаелектризованого тіла?
- 163.** Як пояснити, що електризацію третям помітили на речовинах, які належать до непровідників електрики?
- 164.** Чому під час дослідів з електроскопом до його кульки не тільки торкаються наелектризованою паличкою (ебонітовою або скляною), а й проводять нею по кульці?
- 165.** Під час демонстрування дослідів з електрики рекомендують ебонітові та скляні палички завжди брати за один кінець. Чому?
- 166.** Чи можна виготовити електроскоп з пластмасовим, ебонітовим або скляним стержнем? Чому?
- 167.** Як за допомогою електроскопа можна визначити знак заряду наелектризованого тіла?
- 168.** Як пояснити, що іноді електроскоп сам розряджається швидко, а іноді – повільно?
- 169.** Щоб електроскоп добре працював, перед дослідом рекомендують його просушити. Навіщо?
- 170.** Перед дослідом з електрики підставки, ебонітові палички рекомендують протерти ганчіркою, зволоженою гасом. Навіщо?
- 171.** Листочки зарядженого електроскопа ще більше розходяться, коли до нього підносять позитивно заряджену паличку, а коли віддаляють, то займають попереднє положення. Який заряд фіксував електроскоп?
- 172.** Навіщо складальники і ремонтники комп'ютерів під час роботи вдягають на руку заземлений браслет?
- 173.** Чому в грозу не можна запускати паперового змія?
- 174.** До кульки електроскопа, не торкаючись її, підносять наелектризовану ебонітову або скляну паличку. Смужки електроскопа розходяться. Якщо забрати паличку, то смужки знову опускаються. Як пояснити це явище?
- 175.** До кульки наелектризованого електроскопа, не торкаючись її, підносять тіло, що має такий самий заряд. Що буде зі смужками, коли наелектризоване тіло забрати?
- 176.** Чому під час дослідів з наелектризованою ебонітовою чи скляною паличкою і клаптиками паперу останні наче танцюють: то підстрибують до палички, то знову падають?
- 177.** Смужки «султана» притягуються до піднесеної наелектризованої палички. Чи значить це, що вони також наелектризовані?
- 178.** Електроскопу надали заряду, що дорівнює $-6,4 \cdot 10^{-10}$ Кл. Якій кількості електронів відповідає цей заряд?
- 179.** Чи може існувати частинка, заряд якої дорівнює $-4,8 \cdot 10^{-19}$ Кл? Якій кількості елементарних зарядів відповідає такий заряд?

180. Якій кількості елементарних зарядів відповідає електричний заряд, що дорівнює 1 Кл?

181. Дві металеві кульки підвішені на штативах окремо одна від одної. Заряд однієї кульки дорівнює 5 нКл, а іншої – (–5 нКл). Кульки з'єднали. Який заряд кульок?

182. Маємо дві однакові металеві кульки, підвішені на шовкових нитках. Заряд однієї дорівнює 10 нКл, другої – 16 нКл. Кульки зіткнули і розвели. Які заряди будуть у кульок після зіткнення? $1 \text{ нКл} = 10^{-9} \text{ Кл}$.

183. Який заряд матиме кожна з трьох однакових металевих кульок після того, як їх зіткнули і розвели, якщо початкові заряди кульок дорівнювали відповідно 6 нКл, –4 нКл і 7 нКл?

ІСТОРИЧНА ДОВІДКА



Шарль Кулон

Шарль Огюстен Кулон народився 14 червня 1736 р. в Ангулемі (Франція). Навчався у Парижі в одній з найкращих шкіл – «Коледжі чотирьох націй» (Коледж Мазаріні). Мав неабиякий інтерес до математики, мріяв стати вченим.

У лютому 1757 р. Кулон на засіданні Королівського наукового товариства оприлюднив свою першу наукову працю «Геометричний нарис середньопорційних кривих». Оскільки робота отримала схвалення членів товариства, то незабаром його обрали ад'юнктом з класу математики. У лютому 1760 р. Шарль Кулон вступив до Мезьєрської школи військових інженерів, по закінченні якої отримав призначення у порт Брест на західному узбережжі Франції.

Згодом Кулон потрапив на острів Мартиніка, де опікувався будівництвом мостів, доріг, укріплень. Завдяки успішному будівництву форту на Монт-Гарньє, в березні 1770 р. він отримав чин капітана. На той час Кулон займався винайденням технології виготовлення магнітних стрілок для точних вимірювань магнітного поля Землі, а в 1784 р. закінчив написання праці «Теоретичні та експериментальні дослідження сили кручення і пружності металевих дротів».

У вересні 1781 р. Кулона перевели до Парижа, де невдовзі обрали в академію з класу механіки. Працюючи над вивченням явища тертя, він дослідив залежність тертя ковзання від відносної швидкості руху стичних тіл з використанням великих навантажень. А працюю Кулона «Теорія простих машин» інженери користувалися упродовж цілого століття.

Під час випробування розроблених та виготовлених власноруч крутильних терезів, Кулон заглибився у проблеми магнетизму та електрики. Завдяки цьому він відкрив основний закон електростатики – закон взаємодії точкових зарядів.

В останні роки життя Шарль Кулон займався організацією системи освіти у Франції. Але, у результаті частих поїздок по країні, улітку 1806 р. учений захворів на лихоманку і 23 серпня 1806 р. помер.



ПЕРЕВІР СВОЮ КОМПЕТЕНТНІСТЬ

Контрольні запитання

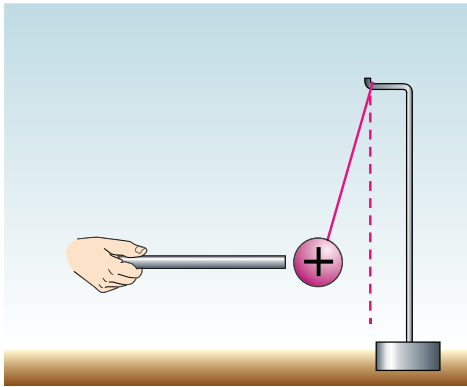
1. Чому про деякі частинки говорять, що вони мають електричний заряд?
2. Чому заряджені тіла можуть притягуватися одне до одного або відштовхуватися?

3. Заряд яких частинок дорівнює за значенням мінімальному (елементарному) заряду?
4. Чому тіла заряджаються позитивно або негативно?
5. Незаряджені тіла називають електрично нейтральними. За яких умов при контакті відбувається повна нейтралізація наелектризованих тіл?
6. Яким дослідом з двома електрометрами можна підтвердити закон збереження електричного заряду?
7. Що дає змогу стверджувати, що навколо зарядженого тіла існує електричне поле?
8. Які ви знаєте основні властивості електричного поля?
9. На що вказують силові лінії електричного поля?
10. Чому під час формулювання закону Кулона слід обов'язково вживати термін «точковий заряд»?
11. Чому за одиницю заряду не був прийнятий заряд електрона?

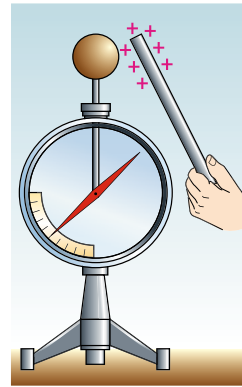
Що я знаю і вмю роботи

● Я знаю, які заряди існують у природі.

1. Який заряд має ебонітова паличка (мал. 130)?

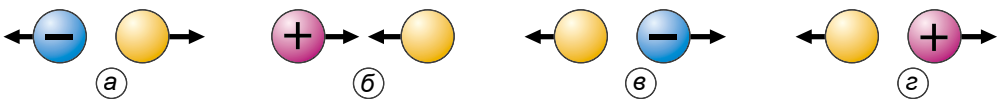


Мал. 130



Мал. 131

2. Як зарядилася стрілка електрометра (мал. 131)?
3. На малюнку 132 зображено кульки синього, рожевого, жовтого кольорів, які взаємодіють. Який заряд має жовта кулька в усіх випадках?

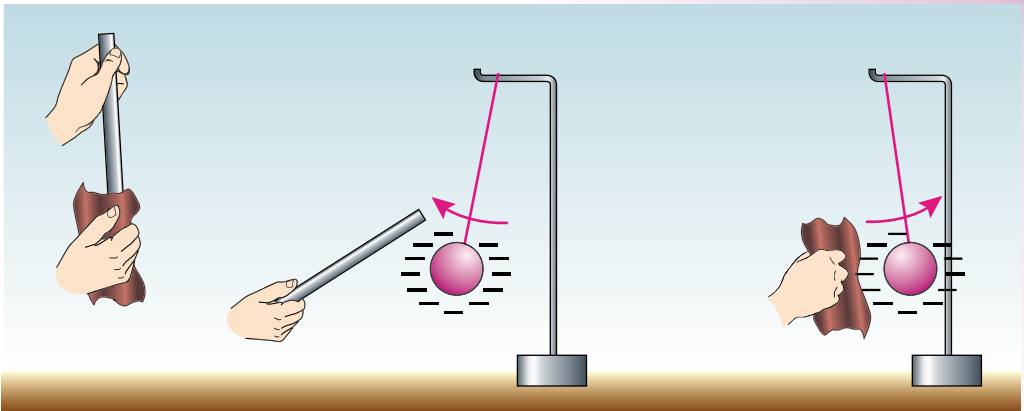


Мал. 132

4. Сялянну паличку натерли шовковою тканиною. Який заряд отримала паличка? Шовкова тканина? Поясніть взаємодію між паличкою та кулькою; між тканиною та кулькою (мал. 133).

● Я вмю пояснювати явище електризації тіл.

5. Струмінь піску, що висипається з вузького отвору, відхиляється в різні боки, якщо до нього піднести заряджену ебонітову або скляну паличку. Як пояснити це явище?
6. Чи будуть електричні заряди взаємодіяти на Місяці, де немає атмосфери?



Мал. 133

● **Я вмію виконувати досліди.**

7. Наелектризуйте об волосся гребінець, після чого торкніться ним маленької пір'їнки. Що при цьому відбудеться з пір'інкою? Стряхніть пір'інку з гребінця і, коли вона перебуватиме в повітрі, примусьте її залишатися на одній і тій самій висоті, підставляючи знизу на деякій відстані наелектризований гребінець. Чому пір'інка перестає падати? Що втримує її в повітрі?

8. Наповніть повітряну кульку повітрям, після чого потріть її об вовну, хутро або своє волосся. Поясніть, чому кулька починає «прилипати» до різних предметів і навіть до стелі.

● **Я вмію застосовувати закон збереження електричного заряду.**

9. Дві однакові металеві кульки підвішено на шовкових нитках. Заряд однієї дорівнює 4 нКл, заряд другої – -10 нКл. Кульки зіткнули і розвели. Який заряд матимуть кульки після цього?

● **Я вмію обчислювати силу взаємодії двох точкових зарядів.**

10. З якою силою взаємодіятимуть два точкові заряди по 1 Кл кожний, якщо їх розмістити на відстані 1 км один від одного?

11. Дві маленькі кульки із зарядами $2,0 \cdot 10^{-7}$ Кл і $4,5 \cdot 10^{-7}$ Кл у вакуумі взаємодіють із силою 0,1 Н. Визначте відстань між кульками.



ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

Варіант 1

1. Вам відомо, що тертям об вовну заряджаються палички з гуми, сірки, ебоніту, пластмаси, капрону. Чи заряджається при цьому вовна?
 - А** так, тому що в електризації тертям завжди беруть участь два тіла, при цьому електризуються обидва тіла
 - Б** хоча в електризації тертям беруть участь два тіла, але в дослідах завжди використовують тільки палички, тому можна вважати, що заряджаються тільки палички
 - В** правильної відповіді немає
2. Що відбуватиметься з підвішеною на шовковій нитці незарядженою легкою кулькою, якщо до неї піднести заряджене тіло?
 - А** кулька притягнеться до зарядженого тіла
 - Б** кулька відштовхнеться від зарядженого тіла
 - В** кулька спочатку притягнеться до зарядженого тіла, а після контакту з ним – відштовхнеться
3. Для чого використовують електроскоп?
 - А** тільки для визначення значення заряду
 - Б** тільки для визначення знака заряду
 - В** тільки для виявлення заряду
 - Г** для виявлення заряду, визначення його значення і знака
4. Який заряд у кульки електроскопа, до якої піднесли, не торкаючись її, позитивно заряджену паличку?
 - А** позитивний **Б** негативний **В** заряду немає
5. Чи можна ділити електричний заряд необмежено?
 - А** можна **Б** не можна **В** тільки до заряду електрона
6. Наелектризовану паличку поклали на дерев'яний стіл. Чи розрядиться паличка?
 - А** розрядиться, заряди перейдуть у стіл **Б** усі заряди збережуться на паличці
 - В** у місцях дотику частина зарядів з палички перейде у стіл
7. До зарядженого електроскопа підносять з досить великої відстані негативно заряджену паличку. З наближенням палички листочки спочатку опускалися, а потім стали знову розходитися. Заряд якого знака був на електроскопі?
 - А** позитивний **Б** негативний **В** електроскоп був незаряджений
8. Три однакові металеві кульки підвішено на шовкових нитках. Заряд однієї дорівнює 2 нКл, другої – (–10 нКл), а третьої – 5 нКл. Кульки зіткнули і розвели. Який заряд матимуть кульки після цього?
 - А** 1 нКл **Б** 5,6 нКл **В** –1 нКл **Г** –3 нКл
9. Середня відстань між двома хмарами становить 10 км. Електричні заряди їх відповідно дорівнюють 10 Кл і 20 Кл. З якою електричною силою взаємодіють хмари?
 - А** 9 кН **Б** 200 кН **В** 180 кН **Г** 18 кН
10. Заряд однієї з двох однакових металевих кульок у 5 разів більший, ніж іншої. Однією кулькою доторкнулися до іншої, а потім знову відвели на попередню відстань. У скільки разів змінилася сила взаємодії, якщо заряди кульок однойменні?
 - А** збільшилась у 5 разів **Б** зменшилась в 1,25 раза
 - В** збільшилась в 1,8 раза **Г** не змінилась

Варіант 2

- Як взаємодіють одна з одною скляна паличка, потерта об шовк, і ебонітова паличка, потерта об сукно?
 - відштовхуються одна від одної
 - притягуються одна до одної
 - правильної відповіді немає
- На чому ґрунтується дія електроскопа?
 - на взаємодії різнойменних зарядів
 - на взаємодії однойменних зарядів
 - на взаємодії нейтральних і заряджених частинок
- Позитивно заряджена скляна паличка притягує підвішену на нитці суху соняшникову стеблину. Які із цього можна зробити висновки про заряд стеблини?
 - стеблина заряджена негативно
 - стеблина заряджена позитивно
 - стеблина незаряджена
- Чи можуть дві однойменно заряджені бузинові кульки, підвішені на нитках, притягуватися?
 - не можуть, оскільки однойменно заряджені тіла відштовхуються
 - можуть у випадку, коли значення зарядів кульок малі
 - можуть тоді, коли заряд однієї з кульок значно перевищує заряд іншої
- Чи можна наелектризувати металевий стержень тертям, якщо тримати його в руці?
 - усі тіла під час тертя електризуються, наелектризується і металевий стержень
 - не можна, тому що метал і тіло людини – провідники
 - можна, якщо його електрично ізолювати від руки
- Для чого легкі гільзи або кульки, з якими демонструють досліди із взаємодії зарядів, підвішують на шовкових нитках?
 - шовкові нитки легкі й гнучкі
 - шовкові нитки тонкі й міцні
 - шовкова нитка не проводить електричні заряди
- До стержня зарядженого електроскопа піднесли, не торкаючись його, незаряджений металевий стержень. Як при цьому зміниться кут розходження листочків?
 - збільшиться
 - зменшиться
 - не зміниться
- Три однакові металеві кульки підвішено на шовкових нитках. Заряд однієї дорівнює -2 нКл, другої – 10 нКл, а третьої – (-5) нКл. Кульки зіткнули і розвели. Який заряд матимуть кульки після цього?
 - 1 нКл
 - $5,6$ нКл
 - -1 нКл
 - -3 нКл
- Середня відстань між двома хмарами становить 20 км. Електричні заряди хмар відповідно дорівнюють 20 Кл і 20 Кл. З якою електричною силою взаємодіють хмари?
 - 9 кН
 - 200 кН
 - 180 кН
 - 18 кН
- Заряд однієї з двох однакових металевих кульок у 5 разів більший, ніж іншої. Однією кулькою доторкнулися до іншої, а потім знову відвели на попередню відстань. У скільки разів змінилася сила взаємодії, якщо заряди кульок різнойменні?
 - збільшилась у 5 разів
 - збільшилась в $1,8$ раза
 - зменшилась у $1,25$ раза
 - не змінилась

§ 22. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ. ДЖЕРЕЛА ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ

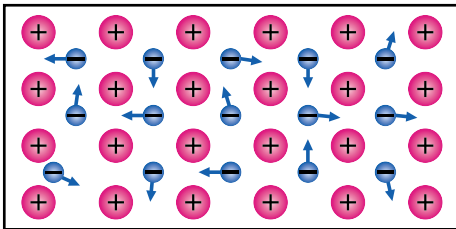
Для роботи електроприладів потрібний електричний струм. Деякі з них, наприклад ліхтарики, електронні годинники, аудіоплеєри, радіоприймачі та телефони, використовують електроенергію гальванічних елементів, батарей гальванічних елементів або акумуляторів. Інші, наприклад лампи, холодильники, телевізори, пылососи, працюють від електромережі, тобто одержують електроенергію по проводах від електростанції.

Що ж таке електричний струм і що потрібно, щоб він виникнув та існував протягом потрібного часу? Слово «струм» означає рух або течію чогось. *Що може переміщатися у провідниках, які з'єднують батарею гальванічних елементів з лампою, холодильником – з електростанцією?*

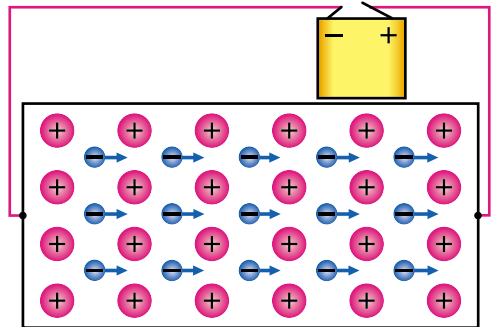
Ви вже знаєте, що явище електризації тіл зумовлене наявністю в них електрично заряджених частинок – електронів, а також позитивних і негативних йонів, які завжди перебувають у стані теплового безладного руху (мал. 134). Є багато речовин, у яких за певних умов заряджені частинки можуть вільно рухатися, тобто пересуватися на великі відстані в усьому об'ємі тіла. Наприклад, здавна в техніці широко застосовуються металеві провідники, у яких носіями електрики є вільні електрони. Якщо на всі вільні заряджені частинки подіяти певною силою в одному напрямку, то до їхнього безладного руху додасться ще рух у напрямку прикладеної сили. У цьому разі кажуть, що в тілі виникає електричний струм.

Електричний струм – це впорядкований (направлений) рух заряджених частинок або заряджених тіл.

Щоб надати зарядженим частинкам напрямленого руху, в об'ємі провідника утворюють електричне поле. Під дією електричного поля вільні заряджені частинки рухаються в напрямку прикладених до них електричних сил, тобто у провіднику виникає електричний струм (мал. 135). Якщо, наприклад, кулю зарядженого електрометра з'єднати провідником із землею, то в провіднику виникне електричне поле, а разом з ним і електричний струм, який припиниться, як тільки весь заряд кулі, що утворює електричне поле, перейде в землю.



Мал. 134



Мал. 135

Щоб електричний струм у провіднику проходив як завгодно довго, потрібно в ньому весь час підтримувати електричне поле, тобто забезпечувати на одному кінці провідника надлишок заряду певного знака, а на другому – його нестачу. Такий сталий розподіл зарядів на кінцях провідника створюється та підтримується джерелами електричного струму.

Джерелами електричного струму називають пристрої, у яких відбувається перетворення енергії певного виду на електричну енергію.

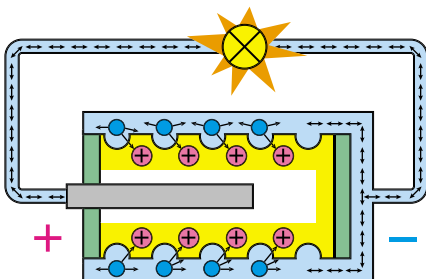
У кожному джерелі струму виконується робота з розділення позитивно і негативно заряджених частинок, які накопичуються на полюсах джерела.

Відповідно до цього полюси умовно позначають знаками «+» і «-».

Людина у своїй практичній діяльності використовує різноманітні джерела електричного струму, які за видом перетворюваної енергії можна поділяти на: **хімічні** (гальванічні елементи, акумулятори), **світлові** (фотоелементи, сонячні батареї), **теплові** (термоелементи), **механічні** (електрофорна машина, генератори електричного струму різного роду).

Якщо до гальванічного елемента за допомогою провідників приєднати електричну лампочку (мал. 136), то під дією електричного поля заряджені частинки у провіднику починають рухатися, виникає електричний струм, лампочка світиться.

Гальванічні елементи. Перше найпростіше хімічне джерело струму, яке не втратило свого практичного значення й тепер, створив у 1799 р. італійський фізик **Алессандро Вольт** і назвав його гальванічним елементом на честь засновника вчення про електрику **Луїджі Гальвані**. Цей елемент давав напругу близько 1 вольта (1 В). З метою одержання вищої напруги Вольт побудував батарею (так званий *вольтів стовп*) з 20 цинкових, 20 мідних і 20 суконних кружечків, покладених один на одного (мал. 137).



Мал. 136



Мал. 137



Мал. 138

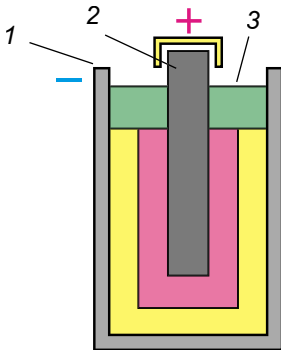
У гальванічних елементах відбуваються хімічні реакції, завдяки яким виконується робота з розподілу різноманітних зарядів, тобто хімічна енергія перетворюється в електричну.

Щоб отримати найпростіший гальванічний елемент (мал. 138), потрібно воду додати у сірчану кислоту. **Обережно! Не повторювати!** У ньому відбувається перерозподіл позитивно і негативно заряджених частинок речовини, унаслідок чого обидві пластинки електризуються, і між ними утворюється електричне поле.

Ці пластинки називають **електродами (полюсами) джерела струму**.

Гальванічний елемент складається із цинкової посудини 1, заповненої желеподібною сумішшю хімічних речовин (мал. 139). У суміш уставлено вугільний стержень 2. Зверху посудину залито шаром смоли 3.

У результаті хімічних реакцій цинкова посудина стає негативно зарядженою (негативний електрод), а вугільний стержень – позитивно зарядженим (позитивний електрод). Між електродами виникає електричне поле. Якщо позитивний і негативний електроди з'єднати провідником, то в ньому виникне електричний струм.



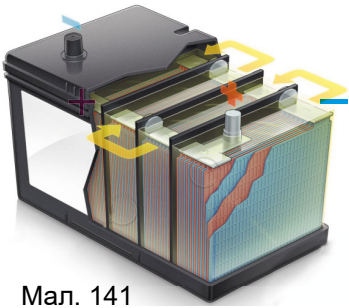
Мал. 139



Мал. 140

Кілька гальванічних елементів можна з'єднати в батарею. Якщо треба одержати більшу напругу, то використовують **послідовне з'єднання елементів**: окремі елементи приєднують один до одного різнойменними полюсами. На малюнку 140 зображено батарею з трьох елементів, у якій стержень першого елемента з'єднано із цинковою посудиною другого, а вугільний стержень другого – з посудиною третього елемента. Цинкові посудини ізольовано одну від одної. Від цинкової посудини першого елемента і вугільного стержня третього виведено дві жерстяні смужки, які є полюсами батареї: перша – негативним, друга – позитивним.

Якщо хочуть одержати джерело, яке дає більший струм, використовують **паралельне з'єднання елементів**: окремі елементи з'єднують у батарею однойменними полюсами, тобто корпус – з корпусом, а стержень – зі стержнем.



Мал. 141



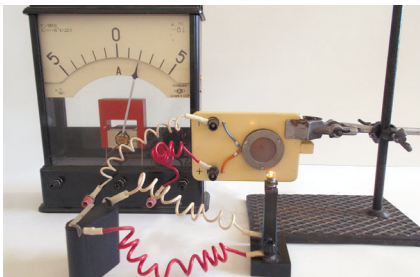
Мал. 142

Акумулятори. Акумулятор (з латин. *accumulatio* – *нагромаджую*) – це хімічне джерело, у якому електрична енергія нагромаджується внаслідок пропускання електричного струму крізь кислотний або лужний розчин.

Акумулятори бувають *кислотні* та *лужні*. Кислотний акумулятор складається з однорідних електродів (мал. 141), наприклад свинцевих пластин, уміщених у розчин сірчаної кислоти. У лужних акумуляторах електроди виготовлено з різнорідних металів, наприклад заліза і нікелю, й опущено в розчин їдкого лугу. Для того щоб акумулятор став джерелом струму, його треба «зарядити». Із цією метою через нього пропускають струм від якого-небудь іншого джерела. У процесі заряджання внаслідок перебігу хімічних реакцій один електрод стає зарядженим позитивно, а інший – негативно. Коли акумулятор зарядиться, його можна використовувати як самостійне джерело струму. Полюси акумуляторів позначають знаками «+» і «-». Під час заряджання позитивний полюс акумулятора з'єднують з позитивним полюсом джерела струму, негативний – з негативним.

Акумулятори використовують для запуску автомобільних двигунів (мал. 142), освітлення автомобілів і залізничних вагонів. Акумулятори живлять електроенергією підводні човни під час автономного плавання, мобільні телефони, смартфони тощо. Наукова апаратура та радіопередавачі на штучних супутниках Землі, космічних кораблях і станціях також живляться від установлених на них акумуляторів, які заряджаються за допомогою сонячних батарей.

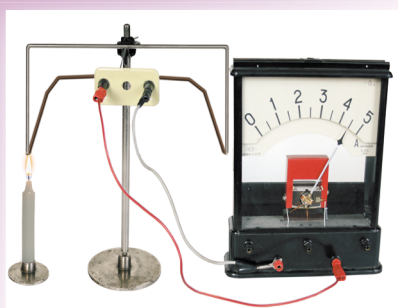
Сонячні батареї. Під дією світла, що падає на поверхню пластин з деяких речовин, наприклад селену або кремнію, у них відбувається перерозподіл позитивних і негативних електричних зарядів (мал. 143). На цьому ґрунтуються будова та дія сонячних батарей (мал. 144).



Мал. 143



Мал. 144



Мал. 145

Термоелементи. Якщо дві дротини, виготовлені з різних металів, спаяти, а місце спаявання потім нагріти, то у дротинах виникне електричний струм (мал. 145). Таке джерело струму називають **термоелементом**, або **термопарою**. У ньому внутрішня енергія нагрівника перетворюється в електричну енергію.

Електрофорна машина. Два диски з органічного скла (з розміщеними по колу металевими смужками) обертаються у протилежних напрямках. Унаслідок тертя дряпаних щіток об смужки на кондукторах (полюсах) машини накопичуються заряди протилежних знаків (мал. 114, див. с. 83). Механічна енергія обертання дисків перетворюється на електричну енергію. На теплових, атомних, вітряних і гідроелектростанціях електричний струм виробляють за допомогою різних **генераторів електричного струму** (з латин. generator – *виробник, створювач*). Про типи генераторів, їх будову та дію ви дізнаєтеся згодом.



ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

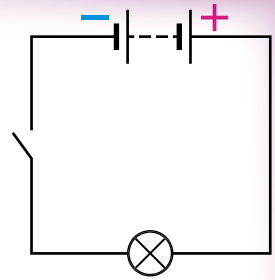
1. Що таке електричний струм?
2. Що потрібно створити у провіднику, щоб у ньому виник і протягом певного часу існував електричний струм?
3. Що називають джерелом електричного струму?
4. Які джерела електричного струму ви знаєте?
5. Хто перший створив гальванічний елемент? Яке походження цієї назви?
6. Чим відрізняється акумулятор від гальванічного елемента?
7. Яка енергія перетворюється на електричну в сонячних батареях? Термоелементах?
8. Наведіть приклади застосування різноманітних джерел електричного струму.

§ 23. ЕЛЕКТРИЧНЕ КОЛО І ЙОГО СКЛАДОВІ ЧАСТИНИ

Електрична енергія, що зосереджена у джерелах електричного струму, є дуже вигідним і зручним видом енергії, яка широко використовується у промисловості, техніці, побуті. Відомі вам електродвигуни, електричні лампи, нагрівачі, електричні плити, телевізори і комп'ютери називають **приймачами**, або **споживачами електричної енергії**.



Мал. 146



Мал. 147

Щоб доставити електричну енергію від джерела до споживача, їх з'єднують між собою **провідниками** електричного струму. Для цього використовують переважно мідний або алюмінієвий провід (дріт).




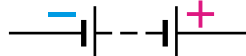





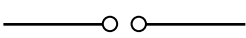



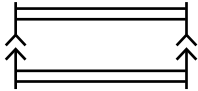

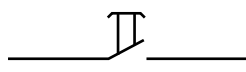
Найпростіше **електричне коло** складається з джерела струму (мал. 146), споживача електричної енергії (лампа, електродвигун), з'єднувальних провідників і пристрою для замикання та розмикання кола – вимикача. Для того щоб у колі проходив струм, воно має бути **замкненим**, тобто складатися тільки з провідників електричного струму. Якщо в будь-якому місці від'єднати провід або він обірветься, то струм у колі припиниться. На цьому ґрунтується дія вимикачів.

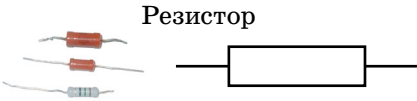
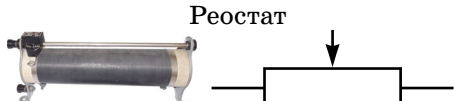
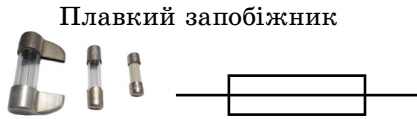
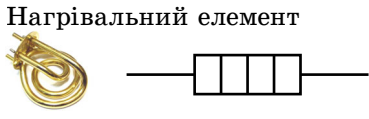
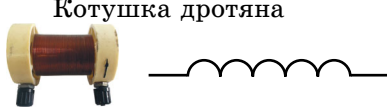

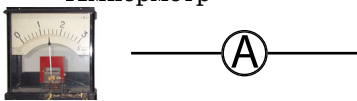
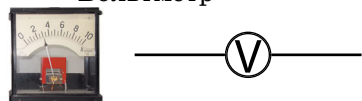
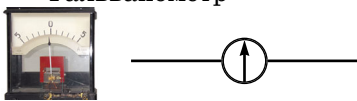
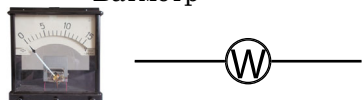
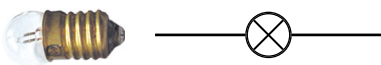
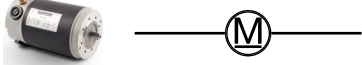


Креслення, на якому зображують різні способи з'єднання елементів електричного кола, називають **схемою електричного кола**.

На малюнку 147 зображено схему найпростішого електричного кола.

Прилади і з'єднання на схемах зображують за допомогою **умовних позначень**. Деякі з них подано в таблиці 8.

Умовні позначення елементів електричних кіл Таблиця 8

| Зображення | Умовне позначення | Зображення | Умовне позначення |
|--|---|---|--|
| Гальванічний елемент або акумулятор  |  | Батарея елементів або акумуляторів  |  |
| Перетин проводів  |  | З'єднання проводів  |  |
| Затискачі для відключення приладів  |  | Вимикач, ключ  |  |
| Штепсельне з'єднання  |  | Кнопка  |  |

| | |
|---|---|
|  <p>Резистор</p> |  <p>Реостат</p> |
|  <p>Плавкий запобіжник</p> |  <p>Нагрівальний елемент</p> |
|  <p>Котушка дротяна</p> |  <p>Електромагніт</p> |
|  <p>Амперметр</p> |  <p>Вольтметр</p> |
|  <p>Гальванометр</p> |  <p>Ватметр</p> |
|  <p>Лампа розжарювання</p> |  <p>Електродвигун постійного струму</p> |
|  <p>Електричний дзвінок</p> |  <p>Гучномовець</p> |



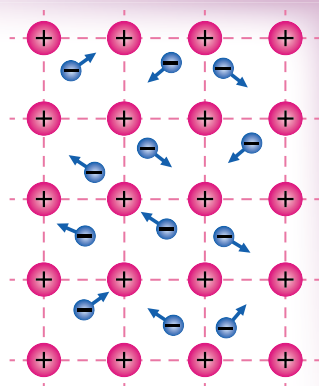
ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Що потрібно для існування електричного струму в електричному колі?
2. Назвіть відомі вам споживачі електричної енергії.
3. Які види енергії перетворюються на електричну в джерелах струму в процесі роботи з розділення заряджених частинок? Наведіть приклади.
4. Із чого складається найпростіше електричне коло?
5. Що таке схема електричного кола?
6. Накресліть можливі схеми електричних кіл, що складаються з батареї гальванічних елементів, електричної лампи, електродвигуна, електричного дзвінка і ключа.

§ 24. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ У МЕТАЛАХ

Ви вже знаєте, що електричний струм – це впорядкований рух вільних електричних зарядів під дією електричного поля джерела струму. Але нам потрібно знати: *які ці заряди? Як вони рухаються?*

Для цього розглянемо внутрішню будову металевих провідників. У будь-якому металі частина електронів покидає свої місця в атомі, у результаті чого атом перетворюється на позитивний йон. Позитивні йони в металах розміщуються у строгому порядку, утворюючи так звані кристалічні ґратки (мал. 148). Між йонами хаотично рухаються вільні електрони у вигляді електронного газу. Негативний заряд усіх вільних електронів за абсолютним значенням дорівнює позитивному заряду всіх йонів кристалічних ґраток. Тому за звичайних умов металевий провідник електрично нейтральний.



Мал. 148

То які ж електричні заряди рухаються під дією електричного поля в металевих провідниках?

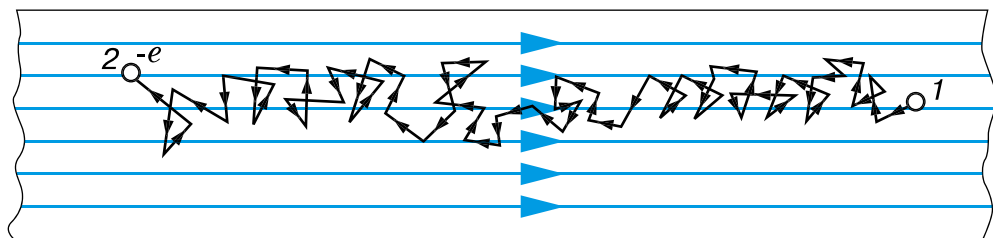
У 1899 р. німецький фізик-експериментатор **Карл Рікке** на трамвайній підстанції у Штутгарті вмикав у головний провід, яким подавалося живлення трамвайним лініям, послідовно три металеві циліндри, тісно притиснуті один до одного торцями: два крайні – мідні, а середній – алюмінієвий. Через ці циліндри понад рік проходив електричний струм. У результаті точного зважування виявилось, що дифузія в металах не відбулася: у мідних циліндрах не було атомів алюмінію, і навпаки.

Таким чином Рікке довів, що під час проходження провідником електричного струму йони не переміщуються, а в різних металах переміщуються лише електрони. Отже, електричний струм у металевих провідниках створюється впорядкованим рухом електронів.

Тепер залишається з'ясувати: *як рухаються вільні електрони?*

За відсутності у провіднику електричного поля електрони рухаються хаотично, подібно до того, як рухаються молекули газів або рідин. У будь-який момент часу швидкості руху різних електронів відрізняються значенням і напрямком. За наявності у провіднику електричного поля електрони, зберігаючи свій хаотичний рух, починають зміщуватися в напрямку позитивного полюса джерела. Разом з безладним рухом електронів виникає і їх упорядкований рух. На малюнку 149 схематично показано траєкторію руху одного електрона з точки 1 у точку 2 під дією електричного поля.

Тепер можна дійти дуже важливого висновку: **електричний струм у металах (металевих провідниках) – це впорядкований рух електронів під дією електричного поля, яке створює джерело електричного струму.**



Мал. 149

Дослідженнями, що стосуються електронної провідності металів, займався український учений **А. Е. Малиновський** (1884–1937). Він представив свою інтерпретацію взаємодії вільних електронів і позитивних йонів у металах. Зробив уточнення до теорії дослідів, які виконали в 1916 р. американський фізик **Р. Толмен** і шотландський фізик **Б. Стюарт**. Вони розкручували до великої швидкості котушку з мідного тонкого дроту навколо її осі, потім різко гальмували її і при цьому реєстрували в колі короткочасний електричний струм, зумовлений інерцією носіїв заряду, якими виявилися саме електрони.



ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Яка будова металевого провідника?
2. Поясніть, що за звичайних умов будь-який шматок металу є електрично нейтральним.
3. Як довести, що електричний струм у металах виникає внаслідок руху електронів, а не руху йонів? Опишіть відповідний дослід.
4. Як рухаються електрони у провіднику за відсутності в ньому електричного поля і за наявності його?
5. Поясніть природу електричного струму в металах.

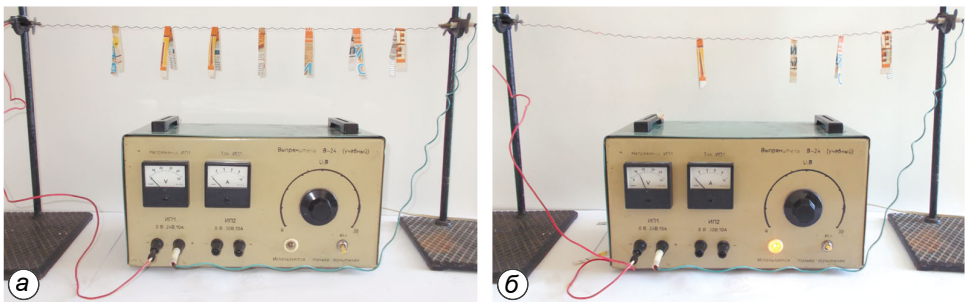
§ 25. ДІЇ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ. НАПРЯМОК ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ

Рух електрично заряджених частинок у речовині провідників людське око не здатне спостерігати. Однак напрямлений рух заряджених частинок спричиняє цілу низку явищ, за якими можна визначити наявність електричного струму в колі.

Дослід 1. Приєднаємо до полюсів джерела струму нікелінову або ніхромову дротину (мал. 150). У результаті дослідів побачимо, як дротина нагрівається, розжарюється до червоного світіння і провисає. Спостерігаємо **теплову дію** струму.

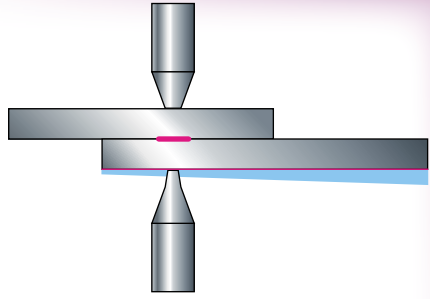
Під дією електричного струму в електричних лампах вольфрамова дротинка розжарюється до яскравого світіння, нагріваються спіралі електропрасок та електроплит.

Теплова дія струму широко використовується під час контактного зварювання металів (мал. 151). Крізь деталі, що зварюють, пропускають великий струм. У результаті в місцях контактів деталі сильно нагріваються й зварюються.



Мал. 150

Дослід 2. На залізний цвях або стержень намотаємо кілька десятків витків ізольованого мідного проводу. Звільнивши кінці проводу від ізоляції, приєднаємо їх до джерела струму. Побачимо, що цвях набуде властивості притягувати до себе дрібні залізні предмети: ошурки, цвяхи, скріпки тощо (мал. 152), тобто він став магнітом. У цьому досліді виявляється **магнітна дія** електричного струму.



Мал. 151



Мал. 152



Мал. 153

Дослід 3. За малюнком 153 складемо електричне коло. Якщо в посудині буде чиста (дистильована) вода, то електрична лампа не світлитиметься. Якщо у воду додати трохи кристалів мідного купоросу, то лампа одразу ж засвітиться. Отже, крізь розчин мідного купоросу проходить електричний струм. Якщо через певний час витягнемо з посудини негативно заряджений електрод, то побачимо, що на ньому виділилася чиста мідь, тобто завдяки електричному струму відбулися хімічні перетворення речовин.

Хімічну дію струму використовують для добування чистих металів.

Світлову дію струму ви можете спостерігати, дивлячись на світіння ламп денного світла (мал. 154). Під дією електричного поля газу, що містяться в лампі, починають світитися. У природі світлова дія електричного струму виявляється під час електричного розряду – блискавки (мал. 155).



Мал. 154



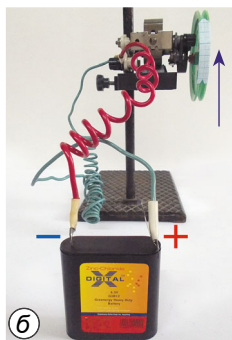
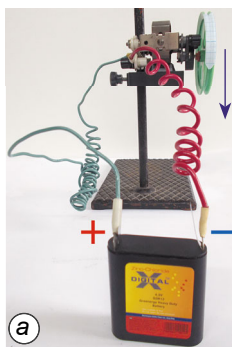
Мал. 155

Який напрямок має електричний струм? Ще раз пригадаємо, що електричний струм – це впорядкований рух заряджених частинок. Рух яких саме заряджених частинок в електричному полі потрібно було б прийняти за напрямок струму?

На практиці ми здебільшого маємо справу з електричним струмом у металевих провідниках, тому за напрямком струму в колі доцільно було б узяти напрямок руху електронів в електричному полі, тобто вважати, що струм напрямлений від негативного полюса джерела до позитивного.

Але питання про напрямок струму виникло в науці тоді, коли про електрони та йони ще нічого не було відомо. Тоді вважали, що в усіх провідниках можуть переміщуватись і позитивні, і негативні заряди.

За напрямком електричного струму умовно обрали той напрямок, у якому рухаються (або могли б рухатися) у провіднику позитивні заряди, тобто напрямок від позитивного полюса джерела струму до негативного.



Мал. 156

Переконаємося в тому, що від напрямку струму залежить його механічна дія.

Дослід 4. Приєднаємо до батареї гальванічних елементів електродвигун зі стрілкою на його шківі. Вал двигуна обертатиметься в певному напрямку (мал. 156, а). А якщо поміняти полюси батареї гальванічних елементів, то вал двигуна обертатиметься у протилежному напрямку (мал. 156, б). Принцип роботи електродвигуна є прикладом механічної дії електричного струму, яка полягає в тому, що рамка із дроту, вміщена в магнітне поле, повертається в певному напрямку, якщо через неї проходить струм. Напрямок повороту при цьому залежить від напрямку струму, що ми і бачимо на досліді. Згодом детальніше вивчатимемо дію магнітного поля на провідник зі струмом.

Напрямок струму враховують в усіх правилах і законах електричного струму.



ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Де на практиці можна спостерігати механічну, теплову, хімічну, магнітну і світлову дії електричного струму?
2. Носіями струму в металі є електрони. Чому за напрямком струму прийнято напрямок руху позитивних зарядів?
3. Як можна переконатися, що від напрямку електричного струму залежить його механічна дія?



РОЗВ'ЯЗУЄМО РАЗОМ

1. Якщо між паралельними металевими пластинами, приєднаними до кондукторів електрофорної машини, що працює, розмістити легенькі пір'їнки, то вони почнуть інтенсивно рухатися від однієї пласт-

тини до іншої. Яке фізичне явище буде змодельоване цим дослідом?

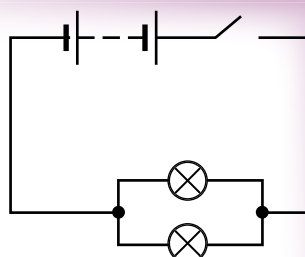
Відповідь: електричний струм; пір'їнки здійснюють упорядкований рух частинок в електричному полі.

2. Чи діятиме елемент Вольта, якщо його обидва електроди зробити цинковими або мідними?

Відповідь: не діятиме, не буде різниці в зарядах електродів.

3. Накресліть схему електричного кола, що складається з батареї акумуляторів, двох паралельно з'єднаних ламп, вимикача, з'єднувальних провідників.

Відповідь: схему електричного кола показано на малюнку 157.



Мал. 157



ЗАДАЧІ ТА ВПРАВИ

Рівень А

184. Чи може проходити електричний струм у колі, у якому немає вимикача?

185. На малюнку 158 показано різні джерела струму. Як називають кожне із цих джерел? Де їх використовують?

186. Розгляньте кишеньковий ліхтарик. Накресліть схему його електричного кола.

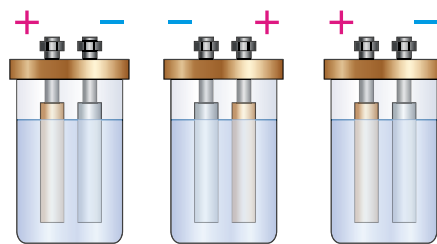
187. Електричне коло складається з електродвигуна і лампи. Джерелом струму в ньому слугує батарея акумуляторів. Накресліть схему цього кола.

188. У якому джерелі струму на електричну енергію перетворюється: а) хімічна; б) теплова; в) світлова енергія?

189. Як треба з'єднати проводами полюси джерел струму, зображені на малюнку 159, щоб скласти з них батарею для яскравішого світіння лампи?



Мал. 158

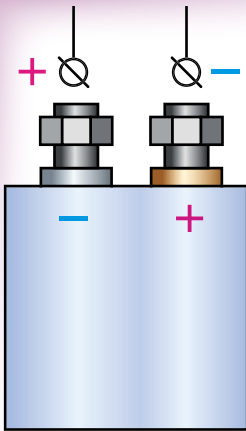


Мал. 159

190. У якому напрямку рухатиметься в електричному полі між двома протилежно зарядженими паралельними пластинами: електрон, позитивний йон, негативний йон?

Рівень Б

191. Електричне поле поширюється у вакуумі зі швидкістю 300 000 км/с. За який час воно пошириться на відстань, що дорівнює



Мал. 160

земному екватору (середній радіус Землі $R_3 = 6,4 \cdot 10^6$ м), та на відстань від Землі до Сонця ($R_{3c} = 1,5 \cdot 10^{11}$ м)?

192. На яку відстань переміститься електрон від джерела струму за 1 год, якщо швидкість його руху проти напрямку електричного поля у провіднику дорівнює $0,006$ см/с?

193. Складіть з вимикача, електричної лампи, мікроелектродвигуна, з'єднувальних проводів електричне коло. Накресліть схему кола.

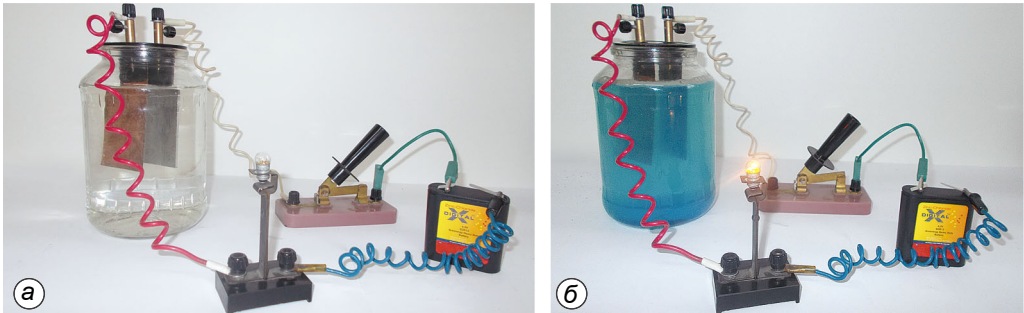
194. Потрібно зарядити акумулятор від джерела струму. На малюнку 160 покажіть, який з проводів, що йдуть від клем акумулятора, треба приєднати до позитивного полюса джерела струму, а який – до негативного.

195. Чому акумулятори називають іноді вторинними елементами?

196. Електричне коло складається з гальванічного елемента, електричної лампи, вимикача, з'єднувальних провідників. Яка дія струму свідчить про те, що коло замкнуте? Намалуйте схему електричного кола.

197. Укажіть, яка дія струму використовується в кожному з перелічених випадків: а) приготування їжі на електроплиті; б) освітлення кімнати лампою денного світла; в) хромування та нікелювання деталей; г) нагрівання води електричним кип'ятильником; д) піднімання деталей за допомогою електромагніту.

198. У якій з посудин (мал. 161, а, б) міститься дистильована вода (вода, звільнена від домішок)?



Мал. 161

199. Відкриття французького фізика Франсуа Араго (1820 р.) полягало в наступному: якщо тонкий мідний провід, з'єднаний з джерелом струму, занурити у сталеві ошурки, то вони прилипають до нього. Як пояснити це явище?

200. Чи має значення для теплової дії електричного струму його напрямок?

201. Накресліть схеми заряджання і розряджання акумулятора, укажіть для обох випадків напрямок електричного струму всередині і зовні акумулятора.

§ 26. СИЛА СТРУМУ. АМПЕРМЕТР

Досліди показали: що більше електричних зарядів проходить через провідник за певний час, то більше проявляється дії електричного струму – теплова, хімічна, магнітна, механічна та світлова. Що більше заряджених частинок переміщується від одного полюса джерела струму до іншого, то більший загальний заряд переноситься частинками.

Електричний заряд, що проходить через поперечний переріз (це уявний поперечний розріз) провідника за одиницю часу, визначає силу струму в колі.

Сила струму – це фізична величина, яка характеризує електричний струм і визначається відношенням електричного заряду, що пройшов через поперечний переріз провідника, до часу його проходження.

Силу струму позначають великою латинською літерою I і визначають за формулою:

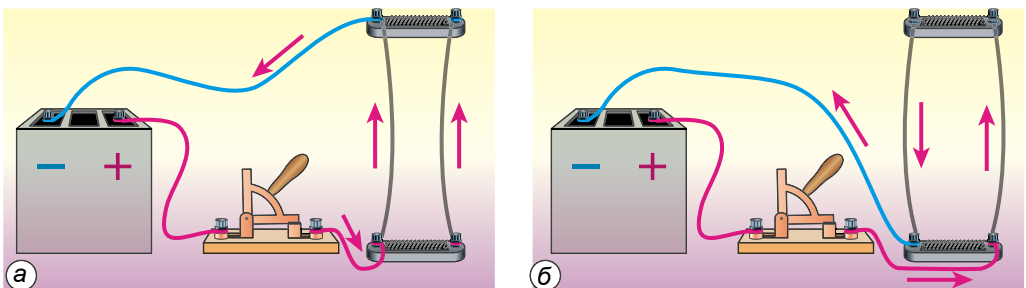
$$I = \frac{q}{t},$$

де q – електричний заряд, що пройшов через провідник за час t .

За одиницю сили струму прийнято **один ампер (1 А)**. Цю одиницю названо на честь французького фізика **Андре-Марі Ампера**. На Міжнародній конференції з мір та ваг у 1948 р. було вирішено за основу визначення одиниці сили струму брати явище взаємодії двох провідників зі струмом.

Дослід 1. Візьмемо два гнучкі прямі провідники, розмістимо їх паралельно один одному та приєднаємо до джерела струму. Під час замикання кола у провідниках проходить електричний струм, унаслідок чого вони взаємодіють між собою – притягуються, якщо напрямок струму в них однаковий (мал. 162, а), або відштовхуються, якщо напрямок протилежний (мал. 162, б).

Цей дослід уперше виконав Ампер. Він виміряв силу взаємодії провідників зі струмом. Виявилось, що ця сила залежить від довжини провідників, відстані між ними, середовища, у якому вони розміщені, та від сили струму в провідниках. Ампер визначив, що два дуже тонкі і довгі паралельні провідники завдовжки 1 м у безповітряному просторі (вакуумі), відстань між якими дорівнює 1 м, сила струму в кожному з них однакова, взаємодіють між собою із силою **0,0000002 Н**.



Мал. 162

Один ампер (1 А) – сила струму, який, проходячи у двох паралельних прямолінійних нескінченної довжини тонких провідниках, що розміщені у вакуумі на відстані 1 м один від одного, спричиняє на кожній ділянці провідника завдовжки 1 м силу взаємодії $2 \cdot 10^{-7}$ Н.

Застосовують також частинні та кратні одиниці сили струму: міліампер (мА), мікроампер (мкА), кілоампер (кА):

$$1 \text{ мА} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ А}; \quad 1 \text{ мкА} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ А}; \quad 1 \text{ кА} = 1 \cdot 10^3 \text{ А}.$$

Через одиницю сили струму 1 А визначають одиницю електричного заряду. Оскільки $I = \frac{q}{t}$, то $q = It$. Поклавши, що $I = 1$ А, $t = 1$ с, отримаємо одиницю електричного заряду – один кулон (1 Кл).

$$1 \text{ кулон} = 1 \text{ ампер} \cdot 1 \text{ секунда, або } 1 \text{ Кл} = 1 \text{ А} \cdot 1 \text{ с} = 1 \text{ А} \cdot \text{с}.$$

З означення сили струму випливає, що при силі струму 1 А через поперечний переріз провідника щосекунди проходить електричний заряд 1 Кл, тобто $1 \text{ А} = 1 \text{ Кл}/1 \text{ с}$.

Знаючи заряд електрона, неважко визначити, що при силі струму 1 А через поперечний переріз провідника проходить $6,25 \cdot 10^{18}$ електронів щосекунди.

Діапазон (межі) значень сили струму, з якими доводиться зустрічатися у фізиці, невеликий порівняно з іншими величинами і становить від 10^{-6} (0,000001) до 10^5 (100 000) А.

В електричних лампах, нагрівальних приладах, де використовується теплова дія струму, сила струму досягає кількох амперів. Під час електрозварювання, коли потрібно розігріти метали до високої температури, сила струму набуває значення кількох тисяч амперів. Ще більша сила струму (у сотні тисяч амперів) виникає під час блискавки, від чого повітря розігрівається до температури 20 000 °С; за дуже короткий час (до 10^{-4} с) його тиск підвищується до 300 атм ($3,03 \cdot 10^7$ Па), що відповідає інтенсивному акустичному удару – ми чуємо грім.

Хімічна дія струму використовується під час заряджання акумуляторів, хромування та нікелювання деталей і виробів, електрохімічного добування металів. Сила струму під час цих процесів становить від кількох амперів (заряджання акумуляторів) до сотень і навіть тисяч амперів (добування чистих металів).

Магнітна дія струму використовується в електромагнітах, двигунах тощо. Для роботи потужних двигунів сила струму має становити сотні амперів.

У таблиці 9 наведено значення сили струму в деяких технічних пристроях і приладах.

Сила струму в різних технічних пристроях і приладах *Таблиця 9*

| Пристрій | Сила струму, А |
|-------------------------|----------------|
| Електронний мікроскоп | 0,00001 |
| Рентгенівська установка | 0,02–0,1 |
| Електробритва | 0,08 |

Продовження таблиці 9

| Пристрій | Сила струму, А |
|-----------------------------------|----------------|
| Електричний ліхтарик | 0,3 |
| Велосипедний генератор | 0,3 |
| Електрична лампа | 0,3–0,4 |
| Пилосос | 1,9–4,2 |
| Електроплита | 3–4 |
| Генератор автомобіля | 17–30 |
| Двигун тролейбуса | 160–220 |
| Двигун електровоза | 350 |
| Апарат для контактного зварювання | 10 000 |

Для вимірювання сили струму в колі використовують прилад – **амперметр** (мал. 163). Шкала амперметра на малюнку 163, а проградуєвана в амперах (А), а на малюнку 163, б – у мікроамперах (укр. позначення – мкА, міжнар. μA). На шкалах відповідно написано літери А і μA . На схемах амперметр зображають літерою А в колі (мал. 164).

Будь-який вимірювальний прилад під час вмикання в коло не повинен впливати на значення вимірюваної величини. Тому амперметр побудовано так, що при вмиканні його в коло сила струму в колі майже не змінюється. Амперметр конструюють так, щоб його електричний опір був якомога менший (про електричний опір дізнаєтеся трохи згодом).

Щоб виміряти силу струму в колі, **амперметр вмикають у коло послідовно** за тим приладом, силу струму в якому вимірюють. Для цього треба «розірвати» коло, тобто від'єднати від приладу один з провідників, приєднаних до нього, і у проміжок, що утвориться, ввімкнути амперметр за допомогою двох клем або затискачів, розташованих на його корпусі. Біля однієї з клем амперметра стоїть знак «плюс»



Мал. 163



Мал. 164



Мал. 165



Мал. 166

(«+»), біля другої – «мінус» (іноді «-» не вказують). Клему зі знаком «+» треба обов'язково з'єднувати з проводом, що відходить від позитивного полюса джерела струму.

Оскільки за законом збереження електричного заряду кількість зарядів, що надходить у коло з одного з полюсів джерела струму, дорівнює кількості зарядів, що повертаються на другий полюс джерела, то сила струму однакова в різних ділянках кола з послідовно з'єднаних приладів. Тому, щоб виміряти силу струму в такому колі, амперметр можна вмикати в будь-якому місці, його покази будуть завжди однакові.

Дослід 2. Складемо електричне коло (мал. 165) і виміряємо силу струму в спіралі лампи кишенькового ліхтарика. Сила струму дорівнює 0,2 А.

У техніці використовують різноманітні амперметри. За їхніми шкалами або іншими позначеннями видно, на яку найбільшу силу струму вони розраховані. Перевищувати цю силу струму не можна, бо прилад може зіпсуватися. На практиці також використовують амперметри із цифровими індикаторами. Наприклад, на малюнку 166 показано, що виміряна таким амперметром сила струму в колі дорівнює 197,1 мА.

Сучасними амперметрами можна вимірювати струми до 10^5 А.



ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Що таке сила струму?
2. Поясніть, чому термін «сила струму» в принципі не можна вважати вдалим.
3. Яке явище використовується для визначення одиниці сили струму?
4. Що прийнято за одиницю сили струму? Як називають цю одиницю?
5. Яким приладом вимірюють силу струму?
6. У яких одиницях градуують шкалу амперметра?
7. Як вмикають амперметр в електричне коло?

§ 27. ЕЛЕКТРИЧНА НАПРУГА. ВОЛЬТМЕТР

Під дією електричного поля, яке створюється джерелом струму, заряджені частинки рухаються по провіднику. При цьому виконується робота: розжарюється спіраль електролампи, нагрівається елек-

троплитка, працює електричний двигун тощо. Це свідчить про те, що головну роль у проходженні електричного струму в провідниках відіграє електричне поле. Для характеристики електричного поля вводять фізичну величину, яку називають **електричною напругою**, або **напругою**.

Напруга – це фізична величина, що визначається відношенням роботи електричного поля на певній ділянці кола до електричного заряду, що пройшов по цій ділянці. Вона характеризує електричне поле, яке створює струм.

Напругу позначають великою латинською літерою U і визначають її за формулою:

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

де A – робота, виконана електричним полем під час проходження струму; q – значення електричного заряду, перенесеного струмом.

Одиницею напруги є **один вольт (1 В)**. Вона названа на честь італійського вченого Алессандро Вольты, який створив перший гальванічний елемент.

Один вольт (1 В) – це така напруга на кінцях провідника, при якій робота щодо переміщення електричного заряду один кулон (1 Кл) по цьому провіднику дорівнює одному джоулю (1 Дж).

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

Застосовують також частинні та кратні одиниці напруги: мілівольт (мВ) і кіловольт (кВ).

$$1 \text{ мВ} = 0,001 \text{ В}; \quad 1 \text{ кВ} = 1000 \text{ В}.$$

Електричні прилади працюють при різній напрузі. Так, під час контактного зварювання напруга становить 0,1 В, побутові прилади працюють при напрузі 220 В, потужні двигуни – при напрузі 380 В, а двигуни електровоза – при напрузі 1500 В.

Різні джерела струму характеризуються робочою напругою. У гальванічному елементі й акумуляторі (хімічних джерелах струму) значення напруги невелике. Якщо в гальванічному елементі мідний і залізний електроди, то напруга 0,78 В, мідний і цинковий – 1,1 В, срібний і цинковий – 1,56 В. Середня напруга свинцевого кислотного акумулятора становить 2 В, а залізнікелевого лужного – 1,25 В.

Термоелементи (термопари) та фотоелементи (сонячна батарея) створюють ще менші напруги. Наприклад, термоелемент із графіту та карбіду титану при нагріванні спаю до 1000 °С створює напругу 52 мВ (0,052 В). Сонячна кремнієва батарея площею 160 см² при освітленні сонячними променями дає 2 В. Щоб отримати більші напруги, гальванічні елементи, акумулятори, термо- і фотоелементи з'єднують у батареї.

У таблиці 10 наведено значення напруги в деяких технічних пристроях і приладах.

Напруга в різних технічних пристроях і приладах

Таблиця 10

| Пристрій, прилад | Напруга, В |
|-----------------------------------|----------------|
| Електронний мікроскоп | 130 000 |
| Рентгенівська установка | 70 000–200 000 |
| Електробритва | 220 |
| Електричний ліхтарик | 4,5 |
| Велосипедний генератор | 7,2 |
| Електрична лампа | 220 |
| Пилосос | 220 |
| Електроплита | 220 |
| Генератор автомобіля | 12 |
| Двигун тролейбуса | 550 |
| Двигун електровоза | 1500 |
| Апарат для контактного зварювання | 0,1 |

Для вимірювання напруги в електричних колах використовують прилад – **вольтметр** (мал. 167, *а* – для шкільних дослідів, *б* – для лабораторних робіт). Щоб відрізнити вольтметри від амперметрів або інших електричних вимірювальних приладів, на їх шкалах ставлять літеру **V**. На схемах вольтметр зображають літерою **V** у колі (мал. 167, *в*).



Мал. 167

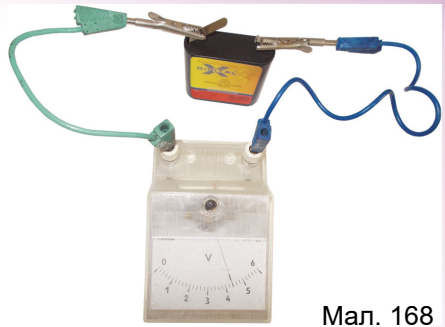
Як і в амперметра, біля одного затискача вольтметра ставлять знак «+». Цей затискач потрібно обов'язково з'єднати з проводом, що йде від позитивного полюса джерела струму. Інакше стрілка приладу відхилитиметься у зворотний бік, і він може зіпсуватися, тобто слід враховувати напрямок електричного струму.

Вольтметр умикають інакше, ніж амперметр.

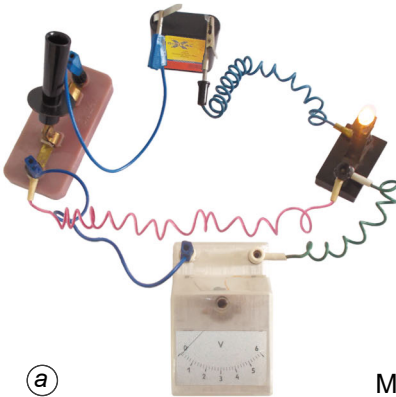
Дослід 2. Вимірємо напругу, яку дає батарея гальванічних елементів (мал. 168). Напруга на полюсах батареї гальванічних елементів становить 4,4 В.

Зауваження: у жодному разі так не можна вмикати амперметр, тому що він вийде з ладу!

Приєднаємо тепер вольтметр до одного із затискачів вимикача та лампи. Вольтметр нічого не показуватиме (мал. 169, а). А якщо приєднати вольтметр до обох затискачів лампи, то він покаже, яка напруга подається на лампу (мал. 169, б). Ця напруга дорівнює 4 В.

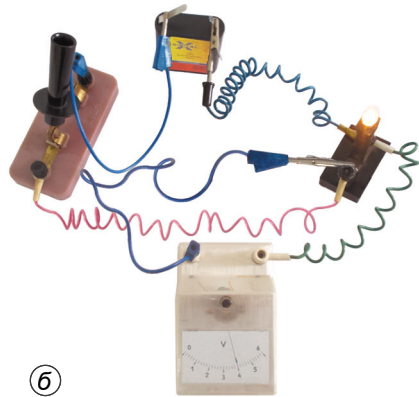


Мал. 168



а

Мал. 169



б

Вольтметр слід приєднувати паралельно до ділянки кола, на якій потрібно виміряти напругу, тобто затискачі вольтметра треба приєднати до тих точок кола, між якими слід виміряти напругу. При цьому через вольтметр проходить певний струм з кола, що спричиняє зміну значення напруги в точках приєднання. Щоб ця зміна була якомога меншою, потрібно, щоб електричний опір вольтметра був якомога більший (про електричний опір дізнаєтеся трохи згодом).

На практиці використовують також вольтметри із цифровими індикаторами. Вимірявши напругу в електромережі, бачимо, що вона дорівнює 209 В (мал. 170).

Сучасними вольтметрами можна вимірювати напругу до 10^6 В.



Мал. 170

**ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...**

У деяких риб є органи, які виробляють електричний струм. Наприклад, електричний сом дає розряди напругою до 360 В, електричний скат – до 220 В, електричний вугор – до 650 В, сила струму при цьому може доходити до 2 А.

**ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО**

1. Що таке електрична напруга?
2. Як можна визначити напругу, знаючи роботу струму й електричний заряд?
3. Що прийнято за одиницю напруги? Як називають цю одиницю?
4. Яким приладом вимірюють напругу?
5. У яких одиницях градуують шкалу вольтметра?
6. Поясніть, як вмикають вольтметр в електричне коло.
7. Чому вольтметр вмикають паралельно до ділянки кола?

§ 28. ЕЛЕКТРИЧНИЙ ОПІР ПРОВІДНИКІВ. ОДИНИЦІ ОПОРУ

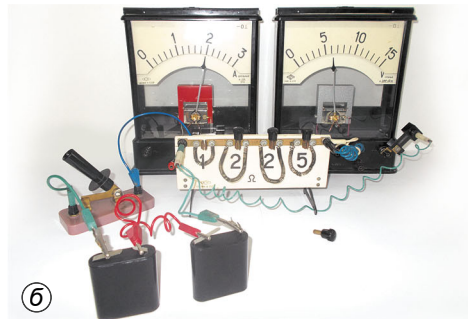
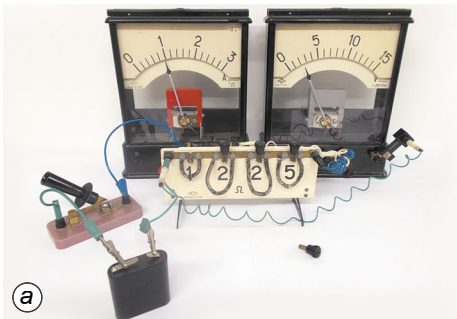
Ви вже знаєте, що електричний струм у колі – це впорядкований рух заряджених частинок в електричному полі. Що сильніша дія електричного поля на заряджені частинки, які в ньому рухаються, то більша сила струму в колі.

Водночас дія електричного поля характеризується напругою. Отже, постає запитання: *чи залежить сила струму в провіднику від напруги на його кінцях?*

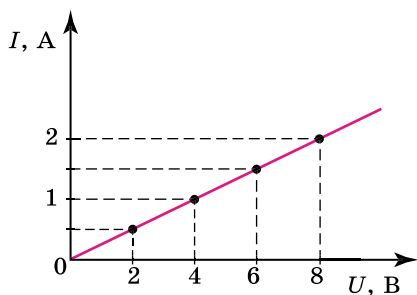
Дослід 1. Складемо електричне коло, використовуючи гальванічний елемент, амперметр, спіраль від магазину опорів, до якої паралельно приєднано вольтметр, і ключ (мал. 171).

Замкнемо коло і зафіксуємо покази приладів (мал. 171, а). Потім до гальванічного елемента послідовно приєднаємо такий самий гальванічний елемент і знову замкнемо коло. Ми побачимо, що напруга на спіралі при цьому збільшилася вдвічі, й амперметр показує вдвічі більшу силу струму (мал. 171, б).

Якщо з'єднати послідовно три елементи, то напруга на спіралі збільшиться втричі, у стільки само разів збільшиться і сила струму в електричному колі.



Мал. 171



Мал. 172



Мал. 173

Графічно це можна зобразити так (мал. 172). На горизонтальній осі у вибраному масштабі відкладемо значення напруги, а на вертикальній – відповідні їм значення сили струму. Нанесемо точки на площину й отримаємо графік лінійної залежності: що більша напруга прикладена до ділянки кола, то більший струм у колі.

Отже, сила струму в провіднику прямо пропорційна напрузі на кінцях провідника.

Дослід 2. Складемо електричне коло (мал. 173). Під час його замикання амперметр покаже певне значення сили струму. Вимкнувши ключ, приєднаємо до лампи нікеліновий дріт завдовжки 1–2 м.

Знову замкнемо коло і побачимо, що сила струму в колі зменшилася. Якщо замість нікелінового дроту ввімкнути в коло такий самий за розмірами ніхромовий дріт, то амперметр покаже ще меншу силу струму. Якщо ввімкнути мідну дrottину таких самих розмірів, то сила струму в колі збільшиться.

Якщо під час замикання кола щоразу приєднувати до кінців цих провідників вольтметр, то він показуватиме однакову напругу.

Отже, сила струму в колі залежить не тільки від напруги, а й від властивостей провідників, увімкнених у коло.

Залежність сили струму від властивостей провідника пояснюється тим, що напрямленому руху вільних електронів у металевому провіднику протидіють їхні хаотичні зіткнення з йонами кристалічних ґраток, що перебувають у стані теплового руху (теплових коливань). Ця протидія призводить до зменшення швидкості напрямленого руху заряджених частинок, тобто до зменшення сили струму в колі.

Величину, яка характеризує властивість провідника протидіяти напрямленому переміщенню вільних зарядів усередині нього, називають електричним опором провідника.

Провідники, що мають однакові геометричні розміри (довжину і площу поперечного перерізу), але виготовлені з різних металів,

мають різні значення електричного опору, що пояснюється відмінностями в будові їхніх кристалічних ґраток.

Електричний опір позначають великою латинською літерою **R**. Одиницею електричного опору в СІ є **один ом (1 Ом)**, її названо так на честь німецького фізика **Георга Ома** за вагомий внесок у дослідження законів проходження струму в колах.

Електричний опір один ом (1 Ом) має такий провідник, у якому проходить струм силою один ампер (1 А) при напрузі один вольт (1 В) на його кінцях.

На практиці застосовують ще такі одиниці опору: міліом (мОм), кілоом (кОм), мегаом (МОм).

$$1 \text{ мОм} = 1 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}; \quad 1 \text{ кОм} = 1 \cdot 10^3 \text{ Ом}; \quad 1 \text{ МОм} = 1 \cdot 10^6 \text{ Ом}.$$

Схеми електричних і електронних приладів складаються із сукупності електричних кіл, сила струму і напруга в яких залежать від значень електричного опору спеціальних деталей – **резисторів** різних конструкцій. Значення опору резисторів становить від десятих часток ома до десяти тисяч мегаомів.

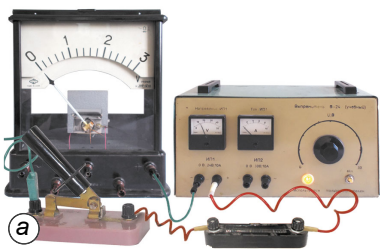


ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Як залежить сила струму в провіднику від напруги на кінцях провідника?
2. Опишіть досліди, які показують, що сила струму в електричному колі залежить від властивостей провідника.
3. Який опір прийнято за одиницю опору провідника?
4. Що є причиною електричного опору провідника?
5. Яку властивість провідника характеризує його електричний опір?

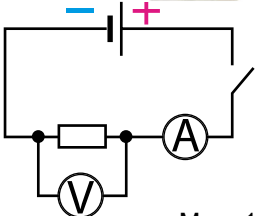
§ 29. ЗАКОН ОМА ДЛЯ ОДНОРІДНОЇ ДІЛЯНКИ ЕЛЕКТРИЧНОГО КОЛА

Явища, що відбуваються в електричних колах, характеризуються фізичними величинами: **силою струму, напругою та опором**, які певним чином пов'язані між собою. Ви вже знаєте, що сила струму в провіднику прямо пропорційна напрузі на його кінцях.



Уперше явища в електричних колах докладно вивчив Георг Ом. У 1826 р. йому вдалося експериментально встановити залежність між силою струму, напругою та опором в електричних колах. Ця залежність виявилася дуже важливою й отримала назву закону Ома. Щоб зрозуміти його фізичний зміст, виконаємо досліди.

Дослід 1. Використовуючи джерело струму, амперметр, спіраль з нікелінового дроту (резистор), вольтметр, ключ і з'єднувальні провідники, складемо електричне коло (мал. 174, а). На малюнку 174, б наведено

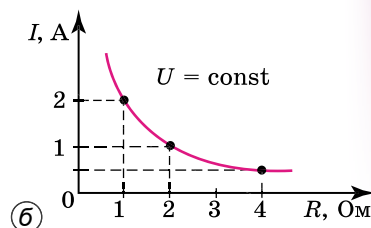
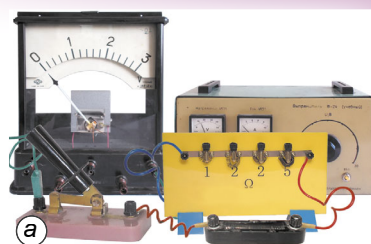


Мал. 174

схему цього кола. Амперметр, увімкнтий в коло **послідовно**, показуватиме силу струму, що проходить у спіралі. Вольтметр, приєднаний до спіралі **паралельно**, показуватиме напругу на її кінцях. Опір спіралі не змінюватиметься.

Замкнемо ключ та знімемо покази вольтметра й амперметра. Вони становитимуть: $U = 4$ В; $I = 1$ А. Якщо збільшимо напругу вдвічі, тобто $U = 8$ В, то амперметр покаже силу струму вдвічі більшу, тобто $I = 2$ А. У ході досліду доходимо такого висновку:

при сталому опорі провідника сила струму, що проходить у ньому, прямо пропорційна напрузі на його кінцях.



Мал. 175

Дослід 2. Складемо таке саме електричне коло, як у попередньому досліді, тільки замість однієї ніхромової дротини вмикатимемо по черзі дротини, що мають відповідно опір 1 Ом, 2 Ом, 4 Ом (мал. 175, а).

Напруга на кінцях кожного провідника під час досліду буде сталою, контролюватимемо її значення весь час за показами вольтметра. Силу струму в колі вимірюватимемо амперметром.

Результати проведених дослідів виявляться такими: напруга на кінцях провідників становила 2 В; коли вмикали провідник опором 1 Ом, сила струму в колі становила 2 А, 2 Ом – 1 А, 4 Ом – 0,5 А. Відклавши ці значення на осях координат, побудуємо графік (мал. 175, б). Бачимо, що це *гіпербола*, тобто: що більший опір провідника, то менший струм у ньому проходить.

Отже, доходимо висновку, що

при сталій напрузі сила струму в провіднику обернено пропорційна його опору.

Поеднавши результати обох дослідів, запишемо формулу залежності сили струму в провіднику I від напруги на кінцях провідника U і його опору R :

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

Ця формула й виражає **закон Ома**.

Сила струму в однорідній ділянці електричного кола прямо пропорційна напрузі на цій ділянці й обернено пропорційна опору цієї ділянки.

На законі Ома ґрунтується експериментальний спосіб визначення опору провідника. Із закону Ома випливає, що

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

Отже, для визначення опору провідника потрібно виміряти на ньому напругу, потім – силу струму в ньому, після чого значення напруги поділити на значення сили струму.

Із цієї формули також видно, що одиниця електричного опору дорівнює відношенню одиниці напруги до одиниці струму, тобто

$$1 \text{ Ом} = 1 \text{ В} / 1 \text{ А} = 1 \text{ В} / \text{А}.$$

Якщо відомі опір і сила струму на ділянці кола, то закон Ома дає змогу розрахувати напругу на його кінцях:

$$U = IR.$$

Щоб визначити напругу на кінцях ділянки кола, потрібно силу струму в цій ділянці помножити на її опір.



ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...

Георг Ом після виходу книжки «Теоретичні дослідження електричних кіл», у якій він виклав свій закон, написав, що «рекомендує її добрим людям з теплим почуттям батька, не осліпленого мавпячою любов'ю до дітей, але який вдовольняється вказівкою на відкритий погляд, з яким його дитина дивиться на злий світ». Світ насправді виявився до нього злим, і вже через рік після виходу його праці в одному з журналів була опублікована стаття, у якій роботи Ома було піддано нищівній критиці. «Той, хто побожними очима дивиться на все-світ, – говорилося в статті, – повинен відвернутися від цієї книжки, що є плодом непоправних оман, які переслідують єдину мету – применшити велич природи».

Злісні й безпідставні нападки на Ома не пройшли безслідно. Теорію Ома не прийняли. І замість продовження наукових досліджень він повинен був затрачати час і енергію на полеміку зі своїми опонентами. В одному зі своїх листів Ом написав: «Народження “Електричних кіл” принесло мені невимовні страждання, і я готовий проклясти час їхнього зародження».

Але це були тимчасові труднощі. Поступово теорія Ома здобула повного визнання у світі науки. Закон Ома вніс таку ясність у правила розрахунку струмів і напруг в електричних колах, що американський учений Дж. Генрі, довідавшись про відкриття Ома, не стримався від вигуку: «Коли я перший раз прочитав теорію Ома, то вона мені здалася блискавкою, що раптом освітила кімнату, занурену в морок».



ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Як зміниться сила струму на ділянці кола, якщо при незмінному опорі збільшити напругу на її кінцях?
2. Як зміниться сила струму, якщо при незмінній напрузі збільшити опір ділянки кола?
3. Сформулюйте закон Ома.
4. Як за допомогою вольтметра й амперметра можна виміряти опір провідника?
5. За якою формулою визначається напруга, якщо відомі сила струму й опір даної ділянки?
6. Поясніть, чому формула для розрахунку опору провідника, отримана із закону Ома, не має фізичного змісту.



РОЗВ'ЯЗУЄМО РАЗОМ

1. Сила струму в колі електричної лампи дорівнює 0,3 А. Скільки електронів пройде крізь поперечний переріз спіралі за 5 хв?

Дано:

$$I = 0,3 \text{ А}$$

$$t = 5 \text{ хв} = 300 \text{ с}$$

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$N - ?$$

Розв'язання

Заряд, що пройшов крізь поперечний переріз провідника за час проходження струму, визначимо за формулою:

$$q = It.$$

Поділивши це значення на елементарний заряд, визначимо кількість електронів, що пройшли крізь поперечний переріз провідника:

$$N = \frac{It}{e}.$$

Підставивши значення відомих величин, отримаємо:

$$N = 0,3 \text{ А} \cdot 300 \text{ с} / 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл} = 5,6 \cdot 10^{20} \text{ електронів.}$$

Відповідь: крізь поперечний переріз спіралі пройде $5,6 \cdot 10^{20}$ електронів.

2. Який опір має вольтметр, розрахований на 150 В, якщо сила струму в ньому не повинна перевищувати 0,01 А?

Дано:

$$U = 150 \text{ В}$$

$$I = 0,01 \text{ А}$$

$$R - ?$$

Розв'язання

Опір вольтметра визначимо за законом Ома:

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

Підставивши значення, отримаємо:

$$R = 150 \text{ В} : 0,01 \text{ А} = 15 \text{ 000 Ом} = 15 \text{ кОм.}$$

Відповідь: опір вольтметра дорівнює 15 кОм.

3. Що змінилося на ділянці кола, якщо ввімкнений послідовно з нею амперметр показує збільшення сили струму?

Відповідь: підвищилася напруга або зменшився опір.



ЗАДАЧІ ТА ВПРАВИ

Рівень А

202. Сила струму в колі електричної плитки дорівнює 1,4 А. Який електричний заряд проходить крізь спіраль за 10 хв?

203. Обчисліть силу струму в провіднику, крізь поперечний переріз якого за одну хвилину проходить заряд 36 Кл.

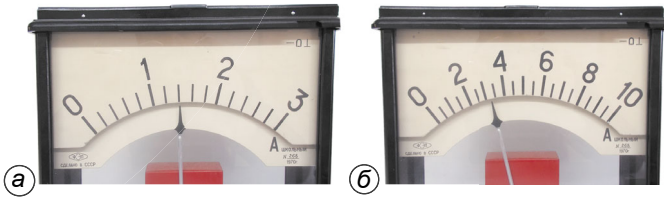
204. У ввімкненому в електричне коло приладі сила струму дорівнює 6 мкА. Який заряд проходить крізь цей прилад за 10 хв?

205. За який час крізь поперечний переріз провідника пройде заряд 10 Кл при силі струму 2 А?

206. Амперметр, увімкнений в електричне коло, показує силу струму 4 А. За який час крізь цей амперметр пройде заряд 20 Кл?

207. Виразить в амперах силу струму, яка дорівнює: 2000 мА; 100 мА; 55 мА; 3 кА.

208. На малюнку 176 зображено шкали двох амперметрів. Визначте для кожного амперметра межі вимірювання і ціну поділки шкали. Яку силу струму показує кожний амперметр?



Мал. 176



(a)



(б)

Мал. 177

209. Під час вимірювання сили струму в електричному колі один учень увімкнув амперметр у коло послідовно, а другий – паралельно. Який з учнів неправильно приєднав амперметр? Чому?

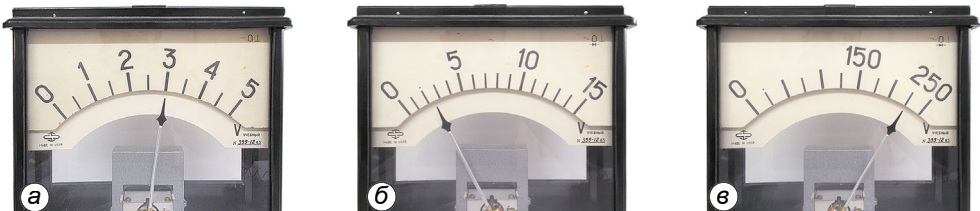
210. На малюнку 177 зображено електричні кола. Які прилади ввімкнуті в електричні кола? Накресліть електричні схеми цих кіл. Яку силу струму зафіксував кожний з амперметрів?

211. Унаслідок переміщення заряду 12 Кл по спіралі електричної лампи виконана робота 240 Дж. Яка напруга на затискачах лампи?

212. Визначте напругу на ділянці електричного кола, на якій струм виконав роботу 10 кДж при перенесенні заряду 10 Кл.

213. Визначте напругу на автомобільній лампі, якщо для переміщення в ній заряду 100 Кл треба виконати роботу 1200 Дж.

214. На малюнку 178 зображено шкали трьох вольтметрів. Для кожного вольтметра визначте межі вимірювання і ціну поділки шкали. Визначте, яку напругу показує кожний вольтметр.



Мал. 178

215. Один учень увімкнув вольтметр в електричне коло послідовно, а другий – паралельно. Який вольтметр увімкнено правильно?

216. Потрібно виміряти напругу на електролампі, увімкненій в освітлювальну мережу. Який з двох вольтметрів: на 300 чи на 150 В – має вибрати учень? Напруга в мережі становить 220 В.

217. Виміряйте напругу на виводах гальванічного елемента та батареї гальванічних елементів. Які покази ви зафіксували?

218. На малюнку 179, а показано, як потрібно з'єднати елементи, щоб вимірювати силу струму в електричному колі, а на малюнку 179, б – напругу. У чому полягає відмінність між вимірюванням сили струму і напруги в електричному колі?

219. Потрібно виміряти силу струму в електродвигуні й напругу, під якою він працює. Накресліть схему вмикання приладів.

220. В електричній лампі, розрахованій на напругу 220 В, сила струму дорівнює 0,5 А. Визначте опір нитки лампи в робочому стані.

221. Електрична плитка розрахована на напругу 220 В. Опір її спіралі дорівнює 75 Ом. Визначте силу струму в ній.

222. Визначте силу струму в електричній лампі кишенькового ліхтаря, якщо опір нитки розжарювання дорівнює 15 Ом і приєднана вона до батареї гальванічних елементів, напруга якої 4,5 В.

223. Вольтметр показує напругу 120 В. Який опір вольтметра, якщо крізь нього проходить струм 10 мА?

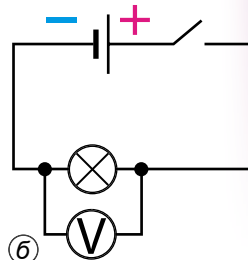
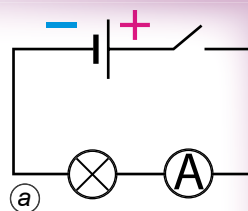
224. Визначте опір електричної лампи, сила струму в якій дорівнює 0,5 А при нарузі 120 В.

225. При нарузі 1,2 кВ сила струму в колі одного із блоків телевізора дорівнює 50 мА. Визначте опір кола цього блока.

226. Яку напругу треба прикласти до провідника, опір якого 1000 Ом, щоб отримати в ньому силу струму 8 мА?

227. У паспорті амперметра написано, що його опір дорівнює 0,1 Ом. Визначте напругу на затискачах амперметра, якщо він показує силу струму 10 А.

228. Визначте напругу на кінцях провідника, опір якого дорівнює 20 Ом, якщо сила струму в провіднику 0,4 А.



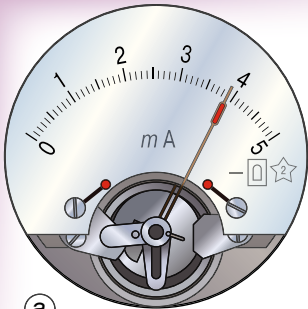
Мал. 179

Рівень Б

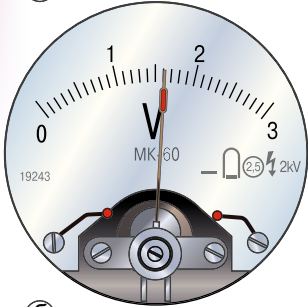
229. Крізь одну електричну лампу проходить заряд 450 Кл за кожні 5 хв, а через другу – 15 Кл за 10 с. У якій із ламп сила електричного струму більша?

230. Скільки електронів проходить за секунду крізь поперечний переріз провідника, якщо сила струму в ньому дорівнює 5 А?

231. Крізь поперечний переріз провідника в електричному колі щосекунди проходить $3,1 \cdot 10^{18}$ електронів. Визначте силу струму в колі. Скільки електронів проходить крізь поперечний переріз спіралі електричної лампи в цьому колі?



а



б

Мал. 180

232. На малюнку 180 зображено шкали вимірювальних приладів. Як називаються ці прилади? Для вимірювання якої фізичної величини їх використовують? На яке максимальне значення вимірюваної величини розрахований кожний із приладів? Яка ціна поділки шкал приладів? Яке значення вимірюваної величини показує кожний із приладів?

233. Як за допомогою вольтметра визначити полюси джерела постійного струму?

234. Чому опір є однією з найважливіших характеристик провідників?

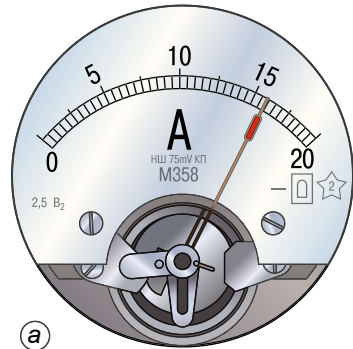
235. Чому всі провідники певною мірою спричиняють опір напрямленому руху зарядів усередині провідника?

236. Чи можна від батареї акумуляторів напругою 12 В отримати у провіднику силу струму 140 мА, якщо опір провідника дорівнює 100 Ом?

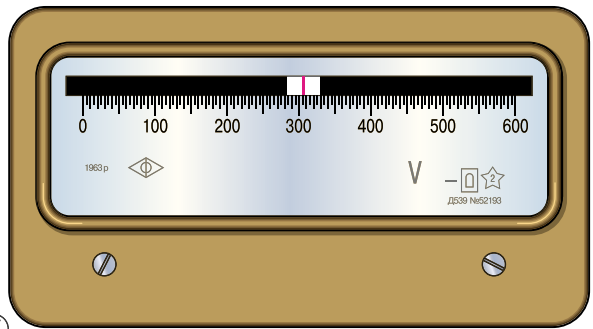
237. У електромережу напругою 220 В увімкнули електричний чайник і настільну лампу. Опір нагрівального елемента чайника дорівнює 22 Ом, опір нитки розжарення лампи – 240 Ом.

Визначте силу струму в кожному із приладів.

238. Під час опосередкованих вимірювань опору резистора сфотографували амперметр і вольтметр (мал. 181). Визначте опір резистора.



а



б

Мал. 181

§ 30. ЗАЛЕЖНІСТЬ ОПОРУ ПРОВІДНИКА ВІД ЙОГО ДОВЖИНИ, ПЛОШІ ПОПЕРЕЧНОГО ПЕРЕРІЗУ ТА МАТЕРІАЛУ. РЕОСТАТИ

Ви вже знаєте, що причиною електричного опору провідника є взаємодія вільних електронів з йонами кристалічних ґраток металу. Розглянемо тепер, від чого залежить опір провідника. Для цього проведемо такі досліди.

Дослід 1. В електричне коло (мал. 182) вмикатимемо по черзі провідники, які виготовлені з однакового матеріалу, мають однаковий поперечний розріз, але різні довжини. Силу струму вимірюватимемо амперметром, а напругу – вольтметром.



Мал. 182

Провівши досліди, доходимо такого висновку: **що довший провідник, то більший його електричний опір.** Тобто, у довшому провіднику частинки, що рухаються напрямлено, зазнають на своєму шляху більшої протидії.

Дослід 2. Вмикатимемо в електричне коло по черзі провідники, які виготовлені з однакового матеріалу, однакової довжини, але мають різні поперечні перерізи. Вимірявши силу струму в провідниках і напругу на їхніх кінцях, переконаємося: **що товщий провідник, то менший його електричний опір.** Збільшення товщини провідника рівнозначне «розширенню русла», яким рухаються заряди, тому й опір провідника зменшується.

Дослід 3. Тепер в електричне коло будемо по черзі вмикати провідники однакової довжини та площі поперечного перерізу, але виготовлені з різних речовин. У результаті виявимо, що **електричний опір провідника залежить від того, з якої речовини його виготовлено.** Це пояснюється тим, що провідники з різних металів мають різні кристалічні структури, отже, гальмівна дія зіткнень йонів і вільних електронів виявляється різною.

Вищезгадану залежність опору провідника від його розмірів і речовини, з якої виготовлено провідник, уперше встановив дослідним шляхом Георг Ом:

опір провідника прямо пропорційний його довжині, обернено пропорційний площі його поперечного перерізу і залежить від речовини, з якої виготовлено провідник.

Залежність опору провідника від речовини, з якої його виготовлено, характеризують спеціальним параметром – **питомим опором речовини.**

Питомий опір речовини – це фізична величина, що показує, який опір має виготовлений із цієї речовини провідник завдовжки 1 м і площею поперечного перерізу 1 м².

Якщо довжину провідника позначити літерою l , площу його поперечного перерізу – S , питомий опір – ρ , то опір провідника визначатиметься за такою формулою:

$$R = \rho \frac{l}{S}.$$

Із цієї формули можна визначити питомий опір речовини:

$$\rho = \frac{RS}{l}.$$

Оскільки одиницею опору є 1 Ом, одиницею площі поперечного перерізу – 1 м², одиницею довжини – 1 м, то одиницею питомого опору буде: 1 Ом · 1 м²/1 м = 1 Ом · м.

На практиці площу поперечного перерізу провідників зазвичай виражають у квадратних міліметрах, тому одиницею питомого опору речовини в цьому разі є 1 Ом · мм²/м.

У таблиці 11 подано визначені експериментально значення питомого опору широко застосовуваних на практиці речовин.

**Питомий електричний опір
деяких речовин ($t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$)**

Таблиця 11

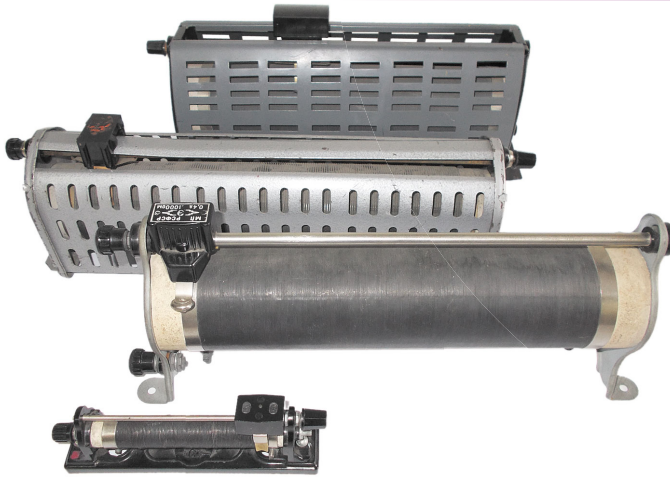
| Речовина | ρ , Ом · мм ² /м | Речовина | ρ , Ом · мм ² /м | Речовина | ρ , Ом · мм ² /м |
|----------|-------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|
| Срібло | 0,016 | Свинець | 0,21 | Ніхром (сплав) | 1,1 |
| Мідь | 0,017 | Нікелін (сплав) | 0,40 | Фехраль (сплав) | 1,3 |
| Золото | 0,024 | Манганін (сплав) | 0,43 | Графіт | 13 |
| Алюміній | 0,028 | Константан (сплав) | 0,50 | Фарфор (порцеляна) | 10 ¹⁹ |
| Вольфрам | 0,050 | Ртуть | 0,96 | Ебоніт | 10 ²⁰ |
| Залізо | 0,10 | | | | |

Як бачимо з таблиці 11, найкращими провідниками електрики є срібло, мідь, золото. Але для практичних потреб (наприклад, створення електромереж) провідники виготовляють з алюмінію, міді й заліза.

У нагрівальних елементах застосовують ніхромові й фехралеві провідники. Фарфор (порцеляна) та ебоніт є чудовими ізоляторами.

Бачимо, що для різних речовин значення питомого опору змінюються в дуже широкій межі. Це пояснюється тим, що вони мають різну внутрішню будову.

На практиці часто доводиться змінювати силу струму в колі, роблячи її то більшою, то меншою. Наприклад, змінюючи силу струму в електроплитці, ми регулюємо температуру її нагрівання. Для регулювання сили струму в електричному колі застосовують спеціальні прилади – **реостати**. На малюнку 183 показано зовнішній вигляд реостатів (їх умовне позначення подано в таблиці 8, с. 107–108). Такі реостати називають **повзунковими**. У них на керамічний циліндр



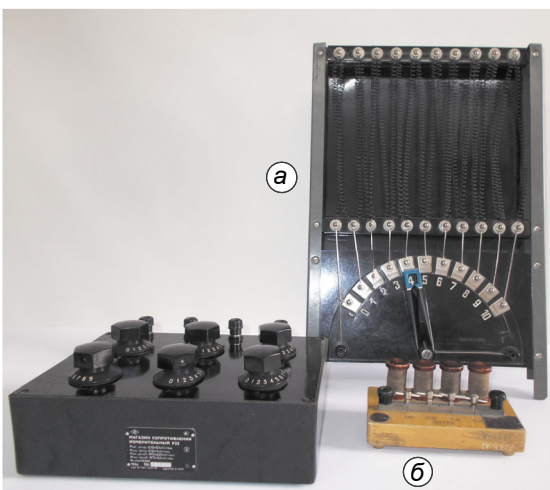
Мал. 183

намотано дріт, покритий тонким шаром окалини, тому витки дроту ізольовані один від одного. Над обмоткою розміщено металевий стержень, уздовж якого може переміщуватися повзунок.

Від тертя повзунка об витки шар окалини під контактами повзунка стирається, і електричний струм у колі проходить від витків дроту до повзунка, а крізь нього – у стержень, який має на кінці затискач. Реостат вмикають у коло за допомогою цього затискача й затискача, з'єднаного з одним з кінців обмотки й розміщеного на корпусі реостата. Переміщуючи повзунок по стержню, можна збільшувати або зменшувати опір увімкненого в коло реостата.

На малюнку 184 зображено реостат (а) і магазин опорів (б), за допомогою яких можна змінювати опір у колі не плавно, а стрибкоподібно.

Кожний реостат розрахований на певний опір і на певну допустиму силу струму, перевищувати яку не слід, тому що обмотка реостата



Мал. 184



Мал. 185

може розжаритися й перегоріти. Опір реостата і найбільше допустиме значення сили струму зазначено на корпусі реостата.

Для вимірювання опору провідників використовують прилади, які називають **омметрами**. Skorистаємося одним з видів омметрів, які бувають різних конструкцій. Щоб виміряти опір провідника, приєднаємо до нього омметр (мал. 185). Цифровий індикатор приладу показує, що опір провідника дорівнює 0,64 Ом.



ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Що характеризує електричний опір і як його позначають?
2. Від чого залежить опір провідника?
3. За якою формулою визначають опір провідника?
4. Що показує питомий опір? Якою літерою його позначають?
5. Які ви знаєте одиниці питомого опору?
6. Є два провідники. У якого з них більший опір, якщо вони:
 - а) мають однакову довжину і площу поперечного перерізу, але один з них виготовлено з константану, а другий – з фехралю;
 - б) виготовлені з однакової речовини, мають однакову товщину, але один з них удвічі довший;
 - в) виготовлені з однакової речовини, мають однакову довжину, але один з них удвічі тонший?
7. Провідники, розглянуті у запитанні 6, по черзі приєднують до одного й того самого джерела струму. У якому випадку сила струму буде більшою, а в якому – меншою? Порівняйте кожну пару розглянутих провідників.
8. Які конструкції реостатів ви знаєте? Для чого їх використовують?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

Вимірювання опору провідника за допомогою амперметра і вольтметра

Мета роботи: навчитися вимірювати опір провідника за допомогою амперметра і вольтметра. Переконалися на дослідах, що опір провідника не залежить від сили струму в ньому і напруги на його кінцях.

Прилади і матеріали: джерело струму, досліджуваний провідник (ніхромова спіраль), амперметр, вольтметр, реостат, ключ, з'єднувальні проводи.

Хід роботи

Ознайомтеся з правилами безпеки життєдіяльності під час виконання роботи.

1. Складіть електричне коло, з'єднавши послідовно джерело струму, амперметр, досліджуваний провідник (спіраль), реостат, ключ. До кінців спіралі приєднайте вольтметр (враховуйте знаки «+» і «-»).

2. Накресліть схему складеного електричного кола.

3. Виміряйте силу струму в колі й напругу на провіднику.

4. За допомогою реостата змініть опір кола й знову виміряйте силу струму в колі та напругу на провіднику.

5. Результати вимірювань запишіть у таблицю.

| № провідника | Сила струму I , А | Напруга U , В | Опір R , Ом |
|--------------|---------------------|-----------------|---------------|
| 1 | | | |
| 2 | | | |

6. Користуючися законом Ома, обчисліть опір провідника за даними кожного окремого вимірювання.

7. Результати обчислень запишіть у таблицю. Порівняйте одержані результати.

Для допитливих

За даними роботи накресліть графік залежності сили струму в провіднику від напруги на його кінцях. Проаналізуйте графік. За графіком визначте опір провідника при будь-якому проміжному значенні сили струму.



РОЗВ'ЯЗУЄМО РАЗОМ

1. Опір котушки мідного дроту дорівнює 1,5 Ом. Опір другої котушки мідного дроту такого самого поперечного перерізу – 6 Ом. У скільки разів довжина дроту однієї котушки менша за іншу?

Відповідь: відомо, що опір провідника прямо пропорційний його довжині. Отже, що коротший мідний дріт, то менший його опір. Звідси випливає, що довжина мідного дроту в першій котушці в 4 рази менша, ніж у другій.

2. Реостат виготовлено з нікелінового дроту завдовжки 40 м і площею поперечного перерізу 0,5 мм². Напруга на затискачах реостата становить 80 В. Визначте силу струму, що проходить крізь реостат.

Дано:

$$l = 40 \text{ м}$$

$$S = 0,05 \text{ мм}^2$$

$$U = 80 \text{ В}$$

$$\rho = 0,40 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$$

$$I - ?$$

Розв'язання

Силу струму визначимо за законом Ома:

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

Але нам невідомий опір нікелінового дроту. Його визначимо за формулою $R = \rho \frac{l}{S}$.

Питомий опір ρ дізнаємося з таблиці 11. Тоді сила струму визначатиметься за формулою:

$$I = \frac{US}{\rho l}$$

Підставивши значення, отримаємо:

$$I = 80 \text{ В} \cdot 0,05 \text{ мм}^2 : (0,40 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м} \cdot 40 \text{ м}) = 0,25 \text{ А.}$$

Відповідь: сила струму в реостаті дорівнює 0,25 А.



ЗАДАЧІ ТА ВПРАВИ

Рівень А

239. У скільки разів і як зміниться опір провідника, якщо його довжину збільшити в 5 разів?

240. Провід розрізали на три частини і сплели в один. У скільки разів змінився опір проводу? Збільшився він чи зменшився?

241. До будинку підведено кабель з мідними жилами загальним поперечним перерізом 100 мм². Довжина кабеля дорівнює 80 м. Визначте його опір.

- 242.** Визначте опір кожного кілометра мідного трамвайного проводу, поперечний переріз якого дорівнює 51 мм^2 .
- 243.** Розгляньте будь-який реостат. Укажіть, на який опір і на яку допустиму силу струму він розрахований.
- 244.** На реостаті написано « $50 \text{ Ом}; 0,2 \text{ А}$ ». Що це означає?
- 245.** Потрібно виготовити реостат на 5 Ом з нікелінового дроту площею поперечного перерізу $0,2 \text{ мм}^2$. Якої довжини дріт потрібен для цього?
- 246.** Крізь моток ізолюваного мідного дроту проходить струм $0,05 \text{ А}$ при напрузі $8,5 \text{ В}$. Яка довжина дроту в мотку, якщо його поперечний переріз дорівнює $0,5 \text{ мм}^2$?

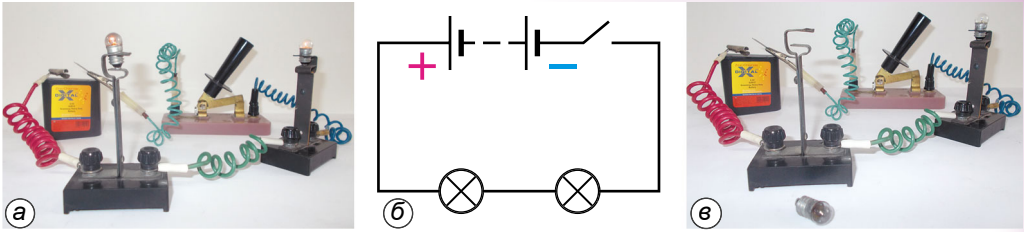
Рівень Б

- 247.** Учень установив на столі лампу від кишенькового ліхтарика. Батарею гальванічних елементів він розмістив на підлозі під столом і з'єднав її з лампою за допомогою двох тоненьких алюмінієвих провідників. Незважаючи на те, що батарея була новою, лампа світилася погано. Поясніть чому.
- 248.** Крізь нікеліновий провідник завдовжки 5 м , поперечний переріз якого $0,12 \text{ мм}^2$, проходить струм силою $1,5 \text{ А}$ при напрузі 24 В . Визначте питомий опір нікеліну.
- 249.** Опір провідника дорівнює 20 Ом . На скільки рівних частин треба його розрізати, щоб опір сплетених в один провід частин становив 5 Ом ?
- 250.** Реостат опором 30 Ом має 50 витків. На скільки збільшується опір у колі, якщо ввімкнути послідовно 15 витків реостата?
- 251.** Для виготовлення спіралі електричного нагрівника, розрахованого на напругу 120 В і силу струму 5 А , використовується ніхромовий провідник поперечним перерізом $0,3 \text{ мм}^2$. Визначте довжину цього провідника.
- 252.** Скільки треба взяти метрів мідного дроту, поперечний переріз якого 2 мм^2 , щоб його опір був таким самим, як опір алюмінієвого дроту з поперечним перерізом 5 мм^2 і завдовжки 17 м ?
- 253.** Який опір спіралі лампи в розжареному стані, якщо при напрузі 220 В сила струму в ній дорівнює $0,44 \text{ А}$?
- 254.** Визначте масу мідного проводу, який потрібний для проведення повітряної лінії завдовжки 2 км , якщо її опір має дорівнювати $1,36 \text{ Ом}$.

§ 31. ПОСЛІДОВНЕ З'ЄДНАННЯ ПРОВІДНИКІВ

Електричні кола, з якими доводиться мати справу електрикам, складаються не з одного споживача електроструму, а з кількох різних, які можуть бути з'єднані між собою послідовно, паралельно або послідовно й паралельно (змішане з'єднання).

При послідовному з'єднанні споживачів (провідників) їх з'єднують по черзі один за одним без розгалужень проводів між ними.



Мал. 186

Дослід. До джерела струму приєднаємо послідовно дві лампи (мал. 186, а), намалюємо схему цього електричного кола (мал. 186, б). Якщо вимкнемо одну лампу, то коло розімкнеться, й друга лампа також погасне (мал. 186, в).

Послідовно з'єднані, наприклад, прилади в електричному колі, зображеному на малюнку 177 (див. с. 128).

При послідовному з'єднанні провідників сила струму в будь-якій частині електричного кола однакова, тобто

$$I = I_1 = I_2.$$

Повна напруга U в колі при послідовному з'єднанні, або напруга на полюсах джерела струму, дорівнює сумі напруг на всіх окремих ділянках кола, тобто (для двох ділянок)

$$U = U_1 + U_2.$$

Тоді згідно із законом Ома можна дійти висновку, що загальний опір кола R при послідовному з'єднанні дорівнює сумі всіх опорів окремих провідників або окремих ділянок кола, тобто (для двох провідників)

$$R = R_1 + R_2.$$



ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Чому один з видів з'єднання провідників називають послідовним?
2. Поясніть, чому сила струму при послідовному з'єднанні провідників на всіх ділянках однакова.
3. Чому при послідовному з'єднанні двох споживачів справджується формула $R = R_1 + R_2$?
4. Поясніть, чому напруги на провідниках та їхні опори при послідовному з'єднанні для будь-якої пари провідників пов'язані співвідношенням: $\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

Дослідження електричного кола з послідовним з'єднанням провідників

Мета роботи: дослідити електричні кола з послідовним з'єднанням провідників, перевірити закони послідовного з'єднання провідників.

Прилади і матеріали: джерело струму, набір дротяних резисторів: 1, 2, 4 Ом, низьковольтна лампа на підставці (на 2,5 або 3,6 В), амперметр, вольтметри, реостат лабораторний (6 Ом), ключ, з'єднувальні проводи.

Хід роботи

Ознайомтеся з правилами безпеки життєдіяльності під час виконання роботи.

1. Визначте ціну поділки шкал амперметра і вольтметра.
2. Накресліть схему електричного кола, що складається з джерела струму, двох резисторів і електричної лампи, з'єднаних послідовно, амперметра, вольтметрів і ключа.
3. Складіть електричне коло за накресленою схемою.
4. Виміряйте силу струму в електричному колі й напругу на резисторах та електричній лампі. Результати вимірювань запишіть у таблицю.

| № до-сліду | Сила струму I , А | Напруга, В | | | | Опір, Ом | | | |
|------------|---------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------|-------------------------------|----------|-------|-------|-----|
| | | U_1 на резисторі R_1 | U_2 на резисторі R_2 | U_3 на лампі R_3 | U на резисторах і лампі R | R_1 | R_2 | R_3 | R |
| | | | | | | | | | |

5. Визначте опори резисторів, електричної лампи та загальний опір кола.

6. Перевірте закони послідовного з'єднання провідників. Зробіть висновки.

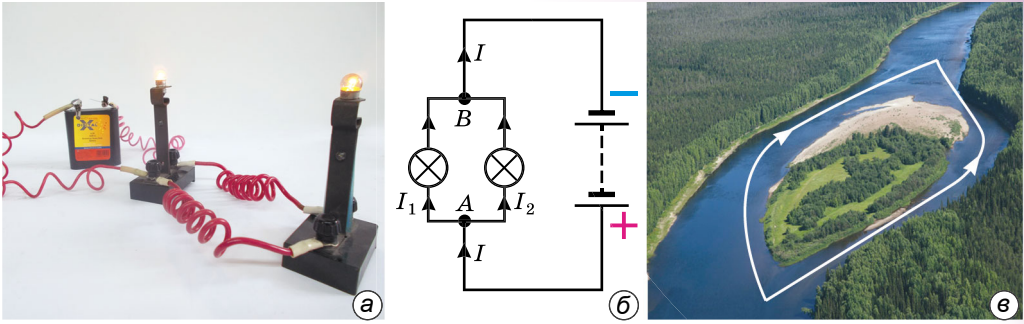
Для допитливих

З'єднайте послідовно три однакової довжини і площі поперечного перерізу провідники, наприклад мідний, залізний і алюмінієвий. Приєднайте електричну лампочку по черзі до кінців кожного із провідників. У якому випадку й чому спіраль лампочки розжарюється найбільше? На кінцях якого з трьох провідників найбільша напруга, якщо ви використали як джерело струму батарею гальванічних елементів напругою 4,5 В?

§ 32. ПАРАЛЕЛЬНЕ З'ЄДНАННЯ ПРОВІДНИКІВ

Послідовно з'єднані прилади працюють усі разом у замкнутому колі або всі не працюють у незамкнутому, а це не завжди зручно. Наприклад, для освітлення будинку або кімнати немає потреби, щоб одночасно світили всі лампи. У разі їх послідовного з'єднання, вимикаючи одну з ламп, ми вимикаємо й решту. Якщо потрібно, щоб прилади працювали в колі незалежно, то використовують паралельне з'єднання провідників.

При паралельному з'єднанні споживачів (провідників) виводи кожного з них приєднують до спільної для всіх пари затискачів (точок або вузлів кола).



Мал. 187

На малюнку 187, *a* показано паралельне з'єднання двох електричних ламп, а на малюнку 187, *б* – схему цього з'єднання (у точках *A* і *B* – вузли кола). Якщо одну лампу викрутити, то друга продовжуватиме світитися.

Виконавши подібні досліди, переконаємося, що **напруга на ділянці кола *AB* і на кінцях усіх паралельно з'єднаних провідників однакова, тобто**

$$U = U_1 = U_2.$$

У побуті й техніці зручно застосовувати паралельне з'єднання споживачів, оскільки вони розраховані на однакову напругу.

При паралельному з'єднанні струм I у точці *A* (мал. 187, *б*) розгалужується на два струми – I_1 та I_2 , які сходяться знову в точці *B*, подібно до того, як потік води в річці розділяється на два рукави, що потім знову сходяться (мал. 187, *в*). Стає очевидним зв'язок між значеннями сили струму в гілках паралельного кола.

Сила струму в нерозгалуженій ділянці кола дорівнює сумі струмів в окремих паралельно з'єднаних провідниках, тобто

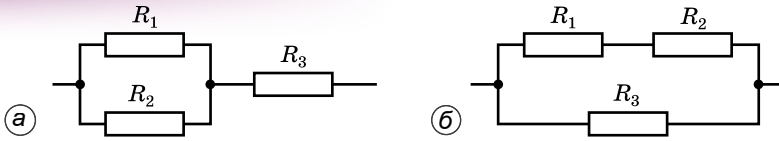
$$I = I_1 + I_2.$$

При паралельному з'єднанні ніби збільшується товщина провідника, тому загальний опір кола зменшується і стає меншим від опору кожного з провідників, увімкнених у коло. Використовуючи закон Ома, можна вивести співвідношення для визначення загального опору кола при паралельному з'єднанні:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}.$$

Якщо коло складається з двох паралельно з'єднаних однакових ламп з опором $R_{\text{л}}$ кожна, то загальний опір кола R буде вдвічі менший від опору однієї лампи: $R = R_{\text{л}}/2$.

В електричних колах часто зустрічається також **змішане, або складне, з'єднання**, яке є комбінацією послідовного й паралельного з'єднань. У випадку трьох резисторів можливі два варіанти змішаного з'єднання. У першому випадку (мал. 188, *a*) є дві послідовно з'єднані



Мал. 188

ділянки, одна з яких є паралельним з'єднанням. Загальний опір кола в цьому випадку

$$R = R_3 + \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}.$$

У другому випадку (мал. 188, б) все коло слід розглядати як паралельне з'єднання, у якому одна гілка сама є послідовним з'єднанням.

Загальний опір кола в цьому випадку $R = \frac{R_3(R_1 + R_2)}{R_1 + R_2 + R_3}$.

Для більшого числа резисторів можуть бути складені різні, складніші схеми змішаного з'єднання.



ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Чому при паралельному з'єднанні двох провідників справджується формула $I = I_1 + I_2$?
2. Чому на практиці паралельне з'єднання провідників є найпоширенішим з'єднанням?
3. Поясніть, чому закон загального опору для паралельного з'єднання двох провідників має такий вид: $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$.
4. Доведіть, що при паралельному з'єднанні сила струму в кожному з провідників будь-якої пари та їхні опори пов'язані співвідношенням $\frac{l_1}{l_2} = \frac{R_2}{R_1}$.
5. Чому паралельне з'єднання провідників є економічнішим, ніж послідовне?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

Дослідження електричного кола з паралельним з'єднанням провідників

Мета роботи: дослідити електричні кола з паралельним з'єднанням провідників, перевірити закони паралельного з'єднання провідників.

Прилади і матеріали: джерело струму, набір дрітчастих резисторів: 1, 2, 4 Ом, низьковольтна лампа на підставці (на 2,5 або 3,5 В), амперметри, вольтметр, реостат лабораторний (6 Ом), ключ, з'єднувальні проводи.

Хід роботи

Ознайомтеся з правилами безпеки життєдіяльності під час виконання роботи.

1. Визначте ціну поділки шкал амперметрів і вольтметра.
2. Накресліть схему електричного кола, що складається з джерела струму, двох опорів і електричної лампи, з'єднаних паралельно, амперметрів, вольтметра і ключа.

3. Складіть електричне коло за накресленою схемою.

4. Виміряйте силу струму в електричному колі й напругу на опорах та електричній лампі. Результати запишіть у таблицю.

| № до- слідду | На- пруга U , В | Сила струму, А | | | | Опір, Ом | | | |
|-----------------|-------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------|--|----------|-------|-------|-----|
| | | I_1 в ре- зисторі R_1 | I_2 в ре- зисторі R_2 | I_3 в лампі R_3 | I в ре- зисто- рах і лампі R | R_1 | R_2 | R_3 | R |
| | | | | | | | | | |

5. Визначте опори резисторів, електричної лампи та загальний опір кола.

6. Перевірте закони паралельного з'єднання провідників. Зробіть висновки.

Для допитливих

Складіть електричне коло з гальванічного елемента або батареї гальванічних елементів, електричної лампочки відповідної напруги і трьох вимикачів, увімкнених у коло так, щоб унаслідок замикання кожного з них окремо лампочка світилась. Перед тим як замикати другий вимикач, розмикайте перший. Накресліть схему такого кола, де використовується цей спосіб з'єднання вимикачів.



РОЗВ'ЯЗУЄМО РАЗОМ

1. Два провідники опорами $R_1 = 2$ Ом і $R_2 = 3$ Ом з'єднані послідовно. Сила струму в колі дорівнює 1 А. Визначте опір кола та напругу, прикладену до всіх ділянок кола.

Дано:

$$R_1 = 2 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 3 \text{ Ом}$$

$$I_2 = 1 \text{ А}$$

$$R - ? \quad U - ?$$

Розв'язання

Сила струму в усіх послідовно з'єднаних провідниках однакова:

$$I_1 = I_2 = I = 1 \text{ А.}$$

Загальний опір кола становить:

$$R = R_1 + R_2;$$

$$R = 2 \text{ Ом} + 3 \text{ Ом} = 5 \text{ Ом.}$$

За законом Ома: $U = IR$, $U = 1 \text{ А} \cdot 5 \text{ Ом} = 5 \text{ В.}$

Відповідь: загальний опір кола 5 Ом, напруга 5 В.

2. В освітлювальну мережу кімнати ввімкнено дві однакові електричні лампи. Опір кожної лампи дорівнює 440 Ом, напруга в мережі – 220 В. Визначте загальний опір кола та силу струму в підвідних проводах.

Дано:

$R_1 = R_{\text{л}} = 440 \text{ Ом}$

$R_2 = R_{\text{л}} = 440 \text{ Ом}$

$U = 220 \text{ В}$

$R - ? \quad I - ?$

Розв'язання

Якщо опір ламп однаковий, то при паралельному з'єднанні провідників він дорівнюватиме $R = R_{\text{л}}/2$.

$R = 440 \text{ Ом} : 2 = 220 \text{ Ом.}$

За законом Ома:

$$I = \frac{U}{R}; \quad I = \frac{220 \text{ В}}{220 \text{ Ом}} = 1 \text{ А.}$$

Відповідь: загальний опір кола 220 Ом, сила струму 1 А.



ЗАДАЧІ ТА ВПРАВИ

Рівень А

255. Для новорічної ялинки потрібно виготовити гірлянду з однакових 12-вольтних ламп, щоб увімкнути її в освітлювальну мережу 220 В. Скільки знадобиться таких ламп?

256. В освітлювальну мережу 220 В увімкнули послідовно дві електричні лампи з однаковим опором. Якою буде напруга на кожній з ламп?

257. Опір кола, що складається з двох послідовно з'єднаних однакових ламп і реостата, дорівнює 1020 Ом. Який опір кожної лампи, якщо опір реостата дорівнює 120 Ом?

258. Накресліть схему кола, що складається з акумулятора, електричної лампи, реостата і вимикача, з'єднаних за допомогою провідників послідовно.

259. Як зміниться сила струму в ялинковій гірлянді, якщо до неї послідовно приєднати ще одну лампу? Як зміниться світіння ламп?

260. Яка ялинкова гірлянда зручніша: з послідовним чи паралельним з'єднанням? Чому?

Рівень Б

261. В освітлювальну мережу ввімкнули послідовно дві лампи з різним опором. Яка з них світитиметься яскравіше? Чому?

262. Для освітлення трамвайного вагона використовують 120-вольтові електричні лампи, хоча напруга в контактній мережі трамвая становить 600 В. Як мають бути ввімкнені в таку мережу лампи, щоб на кожну з них припадала нормальна напруга?

263. Салон тролейбуса освітлюється 14 плафонами, у кожному з яких є лампа, розрахована на напругу 120 В. Ще одна така лампа слугує для освітлення номера маршруту. Накресліть схему вмикання всіх ламп у контактну мережу тролейбуса, напруга в якій становить 600 В.

264. Складіть найпростішу схему пожежної сигналізації з 5 ключами в різних пунктах, джерелом струму й одним дзвінком.

265. Один з учнів вважає, що шнур, який з'єднаний з електричною плиткою, – це два паралельно з'єднані провідники, а інший учень доводить, що ці провідники послідовно з'єднані з електричною плиткою. Чия думка правильна і чому?

266. Гірлянда кімнатної ялинки має 24 лампи. Якщо одна з ламп цієї гірлянди перегорить, то решта ламп перестають світитися. А якщо

перегорить одна з ламп гірлянди шкільної ялинки, то решта ламп продовжують світитися. Поясніть чому.

267. В освітлювальну мережу напругою 220 В треба ввімкнути 4 однакові лампи, що дають повне розжарення при напрузі 110 В. Як з'єднати лампи, щоб вони не перегоріли під час вмикання їх у мережу?

§ 33. РОБОТА ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ

Дія всіх відомих вам електричних приладів відбувається за рахунок електричної енергії, яку постачає джерело електричного струму. В результаті цього одержуємо світло, теплоту, звук, механічний рух тощо, тобто різні види енергії.

Робота електричного струму – фізична величина, що характеризує перетворення електричної енергії в інші види енергії.

Ви вже знаєте, що напруга – це фізична величина, яка характеризує електричне поле, яке переміщує вільні заряди, створюючи струм. Напруга на кінцях певної ділянки кола визначається відношенням роботи A електричного струму на цій ділянці до електричного заряду q , що пройшов по ній, тобто:

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

Із цього співвідношення випливає формула для визначення роботи електричного струму на ділянці кола:

$$A = Uq.$$

Щоб визначити роботу електричного струму на ділянці кола, потрібно напругу на кінцях цієї ділянки помножити на електричний заряд, що пройшов по ній.

Протягом часу t струм силою I переносить в колі електричний заряд $q = It$. Тоді формула для роботи A електричного струму набуває такого виду:

$$A = UIt,$$

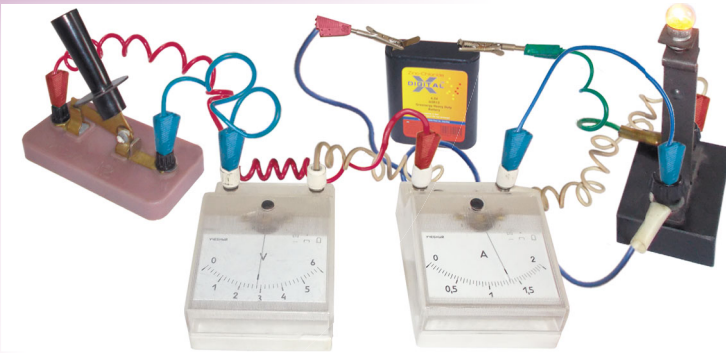
де U – напруга на кінцях ділянки; I – сила струму в колі; t – час, протягом якого виконувалася робота.

Щоб визначити роботу електричного струму на ділянці кола, потрібно напругу на кінцях цієї ділянки помножити на силу струму в ній і на час, протягом якого виконувалася робота.

Одиницею роботи електричного струму, як і механічної роботи, є один джоуль (1 Дж). З формули для роботи електричного струму випливає:

$$1 \text{ Дж} = 1 \text{ В} \cdot 1 \text{ А} \cdot 1 \text{ с} = 1 \text{ В} \cdot \text{А} \cdot \text{с}.$$

Щоб виміряти роботу електричного струму в колі, потрібно мати вольтметр, амперметр і годинник.



Мал. 189



Мал. 190

Дослід. Складемо електричне коло, як це показано на малюнку 189. За допомогою вольтметра визначимо напругу, яку прикладено до електричної лампи, а за допомогою амперметра – силу струму в спіралі лампи. Бачимо, що вольтметр показує напругу 2,8 В, а амперметр – силу струму 1,35 А.

Для визначення роботи струму протягом 10 хв (= 600 с) скористаємося формулою $A = UIt$. Підставимо значення:

$$A = 2,8 \text{ В} \cdot 1,35 \text{ А} \cdot 600 \text{ с} = 2268 \text{ Дж} = 2,268 \text{ кДж.}$$

Отже, робота сили струму дорівнює 2,268 кДж.

На практиці роботу електричного струму також вимірюють спеціальним приладом – **електричним лічильником**, зовнішній вигляд якого показано на малюнку 190. Лічильник електричної енергії можна побачити в кожному будинку або квартирі. Конструкція лічильника поєднує властивості всіх названих вище приладів.



ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Що називають роботою електричного струму?
2. Як визначити роботу електричного струму?
3. Назвіть одиниці роботи електричного струму в СІ.
4. Як на практиці вимірюють роботу електричного струму?
5. Користуючись формулою для обчислення роботи електричного струму, покажіть, як одиницю роботи 1 джоуль можна виразити через інші одиниці.

§ 34. ПОТУЖНІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ

На колбі або цоколі електричної лампи, корпусі багатьох побутових електроприладів, в інструкціях до них ви побачите написи: «220 В; 60 Вт», «потужність електричної праски 1,2 кВт» тощо. Як ви пам'ятаєте з механіки, у ватах вимірюють потужність, отже, мова йде про потужність електричного струму.

Потужність електричного струму – фізична величина, що характеризує здатність електричного струму виконувати певну роботу за одиницю часу.

Потужність електричного струму позначають великою латинською літерою ***P***. Якщо робота електричного струму ***A*** виконана протягом часу ***t***, то потужність електричного струму ***P*** визначатиметься за формулою:

$$P = \frac{A}{t}.$$

Скориставшись співвідношенням ***A = UIt***, надамо формулі для потужності електричного струму такого виду:

$$P = UI.$$

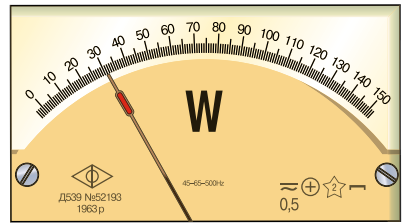
Потужність електричного струму визначається добутком напруги на кінцях ділянки кола і сили струму в цій ділянці.

Одиницею потужності електричного струму є один ват (**1 Вт**). З формули для потужності випливає, що **1 Вт = 1 В · 1 А = 1 В · А**.

Використовують також кратні одиниці потужності: гектоват (гВт), кіловат (кВт), мегават (МВт), гігават (ГВт).

$$\begin{aligned} 1 \text{ гВт} &= 100 \text{ Вт}; & 1 \text{ МВт} &= 1\,000\,000 \text{ Вт}; \\ 1 \text{ кВт} &= 1000 \text{ Вт}; & 1 \text{ ГВт} &= 1\,000\,000\,000 \text{ Вт}. \end{aligned}$$

Щоб виміряти потужність електричного струму в колі, потрібні вольтметр і амперметр. Використовують також спеціальний прилад – **ватметр**, яким можна безпосередньо виміряти потужність електричного струму в колі. На малюнку 191 наведено шкалу такого приладу.



Мал. 191

У таблиці 12 подано значення потужності деяких електроприладів – споживачів електричного струму.

Потужність деяких електричних приладів Таблиця 12

| Назва приладу | Потужність, Вт |
|--------------------------------|--|
| Лампа кишенькового ліхтарика | 1 |
| Лампи освітлювальні (побутові) | $(1,1-1,6) \cdot 10^2$ |
| Холодильник домашній | $(0,15-2,0) \cdot 10^2$ |
| Електрична праска | $(0,3-1,0) \cdot 10^3$ |
| Пральна машина | $(0,35-2,0) \cdot 10^3$ |
| Електрична плитка | $(6,0-8,0) \cdot 10^2$; $(1,0-1,2) \cdot 10^3$ |
| Електропилосос | $(0,1-1,2) \cdot 10^3$ |
| Двигун трамвая | $(45,0-50,0) \cdot 10^3$ |
| Двигун електровоза | $650 \cdot 10^3$ |
| Електродвигун прокатного стану | $(6,0-9,0) \cdot 10^6$ |

Більшість побутових приладів розраховано на напругу 220 В, але на різну силу струму. Отже, потужність споживачів електроенергії різна, тому й однакову роботу вони виконують за різний час.

З означення потужності електричного струму випливає формула для підрахунку електричної енергії, або роботи A :

$$A = Pt,$$

де P – потужність електричного струму; t – час проходження струму.

Робота електричного струму визначається добутком потужності електричного струму і часу споживання струму.

З формули для роботи випливає ще один вираз для одиниці роботи електричного струму:

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

Якщо електрична лампа потужністю 100 Вт світитиме впродовж 10 год, то робота електричного струму дорівнюватиме:

$$A = 100 \text{ Вт} \cdot 36\,000 \text{ с} = 3\,600\,000 \text{ Дж} = 3600 \text{ кДж} = 3,6 \text{ МДж}.$$

Таке значення роботи електричного струму називають **кіловат-годиною** і позначають **1 кВт · год**.

$$1 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 3\,600\,000 \text{ Дж} = 3600 \text{ кДж} = 3,6 \text{ МДж}.$$

Покази електричного лічильника, що вимірює спожиту приладами у квартирі електричну енергію (роботу електричного струму), виражено саме в кіловат-годинах.

Механічну роботу 3600 кДж людина може виконати, якщо, наприклад, мішок масою 50 кг підніме сходами на висоту понад 7 км. А на тепловій електростанції, щоб виробити 1 кВт · год, потрібно спалити всього 330 г вугілля.

У таблиці 13 наведено види робіт, на виконання кожної з яких затрачено 1 кВт · год енергії.

Одна кіловат-година електроенергії забезпечує виконання таких робіт

Таблиця 13

| | | |
|---|---|--|
|  |  |  |
| <p>1 кВт · год</p> | <p>Нагрівання до кипіння 7 л води</p> | <p>Виведення в інкубаторі 30 курчат</p> |

Продовження таблиці 13

| | | |
|--|---|--|
|  <p>Випікання 30 кг хліба</p> |  <p>Освітлювання приміщення люмінесцентною лампою потужністю 20 Вт протягом двох діб</p> |  <p>Робота електричного годинника протягом трьох місяців</p> |
|  <p>Робота за настільним комп'ютером протягом 5 годин</p> |  <p>Робота вентилятора протягом 20 годин</p> |  <p>Помел 1000 кг зерна</p> |
|  <p>Доїння 40 корів</p> |  <p>Свердління отворів у деталях протягом 4 год</p> |  <p>Робота пилососа протягом 2 год</p> |



ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Чому поряд з поняттям «робота електричного струму» дуже важливе значення має поняття «потужність електричного струму»?
2. Для визначення потужності електричного струму за допомогою закону Ома можна одержати три еквівалентні формули: $P = UI$, $P = \frac{U^2}{R}$ і $P = I^2R$. За яких умов для розв'язування задач зручніше користуватися однією із цих формул?
3. Поясніть, чому зменшується потужність лампи розжарювання, коли її спіраль унаслідок випаровування стає тоншою.

§ 35. ЗАКОН ДЖОУЛЯ–ЛЕНЦА

Електричний струм нагріває провідник. Це явище вам добре відоме. Пояснюється воно тим, що заряджені частинки, переміщуючись під впливом електричного поля, взаємодіють з атомами речовини провідника та передають їм свою енергію. Унаслідок роботи електричного струму внутрішня енергія провідника збільшується.

Англійський фізик Джеймс Джоуль і російський фізик Емілій Ленц на основі дослідів установили, що в нерухомих металевих провідниках уся робота електричного струму витрачається на збільшення їхньої внутрішньої енергії. Нагрітий провідник віддає отриману енергію навколишнім тілам, але вже внаслідок теплообміну.

Вони дійшли висновку, що кількість теплоти, яка виділяється в нерухомому провіднику зі струмом, визначається добутком квадрата сили струму, опору провідника й часу проходження струму.

Цей висновок отримав назву закону Джоуля–Ленца:

$$Q = I^2 R t,$$

де Q – кількість теплоти, яка виділяється провідником зі струмом; I – сила струму у провіднику; R – опір провідника; t – час проходження струму.

Якщо провідники з'єднано паралельно, то вони перебувають під однаковою напругою. У цьому разі кількість теплоти у провіднику зручно визначати за формулою:

$$Q = \frac{U^2 t}{R}.$$

За законом збереження енергії кількість теплоти, що передається навколишньому середовищу, дорівнює роботі електричного струму:

$$Q = A = I^2 R t = \frac{U^2 t}{R} = U I t.$$

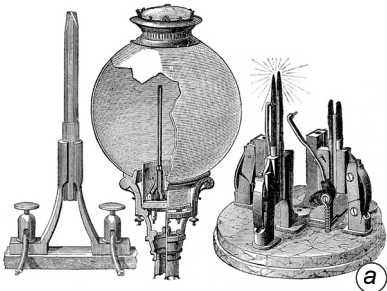


ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Чому саме формула $Q = I^2 R t$, що використовується для розрахунку кількості теплоти, виражає суть закону Джоуля–Ленца?
2. Якщо в коло паралельно ввімкнути мідний і сталевий дроти однакової довжини та однаковою площею поперечного перерізу, то в мідному провіднику за той самий час виділиться більше теплоти. Чому?
3. При послідовному з'єднанні найбільше нагрівається провідник з найбільшим опором. Доведіть це.

§ 36. СПОЖИВАЧІ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ. ЕЛЕКТРОНАГРІВАЛЬНІ ПРИБАДИ

З доісторичних часів і до середини XIX ст. людина використовувала для освітлення смолоскипи (факели), свічки, газові лампи й газові пальники. Лише в 1878 р. деякі вулиці й площі Парижа було освітлено електричними свічками – лампами з електричною дугою



Мал. 192



б



Мал. 193



Мал. 194

(мал. 192, а). Електричну свічку створив винахідник **Павло Яблочков**, тому її ще називають «свічкою Яблочкова».

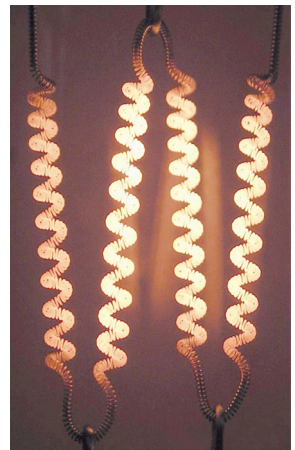
У 1870 р. інший електротехнік **Олександр Лодигін** сконструював електричну лампу розжарювання. Вона складалася зі скляного балона, у якому розміщувався тонкий вугільний стержень, закріплений між двома мідними провідниками (мал. 192, б). Вугільний стержень під час роботи лампи розжарювався й ставав джерелом світла, але швидко перегорів (за 30–40 хв). Коли Лодигін відкачав з балона повітря, то час роботи лампи збільшився.

У 1879 р. американський винахідник **Томас Едісон** винайшов спосіб одержання тонких вугільних ниток, які використовував у конструкції електричної лампи (мал. 193). Він також запропонував зручний спосіб вмикання лампи в електромережу за допомогою гвинтового цоколя та патрона. Тим самим Едісон сприяв швидкому поширенню електричного освітлення.

На початку ХХ ст. створюють більш економні лампи з металевою зигзагоподібною ниткою (мал. 194). Великим недоліком таких електроламп було випаровування матеріалу нитки під час її розжарювання, тому час роботи ламп скорочувався. Крім того, матеріал, що випаровувався, осідав на стінках скляного балона і затемнював його.

У 1906 р. Лодигін сконструював лампу з ниткою з вольфраму. Вольфрам – тугоплавкий метал, що плавиться за температури 3380 °С. Щоб зменшити швидке випаровування вольфраму, балон лампи почали наповнювати інертними газами – аргоном (з домішками азоту), криптоном. Згодом для зменшення теплових втрат вольфрамову нитку в лампі почали виготовляти у вигляді спіралі (мал. 195).

Для освітлення в побуті та більшості випадків на виробництві застосовують електричні лампи розжарювання, розраховані на напругу 220 В, потужністю від 15 до 150–200 Вт; для освітлення залізничних вагонів використовують лампи, які розраховані на напругу 50 В, автомобілів – 12 і 6 В, у кишенькових ліхтариках – 6,3; 3,5; 2,5 і 1 В. Для спеціальних потреб виготовляють лампи розжарювання великої потужності. На малюнку 196 ви бачите лампу, потужність якої



Мал. 195



500 Вт. Лампи такої потужності потрібно охолоджувати спеціальними вентиляторами.

Час роботи електричної лампи розжарювання становить 1000 год і залежить від напруги, що подається на лампу. Наприклад, якщо на лампу, розраховану на 220 В, подавати напругу 222 В, то час її роботи зменшиться на 130 год.

Крім ламп розжарювання, людина для власних потреб використовує газорозрядні лампи денного світла (їх ще називають люмінесцентними лампами). Це довгі (від 10 до 120 см) скляні запаяні трубки (мал. 197, а). Повітря із трубки викачують і вводять краплину ртуті та трохи газу – аргону, криптону, неону тощо. Усередині поверхню прозорого скла покривають речовиною, що світиться під дією ультрафіолетового випромінювання, яке супроводжує електричний розряд у газовій суміші. Підбираючи дослідним шляхом склад цієї речовини, можна отримати світло будь-якого кольору. Під час світіння ламп денного світла температура в них не перевищує 50 °С.

Люмінесцентні лампи за своєю економічністю перевищують в 5–7 разів лампи розжарювання, до того ж час їх роботи у 2–3 рази довший. Нині використовують енергоощадні лампи (мал. 197, б), потужність яких – 4–250 Вт, середній термін використання сягає 12 000–25 000 годин. Крім цього, альтернативними джерелами світла є світлодіодні лампи, які набагато ефективніші за будь-які освітлювальні прилади (мал. 197, в).

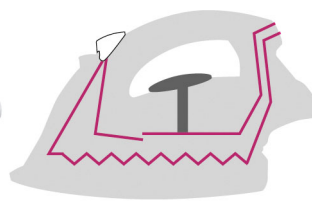
Теплову дію струму використовують у різних електронагрівальних приладах і установках. У побуті широко застосовують електричні



Мал. 198



Мал. 199



Мал. 200

плитки, праски, чайники, кип'ятильники, водонагрівачі та електро-радіатори (мал. 198), у промисловості виплавляють спеціальні сорти сталі та багато інших металів, зварюють метали (мал. 199), у сільському господарстві – обігрівують теплиці, інкубатори, висушують зерно тощо.

Основною частиною нагрівального електричного приладу є **нагрівальний елемент**. Нагрівальний елемент – це провідник з великим опором, який здатний витримувати, не руйнуючись, нагрівання до високої температури (1000–1200 °С).

Найчастіше для виготовлення нагрівальних елементів застосовують сплав нікелю, заліза, хрому й марганцю, відомий під назвою «ніхром». Великий опір ніхрому дає змогу виготовляти з нього дуже зручні, малі за розмірами, нагрівальні елементи. У нагрівальному елементі провідник у вигляді дроту, стрічки або спіралі намотують на каркас чи прикріплюють до арматури з жаростійкого матеріалу – слюди, кераміки. Наприклад, нагрівальним елементом в електричній прасці (мал. 200) є ніхромова стрічка або спіраль, від якої нагрівається нижня частина (підощва) праски.



ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Назвіть винахідників ламп розжарювання.
2. Які електричні лампи використовують для практичних потреб людини?
3. Оцініть (приблизно) ККД електричної лампи розжарювання.
4. Назвіть електронагрівальні прилади, які ви знаєте.
5. Що таке нагрівальний елемент?



РОЗВ'ЯЗУЄМО РАЗОМ

1. Амперметр показує силу струму в колі 15 А, вольтметр – напругу на ділянці 24 В. Яку роботу виконає електричний струм за 20 хв?

Дано:

$$I = 15 \text{ А}$$

$$U = 24 \text{ В}$$

$$t = 20 \text{ хв} = 1200 \text{ с}$$

$A = ?$

Розв'язання

Щоб визначити роботу електричного струму, потрібно скористатися формулою:

$$A = UIt.$$

Підставивши значення величин, отримаємо:

$$A = 24 \text{ В} \cdot 15 \text{ А} \cdot 1200 \text{ с} = 432\,000 \text{ Дж} = 432 \text{ кДж}.$$

Відповідь: електричний струм виконав роботу 432 кДж.

2. Яку потужність повинен мати електричний двигун, щоб він за 20 хв виконав роботу 100 кДж?

Дано:

$$A = 120 \text{ кДж} = 120\,000 \text{ Дж}$$

$$t = 20 \text{ хв} = 1200 \text{ с}$$

P – ?

Розв'язання

Щоб визначити потужність електро-двигуна, потрібно роботу електричного струму поділити на час його роботи:

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

Підставивши значення величин, отримаємо:

$$P = 120\,000 \text{ Дж} : 1200 \text{ с} = 100 \text{ Вт.}$$

Відповідь: потужність електричного двигуна 100 Вт.

3. Дві електричні лампи потужністю 60 Вт і 100 Вт увімкнено в мережу 220 В паралельно. Яка з них світитиметься яскравіше?

Відповідь: лампа потужністю 100 Вт світитиметься яскравіше.



ЗАДАЧІ ТА ВПРАВИ

Рівень А

268. Обчисліть роботу струму в електричній лампі за 10 хв, якщо сила струму в ній становить 0,2 А і прикладено напругу 220 В.

269. Опір електричної плитки дорівнює 80 Ом. Напруга в електромережі 220 В. На яку потужність розрахована плитка?

270. Обчисліть потужність струму в електричній лампі, якщо при напрузі 220 В сила струму в ній дорівнює 0,25 А.

271. Електрична лампа ввімкнута в освітлювальну мережу 220 В. Обчисліть силу струму в ній та її опір, якщо потужність лампи дорівнює 100 Вт.

272. Щоб перевірити правильність показів лічильника, учень увімкнув на 6 хв кілька споживачів енергії, розрахованих на загальну потужність 1 кВт, і підрахував, що за цей час диск лічильника зробив 120 обертів (1 кВт · год = 1200 обертів). Чи правильно вимірює спожиту енергію лічильник? Визначте роботу струму за цей час.

273. Яка сила струму в електроплитці, якщо вона розрахована на напругу 220 В і потужність 600 Вт?

274. Визначте кількість теплоти, яка виділяється у провіднику опором 120 Ом, якщо по ньому протягом 40 хв проходив струм 1,5 А.

Рівень Б

275. Користуючись законом Ома, виразіть роботу струму через силу струму, опір і час; через напругу, опір і час.

276. На дві електричні лампи потужністю 100 і 25 Вт, з'єднані паралельно, подається напруга 220 В. Визначте силу струму в кожній лампі. У якій лампі більший опір нитки розжарювання?

277. На електролічильнику є такі написи: 220 V (220 В), 5–17 А, 1 kW · h (1 кВт · год) = 1200 обертів диска. Що означають ці написи? На яку найбільшу потужність розрахований лічильник? Скільки ламп по 100 Вт можна ввімкнути в електромережу? Скільки обертів зробить диск лічильника, якщо протягом 2 год буде ввімкнено електропраску потужністю 1 кВт?

- 278.** Нехай лічильник зафіксував значення роботи струму, яке дорівнює $500,4 \text{ кВт} \cdot \text{год}$. Що покаже лічильник, якщо в будинку протягом 10 год світилося 10 електричних ламп потужністю 100 Вт? Яку суму грошей потрібно заплатити, якщо вартість $1 \text{ кВт} \cdot \text{год}$ становить 0,456 к.?
- 279.** Дві лампи потужністю по 100 Вт кожна, розраховані на напругу 120 В, увімкнено послідовно в електромережу 220 В. Визначте силу струму в колі й напругу на кожній з ламп.
- 280.** Дві електричні лампи опором 80 і 160 Ом увімкнено в коло послідовно. У якій з них виділиться більше теплоти за один і той самий час?
- 281.** Дві електричні лампи опором 80 і 160 Ом увімкнено в коло паралельно. У якій з них виділиться більше теплоти за один і той самий час?
- 282.** На електричному чайнику є напис «1,2 кВт, 220 В». Що означає цей напис? Який струм виникає в нагрівальному елементі чайника за нормального режиму роботи? Яка кількість теплоти виділяється в нагрівальному елементі за 3 хв? Чи достатньо цієї теплоти, щоб нагріти до кипіння 1,5 л води, температура якої $20 \text{ }^\circ\text{C}$?
- 283.** Дві електричні лампи потужністю 40 і 100 Вт, розраховані на напругу 110 В, увімкнено в мережу 220 В послідовно. Яка з ламп світитиметься яскравіше? Чи можуть довго світитися лампи за таких умов?
- 284.** Яка кількість теплоти виділиться за 20 хв в електричному чайнику опором 100 Ом, якщо його ввімкнути в мережу напругою 220 В? Яка маса води, наливої в чайник, якщо вона нагрілася за цей час від $20 \text{ }^\circ\text{C}$ до кипіння?
- 285.** Електрична плитка опором 80 Ом працює при напрузі 220 В. Скільки потрібно часу, щоб закипів чайник, у якому міститься 3 л води? Початкова температура води дорівнює $10 \text{ }^\circ\text{C}$. ККД нагрівального елемента плитки 60 %. Теплоємністю чайника знехтуйте.

§ 37. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ У РОЗЧИНАХ І РОЗПЛАВАХ ЕЛЕКТРОЛІТІВ

Досі ми вивчали закономірності проходження електричного струму в металевих провідниках і знаємо, яке велике практичне значення має це явище. *А чи існують провідники електрики з неметалів?*

Вивчаючи далі явища електричного струму в різних середовищах, переконаємося, що електричний струм, окрім металів, може існувати також у рідинах, газах і навіть у вакуумі. У цих випадках розглядатимемо замкнене коло, у якому є ділянка провідника, що складається з речовини в рідкому чи газуватому стані, або зовсім не містить речовини, тобто є вакуумним проміжком. Провідники, які підводять напругу (струм) до цієї ділянки, називають **електродами**. Електрод, приєднаний до позитивного полюса джерела струму, називають **анодом**, а до негативного полюса – **катодом**. Під час проходження струму до анода притягуються вільні електрони й негативні йони (**аніони**), а до катода – позитивні йони (**катіони**).

Ви вже добре знаєте, що для існування електричного струму в речовині, поміщеній в електричному полі, обов'язковою умовою є наявність рухомих, або вільних, електричних зарядів, тобто таких, які можуть в речовині переміщуватися під дією електричного поля на відстані, обмеженій тільки розмірами зразка. У металевих провідниках носіями

струму є вільні електрони, а йони металу жорстко зв'язані у вузлах кристалічних ґраток і можуть здійснювати лише коливальні рухи.

У подібному зв'язаному стані перебувають йони в інших твердих тілах з йонною структурою – йонних кристалах, прикладом яких є звичайна кухонна сіль (NaCl). Вільних електронів у йонних кристалах немає, а ті, що віддають атоми металу (Na^+), утворюють негативні йони галогену (Cl^-), унаслідок чого виникає хімічний зв'язок. Отже, вільних носіїв електрики в йонних кристалах немає, тому за невисоких температур вони є гарними ізоляторами. У цьому неважко переконатися, якщо спробувати утворити електричне коло, зануривши два провідники, приєднані послідовно з мікроамперметром до джерела струму, у посудину з кристалами сухої кухонної солі: ніякого струму не виявимо.

Якщо ж надати йонам рухливості, перевівши йонні кристали в рідкий стан шляхом їх нагрівання і розплавлення, то речовина стане провідником струму. Відомо, що розплави солей та інших сполук проводять струм. Провідниками струму є також водні та інші розчини солей кислот і лугів.

Дистильована вода, що має молекулярну структуру, є гарним ізолятором, оскільки в ній немає вільних електричних зарядів, отже, у ній не може виникнути електричний струм.

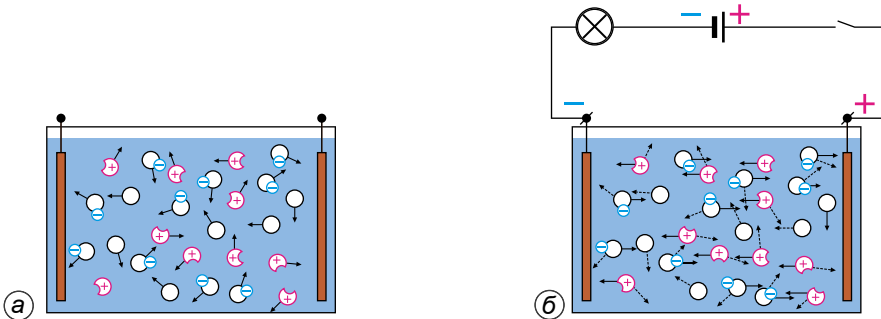
Водні розчини або розплави речовин, які проводять електричний струм, називають *електролітами*.

Дослід. Складемо електричне коло, зображене на малюнку 138 (див. с. 104), і наллємо в посудину дистильованої води. Лампа не світитиметься, а амперметр покаже відсутність електричного струму в колі.

Але якщо розчинити у воді яку-небудь сіль, кристали якої мають йонну структуру, наприклад кухонну сіль (NaCl) або мідний купорос (CuSO_4), то в колі виникне струм, лампа почне світитися. Спробуємо з'ясувати, у чому тут причина.

Молекула води полярна, тобто її можна уявляти об'єктом видовженої форми, на кінцях якого зосереджено електричні заряди протилежних знаків. Отже, електричне поле молекул води сприяє розпаду йонних кристалічних ґраток на вільні йони (мал. 201, а).

Руйнуванням кристалічних ґраток супроводжується також процес плавлення солей, у результаті якого утворюється рідина, що складається з вільних йонів.



Мал. 201

Розщеплення молекул на йони у водному розчині або в розплаві називають електролітичною дисоціацією.

Типовими електролітами є розчини солей, солі, кислоти й луги, багато органічних сполук.

Що ж відбудеться, якщо в розчині електроліту створити електричне поле (мал. 201, б)? Очевидно, що позитивні йони (катіони) почнуть рухатися до негативно зарядженого електрода – катода, а негативні йони (аніони) – до позитивно зарядженого електрода (анода). У колі виникне електричний струм, зумовлений напрямленим рухом електричних зарядів обох знаків.

Отже, електричний струм у розчинах електролітів – це впорядкований рух йонів.

Якщо струм проходить крізь розчин мідного купоросу, то із часом виявимо, що на катоді утворився тонкий шар міді. Отже, у розчині під дією електричного поля до катода переміщуються позитивно заряджені йони Cu^{2+} , які під час контакту з катодом приєднують до себе недостатні електрони й нейтралізуються. Нейтральні атоми, що утворилися, осідають на електроді. Бачимо, що на відміну від металів струм в електроліті супроводжується перенесенням речовини.

Процес виділення речовини на електродах під час проходження електричного струму крізь розчини або розплави електролітів називають електролізом.

У 1833–1834 рр. видатний англійський учений Майкл Фарадей експериментально встановив кількісні співвідношення явища електролізу. Перший закон Фарадея для електролізу дає змогу обчислити масу речовини, яка виділяється на електроді.

Маса речовини, яка виділяється на електроді під час електролізу, прямо пропорційна силі струму і часу проходження струму через електроліт:

$$m = kIt,$$

де m – маса виділеної на електроді речовини; k – коефіцієнт пропорційності – **електрохімічний еквівалент** даної речовини (подається в таблицях); I – сила струму в колі; t – час проходження електричного струму.

Виходячи з першого закону Фарадея, можна експериментально визначити значення електрохімічного еквівалента даної речовини.

Електрохімічний еквівалент визначається відношенням маси речовини, яка виділяється на електроді під час електролізу, до електричного заряду, який пройшов через електроліт:

$$k = \frac{m}{It}.$$

Одиницею електрохімічного еквівалента в СІ є один кілограм на кулон (1 кг/Кл).

Електроліз широко застосовується в промисловості. За допомогою електролізу (гальваностегії) можна покривати металеві деталі тонким шаром іншого металу. У такий спосіб проводять нікелювання, хромування, золочення й обміднення різних виробів.

Пропускаючи електричний струм крізь розплави деяких солей, можна виділяти метали в чистому виді. Так отримують алюміній, рафіновану (надчисту) мідь та інші метали. За допомогою електролізу очищають метали від домішок, наприклад неочищену мідь, добуту з руди. Її відливають у формі товстих листів, які потім уміщують у ванну як аноди. Під час електролізу мідь анода розчиняється, домішки, які містять цінні й рідкісні метали, випадають в осад, а на катоді осідає чиста мідь.

У 1836 р. **Борис Семенович Якобі** (1801–1874) запропонував процес одержання відшаровуваних покриттів (**гальванопластику**) і застосував його для виготовлення порожнистих фігур, що прикрасили Ісаакіївський собор у Санкт-Петербурзі.



ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. У чому полягає явище електролітичної дисоціації?
2. Чому кристали з йонним зв'язком є електролітами?
3. Поясніть механізм виникнення струму в електролітах.
4. Назвіть відмінності у проходженні електричного струму в металах та розчинах і розплавах електролітів.
5. Розкажіть, що таке електроліз і де його застосовують.
6. Яка одиниця електрохімічного еквівалента? Що показує значення електрохімічного еквівалента певної речовини?
7. Яке практичне та наукове значення першого закону електролізу Фарадея?

§ 38. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ У ГАЗАХ. САМОСТІЙНИЙ І НЕСАМОСТІЙНИЙ РОЗРЯДИ

Гази є добрими ізоляторами тому, що за звичайних умов – низьких температур і відсутності зовнішнього опромінення (ультрафіолетового, рентгенівського, радіоактивного) – вони складаються з нейтральних атомів або молекул. У них немає вільних електричних зарядів, упорядковане переміщення яких і спричиняє електричний струм. Однак за деяких умов можна одержати електричний струм і в газах.

Дослід 1. Зарядимо (наприклад, від електрофорної машини) алюмінієві диски, з'єднані провідниками з виводами електрометра (мал. 202, а). Спостерігатимемо, що відхилення стрілки електрометра залишатиметься сталим, тому що електрична провідність повітря за умов кімнатної температури та сухого повітря дуже мала, і пластини помітно не розряджаються.

Внесемо у простір між дисками полум'я від запаленого сірника або свічки (мал. 202, б). Побачимо, що електрометр швидко розрядився. Отже, повітря внаслідок значного підвищення температури набуло провідності й замкнуло коло, тобто в нагрітому газі проходить електричний струм.



Мал. 202

Процес проходження електричного струму крізь газ називають газовим розрядом.

Унаслідок нагрівання або випромінювання частина атомів газу йонізується – розпадається на позитивно заряджені йони й електрони. У газі можуть утворюватися і негативно заряджені йони (коли вільні електрони приєднуються до нейтральних атомів).

Йонізація газів під час нагрівання пояснюється тим, що деякі молекули починають рухатися так швидко, що частина з них під час зіткнення розпадається, перетворюючись на йони. Що вища температура газу, то більше утворюється йонів. У нашому досліді полум'я свічки виконувало роль **йонізатора**, тобто джерела йонів.

Процес, який забезпечує йонізацію газу й подальший розвиток газового розряду, називають йонізатором.

Як йонізатор діють *рентгенівські промені*, а також *радіоактивне випромінювання*, яке вивчатимемо згодом. За нормальних умов навколишнє повітря завжди певною мірою йонізоване внаслідок сонячних променів і **космічного випромінювання** (потік швидких заряджених частинок, переважно протонів, які потрапляють на Землю з глибин космосу).

Механізм провідності газів подібний до механізму провідності розчинів і розплавів електролітів, але відмінність полягає в тому, що негативний заряд переноситься в основному не негативними йонами, а вільними електронами, хоча провідність за рахунок негативних йонів також може відігравати певну роль.

Отже, у газах поєднується електронна провідність, подібна до провідності металів, з йонною провідністю, подібною до провідності водних розчинів і розплавів електролітів.

Якщо ми припиняємо нагрівати або опромінювати газ, то він знову стає діелектриком. Струм припиняє проходити після того, як усі йони й електрони досягнуть електродів. Крім того, при зближенні електрона і позитивно зарядженого йона знову утворюється нейтральний атом. Такий процес називають **рекомбінацією** заряджених частинок.

Якщо немає зовнішнього електричного поля, то заряджені частинки зникають лише внаслідок рекомбінації, і газ стає діелектриком.

У газах розряд може відбуватися і без нагрівання та опромінення. Інколи він може підтримувати себе сам. *За яких умов це можливо?*

Дослід 2. Візьмемо запаяну й наповнену повітрям скляну трубку з двома металевими електродами, до яких прикладемо напругу, склавши коло, зображене на малюнку 203. Уважатимемо, що на газ у трубці діє якийсь йонізатор. Якщо напруга між електродами трубки невелика, то позитивно заряджені йони переміщуються до негативного електрода, а електрони й негативно заряджені йони – до позитивного. Унаслідок цього у трубці виникає електричний струм, тобто відбувається газовий розряд.

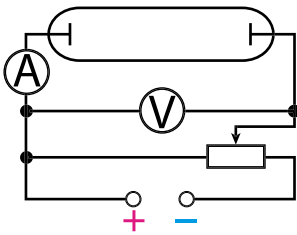
Оскільки в міжелектродному просторі водночас відбувається процес рекомбінації, то не всі утворені електрони і йони досягають електродів трубки.

У разі збільшення напруги між електродами помічаємо, що в колі збільшується сила струму. Потім настає момент, коли сила струму не змінюється. Струм досягає насичення (мал. 204). Якщо дія **йонізатора** (нагрівання, опромінення) припиняється, то припиняється й розряд, оскільки інших джерел йонів немає. Тому такий розряд називають **несамостійним розрядом**.

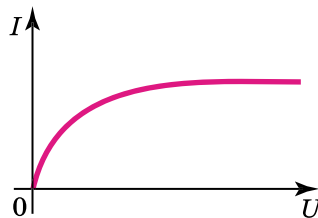
Що ж станеться з розрядом у газі, якщо збільшувати напругу на електродах трубки? Дослід показує, що в газі зі збільшенням напруги на електродах трубки, починаючи з деякого значення, сила струму знову збільшується (мал. 205). Це відбувається тому, що в газі додатково відбувається **йонізація електронним ударом** у результаті зіткнень прискорених електричним полем електронів з атомами газу. Унаслідок цього виникає значно більше йонів, ніж у результаті дії йонізатора. Сила струму збільшується в тисячі разів, а кількість йонів може стати такою, що зовнішній йонізатор уже не потрібний для підтримання розряду.

Оскільки такий розряд не потребує для свого підтримання зовнішнього йонізатора, його називають **самостійним розрядом**. Залежно від властивостей і стану газу, характеру й розміщення електродів, а також від прикладеної до електродів напруги виникають різні види самостійного розряду.

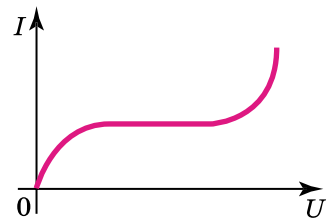
Тліючий розряд спостерігається при низьких тисках (десяті й соті частки міліметра ртутного стовпчика) і напрузі між електродами в кілька сотень вольтів.



Мал. 203



Мал. 204



Мал. 205

Тліючий розряд використовують у рекламних трубках. Якщо трубка наповнена неоном, то виникає червоне світіння, якщо аргоном – то синювато-зелене. У лампах денного світла використовують розряд у парі ртуті.

Електрична дуга – явище виникнення яскравого світлого стовпа газу між двома вугільними електродами за низької напруги.

Електричну дугу «запалюють» так. Спочатку зближують і вводять у контакт вугільні електроди, замикаючи коло. Унаслідок теплової дії струму, що проходить через точкові контакти з великим електричним опором, кінці електродів розжарюються до світіння. З поверхні електродів при цьому вилітають з великою швидкістю електрони й через зіткнення йонізують газ у прилеглому просторі. Якщо електроди розвести, то електричний струм у колі не припиняється, він проходить через йонізований газ, що супроводжується його розжаренням і яскравим світінням.

Сила струму в невеликій дузі сягає кількох ампер, а в потужних дугах – кількох сотень ампер за напруги приблизно 50 В.

Під час горіння дуги повітря або інший газ у проміжку між вугільними електродами розігрівається до кількох тисяч градусів і, піднімаючись угору внаслідок конвекції, вигинає світний стовпчик у формі дуги, за що цей вид газового розряду й отримав свою назву (мал. 206). Дуговий розряд – потужне джерело світла. Його використовували у прожекторах, проєкційних апаратах і кіноапаратах. У металургії досить поширені електропечі, у яких джерелом тепла є дуговий розряд. Дуговий розряд використовують для зварювання металів.



Мал. 206

Коронний розряд – це світна область, яка нагадує корону. Він утворюється при атмосферному тиску поблизу загострених частин провідника з великим електричним зарядом.

Газ у цьому разі *йонізують ударом* електрони, прискорені сильним неоднорідним електричним полем, яке виникає поблизу загострених заряджених провідників.

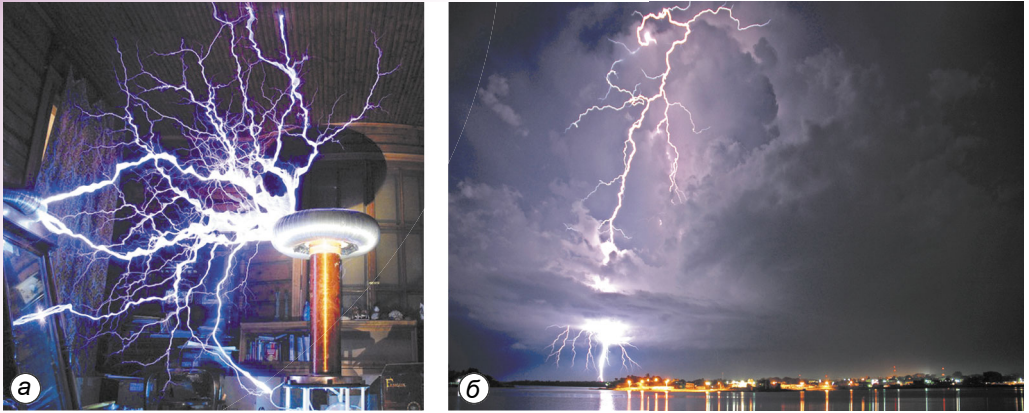
Перед грозою або у грозу часто на вістрях і гострих кутах високо піднятих предметів спалахують схожі на щіточки конуси світла, наприклад на вістрях корабельних щогл (мал. 207). З давніх-давен це світіння називають вогнями святого Ельма.

Коронним розрядом не можна нехтувати, якщо маєш справу з високою напругою. Коли є виступні частини або дуже тонкі проводи, то може виникнути коронний розряд. Це призводить до втрат електроенергії. Що вища напруга високовольтною лінії, то товщими мають бути проводи.



Мал. 207

Іскровий розряд виникає за високої напруги між електродами в повітрі (мал. 208, а) і має вигляд пучка яскравих зигзагоподібних смужок, що відгалужуються від тонкого каналу.



Мал. 208

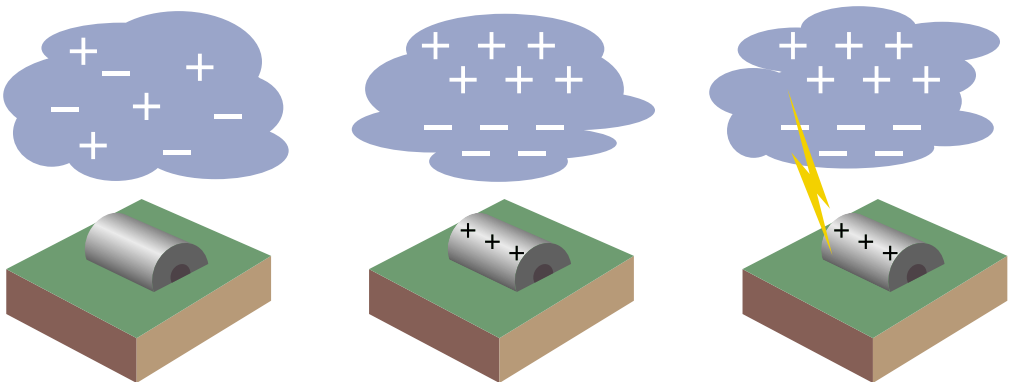
При іскровому розряді газ йонізують ударом прискорені сильним електричним полем електрони, що виникають в окремих місцях у проміжку між електродами внаслідок природної йонізації повітря.

За допомогою іскрового розряду можна обробляти деталі з тугоплавких металів, тому що велика енергія цього розряду виділяється в малому об'ємі за дуже малий інтервал часу. Тому теплообміну між зоною розряду і навколишнім середовищем практично немає. У місці розряду температура металу різко підвищується, і відбувається його випаровування.

Прикладом велетенського іскрового розряду є блискавка (мал. 208, б). Вивченням цього явища природи займалися багато вчених, зокрема **Б. Франклін**, **М.В. Ломоносов**, **Г.В. Ріхман**. У 1753 р., досліджуючи атмосферну електрику, Ріхман загинув від удару блискавки.

Багаторічними дослідженнями встановлено, що під час руху повітря за рахунок конвекції повітряні потоки й хмари в результаті зіткнень електризуються. При цьому одна частина хмари (наприклад, верхня) електризується позитивно, а друга – негативно.

Напруга між двома хмарами, а також між хмарами і землею сягає десятків мільйонів вольтів. У результаті виникає гігантська іскра – блискавка (мал. 209).



Мал. 209

Для захисту споруд (будинків, опор ліній електропередачі тощо) поблизу них встановлюють щоглу із загостреним металевим стержнем, що добре з'єднаний (спаяний, зварений) товстим проводом із закопаним глибоко в землю металевим предметом, тобто **заземлений** (мал. 210). Цей пристрій називають **блискавковідводом** (часто – громовідводом, або блискавичником).



Мал. 210

Спрощено принцип роботи блискавковідводу можна пояснити так. Гроза хмара власним електричним полем вловлює у блискавковідводі електричний заряд, протилежний за знаком до заряду хмари. Цей заряд створює поряд з вістрям блискавковідводу сильне електричне поле, у якому починається «тихий» коронний розряд, який забирає на себе енергію взаємодії наведеного хмарою електричного заряду, чим зменшує ймовірність розвитку блискавки.

Розміри території, захищеної блискавковідводом на поверхні землі, визначаються висотою блискавковідводу.



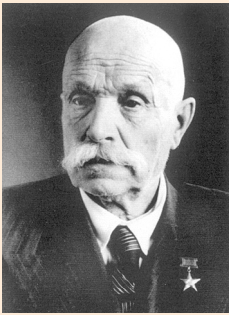
ЧИ ЗНАЄТЕ ВИ, ЩО...

- Блискавка – досить часте явище на Землі. Як підраховали вчені, щодня на земній кулі відбувається близько 44 000 гроз або приблизно одна гроза через кожні 2 с. Грози найчастіше бувають у другій половині дня. Тривалість більшості гроз – близько 1 год. Однак у тропіках і горах вони іноді тривають до 12–13 год. Найбільшу кількість грозових днів – 220 на рік – зафіксовано на острові Ява. У місті Санта-Марія (штат Каліфорнія в США) гроза відбувається не частіше одного разу на 2 роки. Щодня на земній кулі спалахує близько 8 млн блискавок.

- Вольтів стовп і батарея відкрили можливості для широких експериментів із сильним електричним струмом. Багато вчених виготовляли такі джерела струму і проводили з ними цікаві досліді.

У 1802 р. професор Петербурзької медико-хірургічної академії **В. В. Петров** (1761–1834) сконструював найпотужнішу батарею того часу. Вона складалася із 4200 мідних і цинкових кружків, укладених у чотири дерев'яні ящики. Приєднавши мідною дротиною до полюсів батареї два вугільні стержні (електроди), учений наблизив стержні один до одного і побачив, що між ними раптом спалахнула яскрава дуга. Вона освітила лабораторію, поміщені в неї шматки металу дуже швидко плавилися. Так була відкрита **електрична дуга**.

- **Спосіб зварювання металів за допомогою електричної дуги** запропонував у 1881 р. уродженець с. Мостового Миколаївської області винахідник **Микола Миколайович Бенардос** (1842–1905). Він запатентував загалом близько 100 винаходів у галузі транспорту та енергетики. Так, учений сконструював вугільні електроди різних форм та комбіновані електроди (вуглець – метал); запропонував спеціальне пристосування для зварювання у вертикальному положенні; уперше використав електромагніт для закріплення деталей, що зварюються; створив кілька конструкцій зварювальних напівавтоматів та автоматів; розробив способи підводного зварювання та різання металів, зварювання в газовому струмені, точкового і шовного контактного зварювання.



Євген Патон

- Здобутки українських учених у дослідженні проблем зварювання металів продовжив **Євген Оскарівич Патон** (1870–1953) – засновник вітчизняної школи зварювання. За його ініціативи при тодішній АН УРСР було організовано лабораторію, на базі якої в 1934 р. створили Інститут електрозварювання, директором і науковим керівником якого був Є.О. Патон. Основні праці вченого стосувалися наукових і технологічних основ дугового зварювального процесу та проблеми його автоматизації, створення електрозварювальної апаратури.

В Інституті електрозварювання АН УРСР безпосередньо під керівництвом Є.О. Патона (1939–1940 рр.) було завершено розробку методу високопродуктивного автоматичного зварювання під флюсом. Інститут розробив технологію зварювання броньованої сталі, що уможливило створення поточного механізованого виробництва бронекорпусів танків. За допомогою автоматичного зварювання під флюсом було налагоджено виробництво авіабомб, артилерійських снарядів. Цей період діяльності Інституту, якому в 1945 р. було присвоєно ім'я Є.О. Патона, став становленням нової наукової школи (В.В. Шeverницький, О.А. Казимиров, Г.В. Раєвський, А.М. Макара, Б.Є. Патон, Б.І. Медовар, Д.М. Рабкін, С.І. Фрумін). На честь Є.О. Патона названо міст через Дніпро у Києві, який він сконструював (1953 р.). Пізніше справу батька продовжив син – Б.Є. Патон, який з 1953 р. очолював Інститут електрозварювання імені Є.О. Патона.



Борис Патон

- **Борис Євгенович Патон** (1918–2020) – видатний український учений в галузі зварювання, металургії і технології металів, державний і громадський діяч, президент Національної академії наук України з 1962 р. Під його керівництвом Інститут електрозварювання став потужним науково-технічним комплексом, до структури якого входять науково-дослідний інститут, конструкторсько-технологічні й експериментальні підрозділи, три дослідних заводи, а також інноваційні організації, науково-інженерні та атестаційні центри.

Найбільш успішними стали розробки технологій нероз'ємного з'єднання й обробки металів і неметалів у різних умовах і середовищах. До них належать зварювання і наплавлення під флюсом, зварювання в захисних газах суцільним і порошковим дротом, електрошлакове зварювання, стикове зварювання оплавленням, газотермічне напилювання, променеві технології та інші процеси.

Фактично було створено нову, перспективну галузь металургії – спеціальну електрометалургію. Завдяки їй стало можливим лиття особливо чистих спеціальних сталей і сплавів, кольорових металів, одержання унікальних композиційних матеріалів.

Б.Є. Патон першим започаткував дослідження у відкритому космосі в галузі технології металів, створення унікальних конструкцій. Під його керівництвом у 1984 р. космонавти С.Є. Савицька та В.О. Джанібеков уперше у світі провели у відкритому космосі зварювання, різання і напилення металів. А вчені-медики за його участі створили новий спосіб з'єднання (зварювання) м'яких тканин людини і тварин, що широко використовується нині в хірургічній практиці.



ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Чому за звичайних умов газ є діелектриками?
2. Поясніть, чому під час нагрівання чи опромінення газу рентгенівськими або ультрафіолетовими променями газ стає провідником?
3. Чому під час нагрівання газу він йонізується?
4. З припиненням дії йонізатора газ знову швидко стає діелектриком. Чому?
5. Який газовий розряд називають несамостійним?
6. Чому розряд у газах з йонізацією ударом називають самостійним?
7. Опишіть процес виникнення електричної дуги між вугільними електродами за низької напруги.
8. Коли виникає коронний розряд?
9. Розкажіть, як виникає блискавка – іскровий розряд.
10. Обґрунтуйте, чому електрична дуга утворюється при низьких напругах, а іскровий розряд – при дуже високих.
11. Чому електричний струм у газах називають «електричним розрядом»?

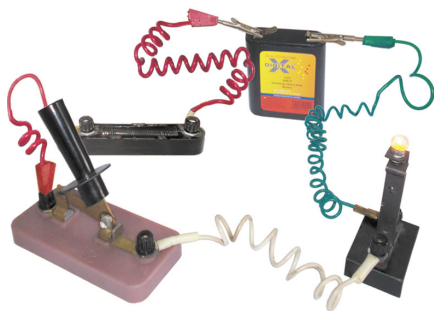
§ 39. БЕЗПЕКА ЛЮДИНИ ПІД ЧАС РОБОТИ З ЕЛЕКТРИЧНИМИ ПРИБАДАМИ І ПРИСТРОЯМИ

Будь-яке електричне коло розраховують на певну силу струму. Якщо з якоїсь причини сила струму в колі перевищить допустиму, то проводи можуть перегрітися, а їхня ізоляція – спалахнути. Причиною значного збільшення сили струму в колі може бути одночасне вмикання багатьох потужних споживачів струму (наприклад, електроплитки, електропраски, пральної машини, водонагрівника) або коротке замикання.

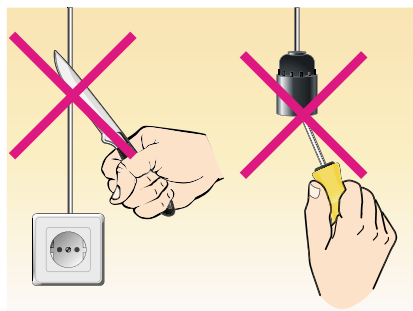
Дослід. Складемо електричне коло з джерела струму, електричної лампи, ключа. Один з проводів цього кола складається з тоненьких провідників. Закнемо ключ – лампа світитиметься. Тепер до затискачів лампи приєднаємо провід і знову замкнемо коло. Лампа погасне, а тоненькі провідники розжаряться і світитимуться (мал. 211) доти, доки ми не розімкнемо коло або вони не перегорять зі спалахом.

Коротким замиканням називають з'єднання кінців ділянки кола провідником, опір якого дуже малий порівняно з опором ділянки кола.

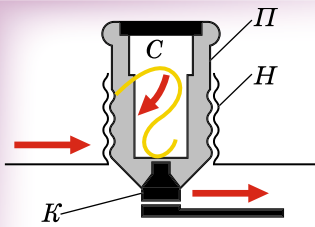
Коротке замикання може виникнути, наприклад, під час ремонту проводки під струмом (мал. 212) або в разі випадкового зіткнення оголених проводів.



Мал. 211



Мал. 212



Мал. 213

Головною частиною запобіжника (мал. 213) є дротина *С* з легкоплавкого металу (наприклад, зі свинцю), розміщена усередині порцелянової (фарфорової) пробки *П*. Пробка має гвинтову нарізку *Н* і центральний контакт *К*. Нарізку з'єднано з центральним контактом свинцевою дротиною. Пробку вкручують у патрон, який міститься всередині порцелянової коробки.

Отже, свинцева дротина є частиною загального кола. Товщина свинцевих дротин розрахована так, що вони витримують певну силу струму, наприклад 4, 6, 10, 16, 25, 32 А. Якщо сила струму в колі перевищить допустиме значення, то свинцева дротина розплавиться і коло розімкнеться.

Запобіжники з провідником, що плавиться, називають **плавкими запобіжниками**.

У різних приладах застосовують різноманітні запобіжники (мал. 214). На малюнку 215 показано запобіжник, дія якого ґрунтується не на плавленні, а на тепловому розширенні тіл під час нагрівання.

Якщо вам доведеться разом з дорослими замінювати запобіжники, то обов'язково розкажіть їм, як потрібно **дотримуватися правил безпеки життєдіяльності**.

Перед тим як замінити перегорілі при короткому замиканні запобіжники, потрібно передусім виявити й усунути це замикання. Для цього необхідно:

- 1) вимкнути всі споживачі струму, які є у квартирі або будинку;
- 2) вставити в гніздо одного із запобіжників лампу розжарювання, що відповідає тій напрузі, яка є в мережі, а в гніздо другого запобіжника – пробку;
- 3) якщо замикання трапилося не в споживачах, а в підвідних проводах квартири, то лампа яскраво світлитиметься;
- 4) якщо замикання в підвідних проводах не виявлено (спіраль лампи розжарена слабо), то потрібно по черзі вмикати всі споживачі струму;
- 5) якщо замикання немає у жодному зі споживачів, то це означає, що у вашій квартирі мережа перевантажена. Потрібно вимкнути зайві споживачі електроструму.



Мал. 214



Мал. 215

Під час роботи з електроприладами необхідно суворо й неухильно дотримуватися застережних заходів. Якщо цим нехтувати, то вашому життю загрожуватиме смертельна небезпека внаслідок можливої електротравми. **Електротравма – ураження людини електричним струмом.** Вона виникає під час контакту тіла людини з електричним кабелем, приладом чи устаткуванням, що перебувають під напругою, за умови їх несправності або порушень правил безпеки під час їх ремонту та експлуатації.

При ураженні електричним струмом має значення його сила, напруга, частота, а також багато інших чинників: місце ураження, час впливу струму на організм, стан навколишнього середовища, особливості організму, шкіри й одягу постраждалого. Тіло людини – провідник. При контакті частин тіла з оголеними проводами або з устаткуванням, що перебувають під напругою, через тіло проходить струм, дія якого може бути небезпечною. Наскільки – залежить від значення сили струму.

Струм силою **0,6–1,5 мА** уже відчувається людиною у вигляді пощипування шкіри чи сильніших больових відчуттів.

Струм силою **5–25 мА** може спричиняти мимовільні непереборні судоми (скорочення м'язів), через що вражена людина не може самостійно від'єднатися від джерела небезпеки. Оскільки м'язи-згиначі сильніші за м'язи-розгиначі, то при контакті з несправним електроприладом чи кабелем є ризик мимоволі обхопити небезпечну поверхню. Зрозуміло, що краще, якщо контакт з увімкненим електроприладом відбувся тильним боком долоні: ураження струмом все одно станеться, але, коли м'язи-згиначі скоротяться, рука відсахнеться від джерела небезпеки.

Струм у межах **50–350 мА** викликає фібриляцію (безладні скорочення) серця, тобто розлад серцевої діяльності аж до його зупинки.

Ступінь травматизму залежить від **місця ураження** й від того, через які органи проходить струм. Є кілька напрямків проходження електричного струму через тіло людини по лінії: нога – нога; рука – рука; рука – нога. Найнебезпечніше, коли струм проходить через серце.

Ступінь ураження залежить і від **часу дії струму на організм.**

Суттєве значення при електротравматизмі має **стан навколишнього середовища.** Вологість, струмопровідна підлога – усе це збільшує дію струму на організм людини. Особливо небезпечно користуватися електроприладами в підсобних приміщеннях і надворі.

Наслідки електротравм залежать і від **стану організму** постраждалого. Сп'яніння, хворобливий стан людини, юний вік, психологічний стрес зменшують опір організму і збільшують ступінь ураження. Зрозуміло, що певний одяг, наприклад гумові рукавиці або гумове взуття, можуть захистити чи суттєво послабити вплив струму на організм людини.

Нормами встановлено значення найбільшої допустимої *напруги торкання* протягом досить тривалого часу її дії: для постійного струму – 8 В (струм протікання 1 мА); для змінного струму – 2 В (струм протікання 0,3 мА). Виходячи з того що значення електричного опору людського тіла може коливатися в межах від ста омів до кількох десятків кілоомів, безпечною вважають постійну напругу 25 В. У приміщеннях з підвищеною вологістю безпечною вважають напругу 15 В.

Навчальний фізичний кабінет у школі належить до приміщень з підвищеною небезпекою. Під час виконання лабораторних та інших робіт учні мають суворо дотримуватися правил електробезпеки, розміщених у кожному кабінеті фізики на спеціальному плакаті.

Усім, хто користується електричним обладнанням, обслуговує чи ремонтує його, завжди треба пам'ятати про таке:

1. Дуже небезпечно одночасно торкатися обома руками до двох оголених проводів.
2. Найнебезпечніше торкатися до оголеного проводу, стоячи на землі, на вологій або бетонній підлозі.
3. Небезпечно користуватися зіпсованими електричними приладами. Їх повинні періодично перевіряти фахівці.
4. Не можна збирати, розбирати чи виправляти будь-що в електроприладі, не від'єднавши його від джерела струму.
5. Не можна розбирати вимикачі, розетки та іншу арматуру електромережі, не викрутивши запобіжники.

На застережних знаках (мал. 216), зображено, чого категорично не можна робити. **Обов'язково дотримуйтеся цих застерег!**

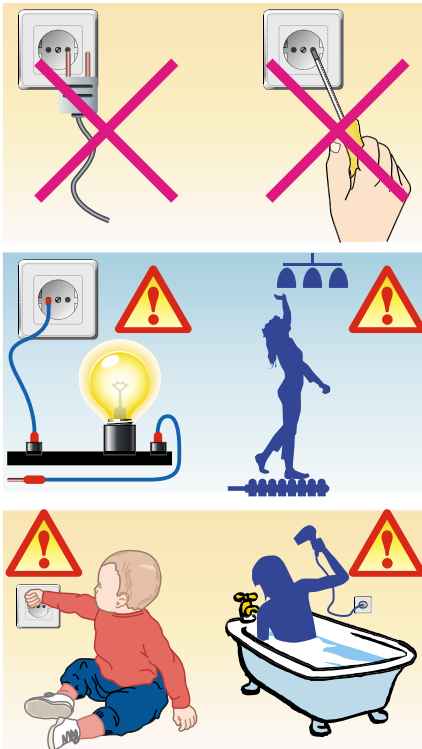
Як надати першу допомогу ураженій електричним струмом людині?

Запам'ятайте: під час ураження електрострумом важлива кожна хвилина, слід негайно розпочати рятувальні заходи, надати ураженому першу допомогу. Насамперед потрібно звільнити людину від контакту з проводом під напругою, по якому проходить струм. Якщо це

відбулося в приміщенні, де є вимикач або штепсель, потрібно вимкнути струм вимикачем або витягнути штепсельну вилку. Якщо випадок стався у приміщенні, де немає вимикача, потрібно викрутити запобіжники або вимкнути головний вимикач (рубильник), що є біля лічильника.

У разі, коли вимикачі розміщено дуже далеко, а людина перебуває під дією струму, рятувальникові насамперед необхідно одягти гумове взуття або гумові рукавиці, скинути з потерпілого сухою дерев'яною (чи з іншого ізоляційного матеріалу) палицею провід або перерізати його ножем, перерубати сокирою, «перекусити» гострозубцями. Варто, однак, пам'ятати, що в усіх перелічених інструментах ручки мають бути виготовлені з ізоляційного матеріалу.

Звільнивши потерпілого від дії струму, треба покласти його на спину, звільнити груди від одягу, викликати лікаря або «швидку допомогу», а якщо це неможливо, то необхідно зробити йому штучне дихання.



Мал. 216

**ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО**

1. Якщо вийняти з води увімкнений електричний кип'ятильник, то його спіраль може перегоріти. Відповідь поясніть.
2. Поясніть, чи можна замість запобіжника вставити товстий провід або пучок тонких мідних провідничків.
3. Поясніть, чи можна наливати воду в електрочайник, увімкнутий у мережу.
4. Чи можна знімати провід з потерпілого за допомогою мокрої палиці або металевого стержня?
5. Чому електромонтери працюють у гумових рукавицях і гумовому взутті?

**РОЗВ'ЯЗУЄМО РАЗОМ**

1. Чому електроліти мають йонну провідність?

Відповідь: тому що носіями струму в електролітах є йони обох знаків; вільних електронів у електролітах немає.

2. Унаслідок проходження електричного струму крізь розчин мідного купоросу на катоді виділилося 52,8 г міді. Який заряд пройшов крізь електроліт, якщо електрохімічний еквівалент міді дорівнює $0,33 \cdot 10^{-6}$ кг/Кл?

Дано:

$$m = 52,8 \text{ г} = 0,0528 \text{ кг}$$

$$k = 0,33 \cdot 10^{-6} \text{ кг/Кл}$$

$$q = ?$$

Розв'язання

Щоб визначити заряд, який пройшов крізь електроліт, скористаємося формулою:

$$q = It.$$

У формулі, що виражає закон Фарадея $m = kIt$, замінимо добуток It на q і одержимо вираз для заряду:

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

Підставивши значення фізичних величин, отримаємо:

$$q = 0,0528 \text{ кг} : 0,33 \cdot 10^{-6} \text{ кг/Кл} = 160 \text{ 000 Кл} = 160 \text{ кКл}.$$

Відповідь: через електроліт пройде заряд 160 кКл.

3. Чому електричний струм у газах назвали «електричним розрядом»?

Відповідь: тому що під час проходження струму крізь газ між двома різнойменно зарядженими тілами вони розряджаються.

**ЗАДАЧІ ТА ВПРАВИ****Рівень А**

286. Чому опір електролітів зменшується з підвищенням температури?
287. Чому в електролітах у твердому стані немає вільних електронів?
288. Чому, перш ніж робити гальванічне покриття, вироби ретельно знежирюють і промивають?
289. Чому для гальванічного покриття виробу найчастіше застосовують нікель і хром?
290. Чому саме водні розчини солей, кислот і лугів є провідниками?
291. Коли в посудині з електролітом, де є носії струму обох знаків, струму немає?

- 292.** Чому з підвищенням температури електроліту кількість йонів обох знаків збільшується?
- 293.** Чому електроліт у розчині чи розплаві є електрично нейтральний, хоча він містить величезну кількість йонів обох знаків?
- 294.** Чому під час проходження струму крізь електроліт на електродах виділяється чиста речовина, що входить до складу електроліту?
- 295.** Чому під час проходження електричного струму крізь електроліти відбуваються переміщення і відкладання речовин на електродах?
- 296.** Чому між вугільними електродами за невисокої напруги виникає газовий розряд – електрична дуга?
- 297.** Чому для «запалювання» електричної дуги на її електроди подають високу напругу, а для підтримання струму в дузі така напруга не потрібна?
- 298.** Чому електроскоп, розміщений недалеко від полум'я свічки, дуже швидко розряджається?
- 299.** Коли виникає коронний розряд?
- 300.** Чому особливо небезпечно доторкатися до проводів зі струмом мокрими руками?
- 301.** Як утворюється блискавка між грозовою хмарою і поверхнею землі?
- 302.** Дощ застав вас у полі. Неподалік росте високе дерево з могутньою кроною. Чи варто бігти до нього, щоб сховатися від дощу?
- 303.** Провідники, що з'єднують громовідвід (блискавковідвід) із заземленою пластиною, виявилися порваними. Чи зможе він захистити від блискавки?

Рівень Б

- 304.** У розчині Аргентум (I) нітрату внаслідок проходження заряду 1 Кл на катоді виділяється 1,118 мг срібла. Визначте, яка маса срібла виділиться внаслідок проходження електричного заряду 500 Кл.
- 305.** Під час електролізу розчину цинк сульфату виділилося 2,45 г цинку. Визначте електрохімічний еквівалент цього металу, якщо крізь електроліт протягом 60 хв проходив електричний струм 2 А.
- 306.** Якою була сила струму під час електролізу розчину мідного купоросу, якщо за 50 хв на катоді виділилося 1,98 г міді?
- 307.** Найбільшу кількість електрики, яку одержують під час розрядження акумулятора або гальванічного елемента, називають ємністю і вимірюють в ампер-годинах. Визначте, якої сили струм проходить крізь лужний акумулятор ємністю 42 А · год під час його заряджання протягом 2,8 год.
- 308.** Унаслідок електролізу розчину хлоридної (соляної) кислоти HCl на катоді за деякий час виділилося 75 г водню. Скільки хлору виділилося за цей самий час на аноді? Електрохімічні еквіваленти водню і хлору відповідно дорівнюють 0,0104 і 0,367 мг/Кл.
- 309.** Електролізом добуто 3,3 кг міді. Скільки срібла можна одержати, якщо пропустити крізь відповідний електроліт такий самий заряд?
- 310.** Крізь розчин сірчаної кислоти пройшло $2 \cdot 10^6$ Кл електрики, щоб виділеним під час електролізу воднем заповнити за нормальних умов повітряну кулю. Який вантаж зможе підняти ця куля? Електрохімічний еквівалент водню дорівнює 0,0104 мг/Кл.

ІСТОРИЧНА ДОВІДКА

Луїджі Гальвані (1737–1798) – італійський фізик і фізіолог. Народився в Болоньї. У 1759 р. закінчив Болонський університет, де згодом став професором.

Свої перші електрофізіологічні дослідження проводив, анатомічно вивчаючи рухи м'язів жаб. Після 11 років досліджень і експериментів зробив відкриття, як він вважав, «тваринної» електрики – на прикладі досліджуваних короточасних імпульсів електричного струму в м'язових тканинах жаби. Результати своїх досліджень учений опублікував 1791 р. у «Трактаті про сили електрики при м'язовому русі». З'єднуючи металевим провідником м'язи і нерви препарованої жаби, Гальвані дослідив скорочення її м'язів. Скорочення стають сильнішими і тривалішими, якщо провідник складається із двох різнорідних металів, наприклад заліза й міді або срібла. Гальвані зробив висновок, що скорочення м'язів жаби зумовлені виникненням у них електричного струму. Однак причину цього Гальвані помилково вважав у наявності в кожній тварині так званої власної – «тваринної» – електрики. Хибність цих поглядів незабаром довів А. Вольта.

Л. Гальвані ж був одним з основоположників учення про електрику, дослідження якого дали початок новому науковому напрямку – електрофізіології.

Алессандро Вольта (1745–1827) – італійський фізик, винахідник гальванічного елемента. Народився в м. Комо поблизу Мілана. Навчався у школі ордену єзуїтів. З раннього дитинства цікавився природничими науками, зокрема вивченням електричних явищ.

З 1779 р. був професором Павійського університету, а в 1815–1819 рр. – деканом філософського факультету Падуйського університету.

У 1769 р. А. Вольта опублікував працю про лейденську банку – найпростіший конденсатор, а в 1775 р. – про винайдений *смоляний електрофор* – прилад, що став прообразом електрофорної машини. У 1781 р. побудував *чутливий електроскоп із соломинками* і запровадив його у практику вимірювань.

А. Вольта повторив і розвинув дослідження Л. Гальвані з «Трактату про сили електрики при м'язовому русі». У результаті власних експериментів А. Вольта прийшов до висновку, що явища, які спостерігав Гальвані, пов'язані з наявністю кола з двох різнорідних металів і рідини. Тобто причиною скорочення м'язів препарованої жаби була не «тваринна» електрика, а контакт різнорідних металів. Щоб довести власну правоту, Вольта повністю виключив фізіологічні об'єкти, замінивши лапку жаби своїм електрометром. Так було *вперше утворено замкнене коло електричного струму*.

У галузі ж фізіології А. Вольта вперше довів, що нерви тварин і людини мають велику електричну збуджуваність.

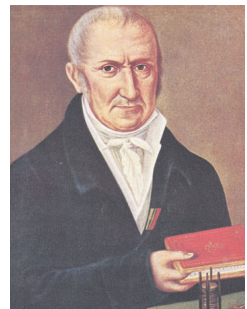
Петро Леонідович Капиця (1894–1984)

Родина Капиць (по матері) походить з українських волинських дворян Стебницьких. Батько – генерал Леонід Капиця – також виходець із Волині.

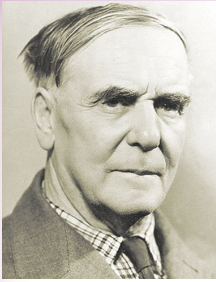
Відомий у світі фізик Петро Леонідович Капиця народився в Кронштадті у військово-морській фортеці, де служив його батько, генерал-лейтенант інженерного корпусу. Мати – Ольга Капиця (Стебницька) була відомою педагогинєю і збирачкою фольклору.



Луїджі Гальвані



Алессандро Вольта



*Петро Леонідович
Капиця*

Після закінчення гімназії у Кронштадті Петро Капиця вступив на факультет інженерів-електриків Петербурзького політехнічного інституту, який закінчив у 1918 р.

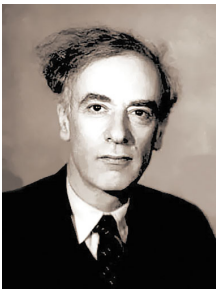
У 1921 р. П. Капиця за сприяння українського фізика А. Йоффе виїхав до Англії у Кавендішську лабораторію в Кембриджі, якою керував Е. Резерфорд. Досліджував відхилення α - і β -частинок у магнітному полі. Із часом П. Капиця займався вивченням проблем фізики низьких температур. У 1934 р. під його керівництвом було створено ефективну установку для зрідження газів, у тому числі й гелію за температури 4,3 К.

За проведення циклу фундаментальних досліджень у Кембриджі Капиця у 1923 р. отримав премію імені Дж. Максвелла та ступінь доктора філософії, став заступником директора Кавендішської лабораторії з магнітних досліджень. У 1929 р. П. Капиця був обраний дійсним членом Лондонського королівського товариства. Академія наук СРСР присвоїла П. Капиці вчений ступінь доктора фізико-математичних наук і обрала його своїм членом-кореспондентом, а також консультантом Українського фізико-технічного інституту (УФТУ) у Харкові, де в 1933 р. спеціально для П. Капиці було урочисто відкрито нову лабораторію, і він став її першим директором, не полишаючи роботи в Кембриджі і проживання в Англії.

У 1934 р. П. Капиця приїхав у відпустку в СРСР, а повернутися назад до Кембриджу йому вже не дозволили. У 1935 р. він став директором спеціально створеного Інституту фізичних проблем у Москві, дійсним членом Академії наук СРСР. Він став засновником таких галузей досліджень, як фізика низьких температур та фізика сильних магнітних полів.

З 1935 р. П. Капиця – «невиїзний» науковець СРСР, а за виступи проти створення атомної бомби в 1945 р. його було усунуто з посади директора Інституту фізичних проблем, і протягом восьми років він перебував під домашнім арештом. Проте 1955 р. його знову було призначено директором Інституту фізичних проблем.

Лауреат Нобелівської премії з фізики (1978 р.) «за фундаментальні відкриття і винаходи в галузі фізики низьких температур». П. Капиця був членом 25 наукових товариств Швеції, Польщі, Голландії, Німеччини, США, Індії тощо.



*Лев Давидович
Ландау*

Лев Давидович Ландау (1908–1968)

Народився у м. Баку (Азербайджан) у родині інженера-нафтовика. Його надзвичайна обдарованість проявилась уже в дитинстві. У 18 років він написав першу друковану статтю. Закінчивши фізико-математичний факультет Ленінградського університету, навчався в аспірантурі, працював науковим співробітником Ленінградського фізико-технічного інституту. У 1929 р. був направлений на стажування в Данію (Інститут Нільса Бора), а згодом в Англію і Швейцарію.

Повернувшись із Європи, у 1932 р. Л. Ландау очолив теоретичний відділ Українського фізико-технічного інституту в Харкові. Згодом працював в Інституті фізичних проблем АН України, став академіком. У 1937 р., рятуючись від чекістських репресій («справа фізиків» у Харкові), він прийняв запрошення П. Капиці і став керівником теоретичного відділу Інституту фізичних проблем. Однак уже в 1938 р. його заарештували за антирадянську агітацію. У в'язниці провів 1 рік і був звільнений завдяки надзвичайним зусиллям Капиці, який узяв Ландау «на поруки».

Л. Ландау вважався легендарною фігурою в історії світової і радянської науки. Він зробив визначні наукові відкриття в галузі квантової механіки, фізики твердого тіла,

магнетизму, фізики низьких температур, фізики космічних променів, гідродинаміки, квантової теорії поля, фізики атомного ядра й елементарних частинок, фізики плазми.

За визначні досягнення в теорії конденсованих середовищ, зокрема теорії рідкого гелію, у 1962 р. Ландау було присуджено Нобелівську премію з фізики.

Того самого року Л. Ландау, на жаль, потрапив у автокатастрофу. Отримав дуже серйозні травми і близько двох місяців був у комі. Фізики всього світу брали участь у порятунку Ландау. Життя вдалося врятувати, однак після травм Ландау перестав займатися науковою діяльністю.



ПЕРЕВІР СВОЮ КОМПЕТЕНТНІСТЬ

Контрольні запитання

1. Чому для створення електричного струму в провіднику має бути джерело струму?
2. Виконання водночас яких умов необхідне для існування струму в електричному колі?
3. Чому метали мають електронну провідність?
4. Ми можемо точно визначити, у якому провіднику проходить струм, хоча руху частинок у провіднику не бачимо. Як це пояснити?
5. Чому магнітна дія струму, на відміну від хімічної або теплової, є основною дією струму?
6. Чому амперметр роблять з дуже малим опором, а вольтметр – з дуже великим?
7. Чому три формули для визначення роботи сили струму ($A = Ult$, $A = I^2Rt$, $A = \frac{U^2}{R}t$) можна використати для розрахунку кількості теплоти, що виділяється у провіднику під час проходження в ньому струму?
8. Чому в двох провідниках з однакового матеріалу однакової довжини, але різного поперечного перерізу, які з'єднано послідовно, за той самий час виділяється різна кількість теплоти?
9. Які досліди доводять йонну теорію провідності розчинів і розплавів електролітів?
10. Дистильована вода не є провідником. Чому ж водопровідна, а також річкова і морська вода є гарним провідником?
11. Поясніть, у чому полягає відмінність між негативним йоном в електроліті й електроном.
12. Щоб газ став провідником, потрібен процес йонізації газу. Поясніть чому.

Що я знаю і вмю робити

● Я знаю, які існують джерела струму.

1. Назвіть, які джерела струму зображено на малюнку 217.



Мал. 217

● **Я вмю конструювати та виготовляти прості гальванічні елементи.**

2. У лимон, солоний огірок або яблуко вставте мідну й сталеву пластини з відводами (мал. 218). Приєднайте відводи до гальванометра. Що він показуватиме? Чому?



Мал. 218

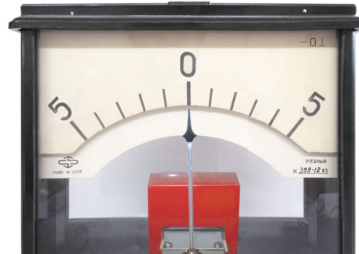
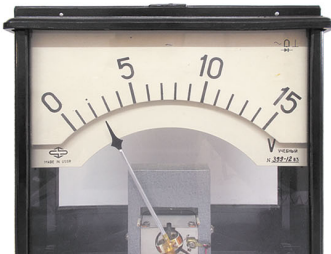


Мал. 219

● **Я вмю складати електричні кола та креслити їхні схеми.**

3. Розкажіть, як працює кишеньковий ліхтарик (мал. 219). Назвіть його основні частини. Накресліть схему електричного кола.

4. На малюнку 220 зображено прилади. Які електричні кола можна скласти за допомогою цих приладів? Користуючись таблицею «Умовні позначення елементів електричних кіл» (див. с. 107–108), накресліть схеми цих кіл. Ви маєте джерело струму напругою 12 В і чотири електричні лампи, кожна розрахована на напругу 3,5 В. Як потрібно їх з'єднати, щоб вони працювали в нормальному режимі? Накресліть схему такого електричного кола.



Мал. 220

● **Я вмю пояснювати фізичні явища.**

5. Користуючись малюнком 221, поясніть явище, яке відбувається під час досліду.

6. Електричний вугор може паралізувати свою здобич. За рахунок чого і як він це робить (мал. 222)?

7. На малюнку 223 зображено ялинкову гірлянду, яка складається з багатьох маленьких ламп. Як пояснити те, що лампи світяться неоднаково? Як ці лампи з'єднані між собою?



Мал. 221



Мал. 222



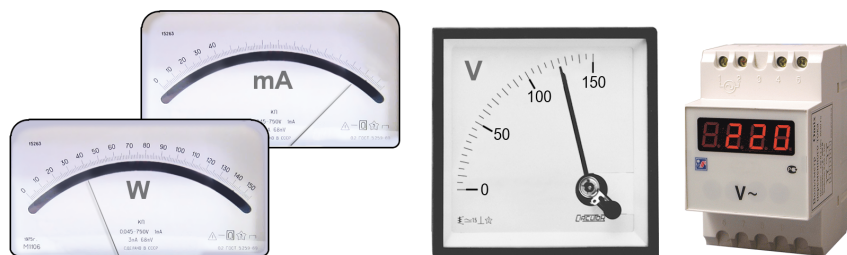
Мал. 223

● **Я вмію вимірювати фізичні величини за допомогою приладів.**

8. Який прилад і шкали яких приладів зображено на малюнку 224? Як їх називають? Які фізичні величини можна ними вимірювати? Запишіть у зошит покази цих приладів.

● **Я вмію визначати силу струму в електричному колі.**

9. Через першу електричну лампу проходить заряд 1350 Кл за кожні 15 хв, а через другу – 30 Кл за 10 с. У якій електричній лампі сила струму більша? У скільки разів?



Мал. 224

10. Визначте силу струму в колі, якщо 24 Кл електричного заряду проходять у ньому за 10 с? 1 хв?

11. Який струм у провіднику, якщо крізь його поперечний переріз за 2 хв проходить заряд 30 Кл? Яка кількість електронів проходить при цьому крізь переріз провідника?

● **Я вмію обчислювати роботу та потужність електричного струму.**

12. У нижній частині електропраски є написи (мал. 225). Що вони означають? Яка потужність електропраски? Яку роботу виконає електричний струм, що проходить по її спіралі, за 10 хв?



Мал. 225

13. Сила струму під час розряду блискавки дорівнює 100 кА, а напруга між хмарою та землею – 30 МВ. Обчисліть потужність блискавки.

● **Я знаю, як виготовляють електричні лампи розжарювання.**

14. Використовуючи малюнок 226, розкажіть про основні етапи виготовлення електричної лампи розжарювання.

15. Розгляньте всі наявні у вас електричні лампи і дайте відповідь на такі запитання: 1) чи різняться ці лампи своєю будовою; 2) на яку напругу вони розраховані. Користуючись малюнком 227, укажіть основні параметри електричної лампи.



Мал. 226



Мал. 227

● **Я знаю, які електричні прилади використовують у побуті.**

16. Розкажіть, які електричні прилади зображено на малюнку 228 і для чого їх використовують.



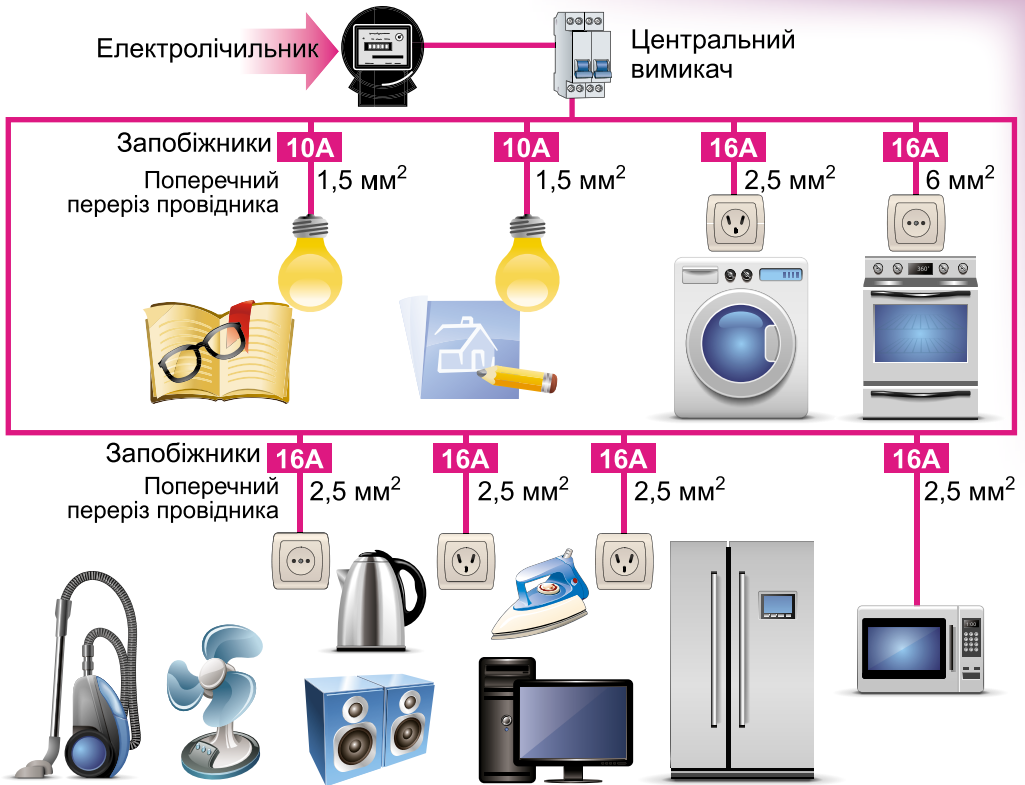
Мал. 228

● **Я вмю виготовляти прилади і пристрої.**

17. Виготовте саморобний гальванічний елемент. Для цього використайте розчин оцту (2 столові ложки на склянку води), один електрод – мідний або вугільний, другий – цинковий або залізний. Якщо торкнутись язиком електродів, відчуватиметься солонуватий присмак. Якщо у вас є вольтметр з межею вимірювання до 5 В, виміряйте напругу на полюсах виготовленого гальванічного елемента. Який електрод є анодом; катодом?

● **Я знаю, як побудована електромережа в будинку.**

18. За малюнком 229 визначте запобіжники, які потрібні для споживачів електричного струму. Назвіть ці споживачі. Якого поперечного перерізу провідники використовують у мережі?



Мал. 229



ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ

Варіант 1

1. Сила струму в колі електричної лампи дорівнює 0,3 А. Скільки електронів проходить крізь поперечний переріз спіралі за 5 хв?

- A** $56 \cdot 10^{20}$ **Б** $5,6 \cdot 10^{20}$ **В** 5600 **Г** 56

2. Як називають прилад, призначений для вимірювання напруги на ділянці кола?

- A** омметр **Б** ватметр **В** вольтметр **Г** амперметр

3. Яка фізична величина завжди є однаковою для різних провідників у колі, з'єднаних послідовно?

- A** сила струму **Б** напруга **В** опір **Г** потужність

4. Сила струму в залізному провіднику завдовжки 150 см і площею поперечного перерізу $0,02 \text{ мм}^2$ дорівнює 250 мА. Яка напруга на кінцях провідника?

- A** 2 В **Б** 20 В **В** 0,2 В **Г** 200 В

5. Яка сила струму в нитці розжарювання катода телевізійної трубки (кінескопа), якщо її опір дорівнює 0,6 Ом, а до кінців прикладено напругу 0,3 В?

- A** 5 А **Б** 0,5 А **В** 0,2 А **Г** 1,8 А

6. На спеціальному верстаті дріт протягують так, що він стає вдвічі довший і тонший. Як змінюється його опір?

- A** збільшується в 4 рази **Б** збільшується у 2 рази
В зменшується у 2 рази **Г** не змінюється

7. Яка формула є правильною для визначення кількості теплоти, яку виділяє провідник зі струмом?

- A** $Q = I^2 R t$ **Б** $Q = I R t$ **В** $Q = U^2 R t$ **Г** $Q = \frac{I^2 R}{t}$

8. Чи виконуватиметься закон Ома в умовах невагомості?

- A** так, тому що опір провідників не залежить від їхньої ваги
Б ні, тому що закон Ома виконується на Землі
В правильної відповіді немає

9. Чому за допомогою контактного зварювання не можна з'єднати мідні чи срібні деталі?

- A** тому що деталі мають великий питомий опір, і в місці контакту неможливо досягти температури, достатньої для їх з'єднання
Б тому що деталі мають малий питомий опір, і в місці контакту неможливо досягти температури, достатньої для їх з'єднання
В тому що деталі не мають опору, і в місці контакту неможливо досягти температури, достатньої для з'єднання

10. Що є вільними носіями заряду в розчинах електролітів?

- A** йони обох знаків **Б** позитивні йони
В електрони та йони **Г** вільні електрони

11. В електролітичній ванні, що містить розчин AgNO_3 , проходить струм 10 мА. Скільки атомів Аргентуму виділиться на катоді за 1 с, якщо $k_{\text{Ag}} = 1,12 \cdot 10^{-6} \text{ кг/Кл}$?

- A** $16 \cdot 10^{22}$ **Б** $0,16 \cdot 10^{16}$ **В** $6,25 \cdot 10^{22}$ **Г** $6,0 \cdot 10^{16}$

12. Як називають вид газового розряду, що супроводжується світінням поблизу загострених предметів?

- A** дуговий **Б** іскровий **В** коронний **Г** тліючий

Варіант 2

1. Сила струму в колі електричної лампи дорівнює 0,3 А. За який час крізь поперечний переріз спіралі проходить $5,6 \cdot 10^{20}$ електронів?
А 3 хв **Б** 300 с **В** 500 с **Г** 30 хв
2. Як називають прилад, призначений для вимірювання сили струму?
А омметр **Б** ватметр **В** вольтметр **Г** амперметр
3. Яка фізична величина завжди є однаковою для всіх провідників у колі, з'єднаних паралельно?
А сила струму **Б** напруга **В** опір **Г** потужність
4. Яка напруга на кінцях спіралі електричної лампи, що має опір 110 Ом, а амперметр показує 0,2 А?
А 110 В **Б** 20 В **В** 22 В **Г** правильної відповіді немає
5. Визначте опір стартера автомобіля, якщо при напрузі 12 В сила струму в ньому 600 А.
А 0,2 Ом **Б** 0,02 Ом **В** 50 Ом **Г** правильної відповіді немає
6. В освітлювальну мережу кімнати ввімкнено дві електричні лампи, опори яких 200 і 300 Ом. Напруга в мережі 220 В. Визначте силу струму до розгалуження.
А 2 А **Б** 1 А **В** 1,8 А **Г** 0,18 А
7. Два провідники з однаковими опорами з'єднано спочатку послідовно, а потім паралельно і в обох випадках увімкнено при однаковій напрузі. У якому випадку робота електричного струму за той самий час більша і в скільки разів?
А при послідовному з'єднанні робота електричного струму в рази більша
Б робота електричного струму в обох випадках однакова
В при паралельному з'єднанні робота електричного струму в 4 рази більша
Г при паралельному з'єднанні робота електричного струму у 8 разів більша
8. Яка формула є правильною для визначення кількості теплоти, яку виділяє провідник зі струмом?
А $Q = I^2 R t$ **Б** $Q = I R t$ **В** $Q = \frac{U^2 t}{R}$ **Г** $Q = \frac{I^2 R}{t}$
9. Що є вільними носіями заряду в металевих провідниках?
А негативно заряджені йони **Б** позитивно заряджені йони
В йони обох знаків **Г** електрони
10. При силі струму 1,6 А на катоді за 10 хв відкладалася мідь масою 0,316 г. Визначте електрохімічний еквівалент міді.
А $3,04 \cdot 10^6$ кг/Кл **Б** $3,3 \cdot 10^{-7}$ кг/Кл **В** $3,94 \cdot 10^6$ кг/Кл **Г** $3,94 \cdot 10^7$ кг/Кл
11. Чому кажуть, що блискавка може «знаходити» зариті під землею скарби?
А блискавка найчастіше влучає в те місце, де під землею є дорогоцінне каміння
Б вона найчастіше влучає у те місце, де у ґрунті є метали – провідники струму
В блискавка найчастіше влучає в те місце, де у ґрунті є неметали
Г вона найчастіше влучає в те місце, де у ґрунті є тільки благородні метали
12. Чому при дуговому розряді для проходження струму крізь газовий проміжок не потрібна висока напруга?
А є вільні заряджені частинки
Б наявність вільних електричних зарядів забезпечується високою температурою
В електроди йонізують газ навколо себе
Г наявність носіїв заряду забезпечується електронною емісією

ФІЗИЧНІ ЗАДАЧІ НАВКОЛО НАС

1. Чому при недостатньому змащенні виходять з ладу шатунні й корінні підшипники трактора?
2. Чим пояснюється значне нагрівання коліс автомобіля під час довготривалої поїздки?
3. Механізатори під час збирання врожаю уважно стежать, щоб солома не накручувалася на вали комбайна. Чому?
4. Коли автомобіль більше затрачає пального: під час поїздки без зупинок чи із зупинками?
5. Чому зовнішні частини надзвукових літаків доводиться охолоджувати за допомогою спеціальних апаратів?
6. Коли космічний корабель більше нагрівається: під час запуску чи посадки на Землю?
7. У якій посудині – мідній чи чавунній – частіше підгорають продукти під час їх приготування? Чому?
8. Чому металева чашка із чаєм обпікає губи, а порцелянова – ні?
9. За якої температури і дерево, і метал здаватимуться на дотик однаково нагрітими?
10. Який ґрунт прогріється сонячним промінням швидше: вологий чи сухий?
11. Яке призначення товстого шару підшкірного жиру в китів, тюленів та інших тварин, що живуть у полярних водах?
12. Людина не відчуває прохолоди на повітрі за температури 20 °С, а у воді відчуває її за температури 25 °С. Чому?
13. У якому разі швидше охолоне чайник з окропом: якщо він стоїть на льоду чи якщо лід покласти на кришку чайника?
14. Чому тонка поліетиленова плівка захищає рослини від нічних заморозків?
15. Чому листя осики «тріпоче» навіть за безвітряної погоди?
16. Чому труба, по якій вода повертається в котел водяного опалення, підводиться до нього знизу, а не зверху?
17. Чи економічно виготовляти радіатори парового опалення добре відполірованими, чи краще їх фарбувати в чорний колір?
18. Чому в холодну погоду деякі тварини сплять, згорнувшись у клубочок?
19. Чому термоси виготовляють круглого, а не квадратного перерізу?
20. Земля безперервно випромінює енергію в космічний простір. Чому ж Земля не замерзає?
21. Як скористатися для вимірювання температури повітря термометром, на шкалі якого збереглися тільки дві поділки: 20 і 40 °С?
22. Клімат островів помірніший і рівніший, ніж клімат великих материків. Чому?
23. Чому в пустелях удень спекотно, а вночі температура повітря падає нижче від 0 °С?
24. Які переваги має ртуть перед іншими рідинами (спирт, ефір), що дають змогу застосовувати її в термометрах?
25. Чому внутрішні посудини калориметрів виготовляють з тонкої латуні або алюмінію, а не зі скла?

26. У якій каструлі, алюмінієвій чи чавунній, швидше звариться картопля, якщо маси картоплі й каструлі однакові?
27. Коли на розпечену плиту потрапляє олія, її посипають сіллю. Поясніть чому.
28. Чому сіль, яку кинули на розжарене вугілля, тріщить?
29. Як найпростіше визначити, яке із двох тіл твердіше?
30. Чи розплавиться невеликий шматок олова, якщо його кинути в тигель з розплавленим свинцем?
31. Де ноги у взутті замерзають більше: на засніженому тротуарі чи на такому самому тротуарі, але посипаному сіллю?
32. Чому лід, що утворюється із солоної морської води, у подальшому стає майже зовсім прісним?
33. Чому мокрі пальці взимку примерзають до металевих предметів і не примерзають до дерев'яних?
34. Як пояснити, що на початку осені в річках та озерах вода не замерзає, хоча температура повітря на кілька градусів нижча від 0 °С?
35. Чому теплого зимового дня лижі залишають на свіжому снігу лижню?
36. Чи прискориться процес танення льоду в теплій кімнаті, якщо накрити його шубою?
37. Чому під час сильних морозів для відновлення гладкості льоду ковзанку поливають гарячою водою?
38. Чим пояснити, що під час сильних морозів у лісі тріщать дерева?
39. Для осушення боліт у субтропіках саджають евкаліпти. Куди дівається вода, яку вони поглинають?
40. Чому глина, борошняне тісто під час нагрівання не стають м'якими, а тверднуть?
41. Що охолоджується швидше в однакових умовах: жирний суп чи чай?
42. Щоб молоко не скисло у спекотний день, посудину слід помістити у воду і накрити серветкою, краї якої занурено у воду. На чому ґрунтується цей спосіб зберігання молока?
43. Чому в сухому повітрі людина витримує температуру, що перевищує 100 °С?
44. Чому влітку на лузі після заходу сонця туман спочатку з'являється в низинах?
45. Для чого в кришці чайника роблять дірочку?
46. Чим пояснити, що тривалість варіння картоплі, починаючи з моменту закипання, не залежить від потужності нагрівника?
47. Чому питома теплота згоряння палива сирих дров менша, ніж сухих тієї самої породи?
48. Чому ми сильно дмемо на полум'я сірника, свічки, коли хочемо їх загасити?
49. Якщо покласти розжарене вугілля на металеву пластинку, то воно швидко гасне, а якщо на дерев'яну дошку – продовжує тліти. Чому?
50. У якому випадку газ у циліндрі двигуна має більшу внутрішню енергію: після проскакування іскри чи в кінці робочого ходу?
51. Чи можна тертям наелектризувати ебонітову паличку як позитивно, так і негативно?
52. Чи можна наелектризувати мідний стержень, тримаючи його в руці?

53. Яка основна причина появи електричних розрядів у атмосфері під час грози?

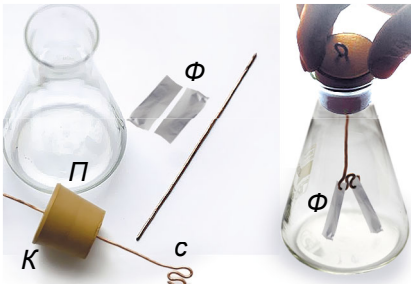
54. Однією з причин сильної грози є потужний вертикальний потік повітря. Чому?

55. Людям, які перебувають у горах під час грози, іноді доводиться спостерігати таке явище: волосся на голові стає дибки, і навколо голови виникає світіння. Як пояснити це явище?

56. В Антарктиді під час снігових бур часто можна спостерігати появу в повітрі електричних іскор завдовжки до 50 см. Чому вони виникають?

57. Якщо є позитивно заряджений ізольований провідник, то як можна зарядити дві ізольовані металеві кулі за допомогою цього провідника, не зменшуючи його заряду, і при цьому на одній кулі отримати позитивний заряд, а на другій – негативний?

58. Дощ застав вас у полі. Неподалік стоїть високе дерево з великою кроною. Чи можна використати дерево для захисту від дощу?



Мал. 230

59. На малюнку 230 зображено найпростіші саморобні електроскопи. Виготовте електроскоп, використавши скляну посудину П, металевий стержень с, зігнутий на кінці, дві тонкі смужки металевої фольги Ф, пластмасовий корок К (для другого електроскопа). Випробуйте дію електроскопа за допомогою наелектризованого тіла. Які досліди ви можете показати, використовуючи електроскоп?

60. Розріжте сиру картоплину навпіл і в одну з її половинок на відстані 1–2 см застроміть голки. Приєднайте їх до полюсів гальванічного елемента. Спостерігайте за зміною кольору картоплі біля голок і зробіть висновок стосовно кожного електрода (катода й анода). Чи можна за допомогою цього методу виявити наявність нітратів у картоплі? Який тут тип електропровідності?

61. Розгляньте гальванічні елементи до кишенькового ліхтарика або транзисторного приймача. Запишіть напругу кожного елемента. Встановіть, як ці елементи з'єднано у вашому приладі, і накресліть схему. Приєднайте вольтметр спочатку до одного елемента, а потім до батареї елементів, порівняйте виміряні напруги.

62. Якщо в приміщенні вмикають прилад великої потужності, наприклад потужну електроплитку (електропраску), то розжарення електроламп слабшає. Поясніть чому.

63. Протягом року на Землі виникає близько 8 млн блискавок. Обчисліть сумарну потужність блискавок, якщо сила струму під час розряду становить приблизно 10 000 А, а напруга – 100 млн вольт.

64. Інколи перегорілу електричну лампу можна «оживити» струшуванням – нитка розжарювання знову замикається, але стає коротшою. Чому така лампа світить яскравіше?

65. Чому температура нагрівального елемента електроплитки, увімкненої на довгий час, не підвищується безмежно, хоча плитка споживає електроенергію?

66. Чому іноді сильно нагріваються вимикачі, розетки, вилки?

67. Чому на вулицях міста спалахують усі ліхтарі одночасно, хоча ліхтарі і джерело струму можуть бути розташовані один від одного на відстані кількох кілометрів, а швидкість напрямленого руху електронів усередині провідника вкрай мала (порядку 0,01 м/с)?

68. Чому не проходить струм у дистильованій воді?

69. Чи має значення для хімічної дії напрямок електричного струму?

70. Чи можна створити гальванічний елемент, опустивши в розчин кислоти або солі дві цинкові пластинки?

71. Накресліть схему електричного кола, що складається з батареї і двох ламп, кожну з яких можна вмикати незалежно одну від одної.

72. У лікарні в кімнаті чергової сестри є електричний дзвінок. Накресліть схему кола, яке дає змогу вмикати дзвінок хворим, що лежать у трьох різних палатах.

73. В одну й ту саму мережу вмикають різні побутові прилади: лампу, плитку, вентилятор тощо. Чому сила струму в цих приладах різна?

74. У мережу напругою 120 В увімкнено електричний чайник і настільну лампу. Опір спіралі чайника дорівнює 22 Ом, опір нитки розжарювання лампи – 240 Ом. Визначте силу струму в кожному з приладів.

75. За параметрами, написаними на цоколі лампочки кишенькового ліхтарика, визначте номінальний опір лампи.

76. Електрична лампа, опір якої дорівнює 240 Ом, світиться повним розжаренням при силі струму 0,5 А. Яка напруга на затискачах лампи?

77. Поясніть характеристики, які вказано на електричній лампі, електропрасці, електроплитці. Чому наведено саме ці дані?

78. Як визначити, чи може електрولیчильник, установлений у квартирі, витримати навантаження всіх наявних електроспоживачів?

79. Під час лікування електричним струмом людина протягом сеансу (15 хв) отримує без негативних наслідків для здоров'я електричний заряд близько 10 Кл. Під дією блискавки через тіло людини проходить приблизно така сама кількість електричного заряду, що стає смертельною для людини. Чому?

80. Визначте силу і потужність струму, якщо через провідник опором 20 кОм протягом 0,01 с проходить електричний заряд 10 Кл.

81. Є лампочки для ялинкової гірлянди, кожна з яких має опір 20 Ом і розрахована на силу струму 0,3 А. Скільки таких лампочок потрібно з'єднати послідовно в гірлянду, щоб її можна було увімкнути в мережу 220 В?

82. Які лампи, увімкнуті в мережу, світлитимуться яскравіше – з більшим чи з меншим опором?

83. З'ясуйте, у яких побутових електроприладах використовують плавкі запобіжники. Наведіть приклади. Запишіть граничні значення струмів плавких вставок. Накресліть схему електричного кола приєднання електроспоживача із плавким запобіжником.

84. Чому забороняється замість промислових плавких запобіжників застосовувати мідні провідники («жучки»)?

85. У правилах з безпеки життєдіяльності наголошується, що провідники, які загорілися під час короткого замикання, не можна гасити водою, а потрібно закидати піском або землею. Поясніть чому.

86. Чому практично невідомі випадки, щоб блискавка «вдаряла» повз громовідвід?

СЛОВНИК ФІЗИЧНИХ ТЕРМІНІВ

Акумулятор – це джерело струму періодичної дії, здатне нагромаджувати електричну енергію внаслідок пропускання крізь кислотний або лужний розчин електричного струму.

1 ампер (1 А) – сила струму, який, проходячи у двох паралельних прямолінійних нескінченної довжини тонких провідниках, що розміщені у вакуумі на відстані 1 м один від одного, спричиняє на кожній ділянці провідника завдовжки 1 м силу взаємодії $2 \cdot 10^{-7}$ Н.

Амперметр – електровимірювальний прилад для вимірювання сили струму; в електричне коло вмикається послідовно. Шкали амперметрів можуть бути проградуйовані в амперах, міліамперах, мікроамперах.

Батарея – сукупність однакових приладів (гальванічних елементів, акумуляторів, термоелементів, конденсаторів), об'єднаних у певну систему для спільної дії.

Блискавка – явище виникнення короткочасного гігантського іскрового розряду в атмосфері (між хмарами або між хмарами і землею).

Бурштин – викапна скам'яніла смола хвойних дерев, добрий ізолятор, дуже добре електризується.

1 ват (1 Вт) – одиниця потужності електричного струму, відповідає потужності струму силою 1 А при напрузі на кінцях провідника 1 В.

Ватметр – прилад для вимірювання потужності в електричному колі.

Випромінювання – вид теплообміну, який не потребує проміжного середовища між тілами і зумовлений випусканням і поглинанням ними теплового проміння.

Внутрішня енергія тіла – енергія руху та взаємодії між собою частинок, з яких складається тіло. Внутрішню енергію тіла можна змінити шляхом виконання роботи або теплообміну.

1 вольт (1 В) – одиниця електричної напруги, відповідає напрузі на кінцях провідника, при якій робота з переміщення електричного заряду один кулон (1 Кл) по цьому провіднику дорівнює одному джоулю (1 Дж).

Вольтметр – електровимірювальний прилад для вимірювання напруги між двома точками електричного кола; вмикається в коло паралельно ділянці, на якій вимірюється напруга.

Газовий розряд – процес проходження електричного струму крізь газ.

Гальванічний елемент – джерело струму, в якому енергія, що виділяється під час хімічної реакції, перетворюється безпосередньо в електричну.

Гальванометр – електровимірювальний високочутливий прилад для вимірювання малих струмів, напруг або кількості електрики.

Двигуни теплові – машини, у яких внутрішня енергія палива перетворюється в механічну енергію. До теплових двигунів належать:

парова машина, двигун внутрішнього згорання (карбюраторний, дизельний), парова та газова турбіни, реактивний двигун.

Джерело електричного струму – пристрій, у якому виконується робота з розділення позитивно і негативно заряджених частинок.

Діелектрик – речовина, що не проводить електричний струм.

Ебоніт – тверда гума, продукт вулканізації натуральних і синтетичних каучуків і значної домішки сірки. Характеризується високою міцністю під час розтягу, підвищеною твердістю, добрими електроізоляційними властивостями.

Електризація – фізичне явище, зумовлене існуванням, взаємодією та рухом електричних зарядів.

Електрична дуга – явище виникнення яскравого світлого стовпа газу між двома вугільними електродами.

Електрична сила – сила, з якою електричне поле діє на електричні заряди, що перебувають у цьому полі.

Електричне поле – це особливий вид матерії, який відрізняється від речовини та існує навколо будь-яких заряджених тіл.

Електричний заряд – джерело електромагнітного поля; фізична властивість частинок або тіла.

Електричний струм – це впорядкований (напрявлений) рух заряджених частинок.

Електричний струм у металах (металевих провідниках) – це впорядкований рух електронів під дією електричного поля, яке створює джерело електричного струму.

Електричний струм у розчинах електролітів – це впорядкований рух йонів під дією електричного поля, яке створює джерело електричного струму.

Електроліз – процес виділення речовини на електродах під час проходження електричного струму крізь розчини або розплави електролітів.

Електроліт – речовина, яка під дією розчинника або нагрівання дисоціює (розпадається) на йони.

Електроскоп – прилад, за допомогою якого виявляють наелектризованість тіла.

Енергія – фізична величина, що визначає здатність тіл виконувати роботу. Одиницею енергії в СІ є один джоуль (1 Дж).

Закон Джоуля–Ленца: кількість теплоти, яка виділяється провідником зі струмом, визначається добутком квадрата сили струму, опору провідника й часу проходження струму.

Закон збереження електричного заряду: у замкнутій системі алгебраїчна сума зарядів усіх частинок залишається незмінною (сталою).

Закон збереження енергії: енергія не зникає та не створюється з нічого. Вона тільки перетворюється з одного виду в інший, при цьому повне значення її зберігається.

Закон Кулона: сила взаємодії між двома нерухомими точковими електричними зарядами прямо пропорційна добутку цих зарядів і обернено пропорційна квадрату відстані між ними.

Іскровий розряд – розряд, який виникає за високої напруги між електродами в повітрі і має вигляд пучка яскравих зигзагоподібних смужок, що відгалужуються від тонкого каналу.

Калориметр – прилад для вимірювання кількості теплоти, яка виділяється або поглинається під час якого-небудь фізичного процесу.

Кипіння – інтенсивне випаровування рідини не тільки з її вільної поверхні, а й з усього об'єму всередину бульбашок пари, які при цьому виникають.

Кількість теплоти – міра внутрішньої енергії, переданої під час теплообміну від одного тіла до іншого без виконання роботи. Вона залежить від речовини, з якої виготовлено тіло, від маси цього тіла та різниці його кінцевої і початкової температур. Одиницею кількості теплоти, як і енергії, є один джоуль (1 Дж).

Коефіцієнт корисної дії (ККД) теплового двигуна – відношення тієї частини енергії, яка затрачається на виконання корисної роботи тепловим двигуном, до всієї енергії, що виділяється внаслідок згоряння палива.

Конвекція – процес перенесення енергії струменями рідини або газу.

Конденсація пари – фізичний процес переходу речовини з газуватого стану (за температури конденсації) у рідкий внаслідок її охолодження.

Коронний розряд – розряд, світна ділянка якого нагадує корону, виникає за атмосферного тиску поблизу загострених частин провідника, що має великий електричний заряд.

Коротке замикання – з'єднання кінців ділянки кола провідником, опір якого дуже малий порівняно з опором ділянки кола.

Кристалізація – фізичний процес переходу речовини з рідкого стану (за температури кристалізації) у твердий внаслідок її охолодження.

Лампа розжарювання – джерело світла, у якому світло випромінює тугоплавкий провідник (вольфрам), розжарений електричним струмом.

Нагрівальний елемент – це провідник з великим опором, який здатний витримувати, не руйнуючись, нагрівання до високої температури (1000–1200 °С).

Напруга електрична – це фізична величина, що характеризує електричне поле, яке створює струм, визначається відношенням роботи струму на певній ділянці кола до електричного заряду, що пройшов по цій ділянці.

1 ом (1 Ом) – одиниця електричного опору, дорівнює опору такого провідника, у якому при напрузі на кінцях один вольт (1 В) сила струму дорівнює одному амперу (1 А).

Омметр – прилад для вимірювання електричного опору.

Опір електричний – фізична величина, що характеризує властивість провідника протидіяти напрямленому переміщенню зарядів, визначається відношенням напруги на кінцях провідника до сили струму в ньому.

Паралельне з'єднання провідників – це з'єднання споживачів електричної енергії (провідників), за якого виводи кожного з них приєднують до спільної для всіх пари затискачів (точок або вузлів кола).

Пароутворення – фізичний процес переходу речовини з рідкого стану в газуватий, для здійснення якого речовині потрібно надати певної кількості теплоти.

Питомий опір речовини – це фізична величина, що показує, який опір має виготовлений із цієї речовини провідник завдовжки 1 м і площею поперечного перерізу 1 м².

Плавлення – фізичний процес переходу речовини з кристалічного (твердого) стану (за температури плавлення) в рідкий, який супроводжується поглинанням енергії.

Послідовне з'єднання провідників – це з'єднання споживачів електричної енергії (провідників) у колі по черзі один за одним без розгалужень проводів між ними.

Постійний струм – електричний струм, що не змінюється із часом ні за значенням, ні за напрямком.

Потужність електричного струму – фізична величина, що визначається відношенням роботи електричного струму на ділянці кола до часу проходження струму в цій ділянці.

Реостат – прилад для регулювання сили струму в електричному колі.

Робота електричного струму – фізична величина, що характеризує перетворення електричної енергії в інші види енергії.

Рух тепловий – безладний рух молекул і атомів, який визначає температуру тіла.

Сила струму – фізична величина, яка визначається відношенням електричного заряду, що пройшов крізь поперечний переріз провідника, до часу його проходження.

Силові лінії електричного поля – це лінії, напрямком яких у кожній точці поля збігається з напрямком сили, що діє з боку цього поля на розміщене в ньому заряджене тіло.

Схема електричного кола – креслення, на якому зображають способи з'єднання елементів електричного кола.

Температура тіла – фізична величина, що характеризує інтенсивність теплового руху молекул тіла і пропорційна середній кінетичній енергії хаотичного руху молекул тіла.

Теплообмін – процес зміни внутрішньої енергії тіл без виконання роботи над ними та без виконання роботи самими тілами.

Теплопровідність – передача тепла від більш нагрітої до менш нагрітої частини тіла внаслідок теплового руху та взаємодії частинок тіла.

Термометр – прилад для вимірювання температури шляхом його контакту з досліджуванним середовищем.

Точковий заряд – заряд, розподілений на тілі, розміри якого значно менші, ніж будь-які відстані між зарядженими тілами, що взаємодіють в умовах певної задачі.

ВІДПОВІДІ ДО ЗАДАЧ І ВПРАВ

1. Тому що при наливанні окропу у склянку її внутрішня і зовнішня стінки неоднаково прогріваються, і вона лопається. Якщо ставити ложку, то вона забере частину енергії води. 3. Біметалева пластинка під дією температури то вигинається (розриває контакт), то прогинається (замикає контакт). 5. Ні. 7. Тому що об'єм повітря в банці зменшується. 11. Щоб знати дійсний об'єм рідини в них. 14. Тому що рідина при підвищенні температури розширюється і може розірвати радіатор. 16. Внутрішня енергія гарячої води більша, тому що температура її вища. 17. Ні. 19. Можна обпекти руки. 22. Щоб енергія від варення не забиралася металевою ложкою. 24. Цегла. 38. Ні; так. 42. У першому випадку внутрішня енергія збільшилася, а в іншому – зменшилася. 48. У цегляному. 49. Для збільшення тяги. 55. Зміниться. 56. Ні. Для нагрівання 1 кг алюмінію на 1 °С потрібно 920 Дж, 1 кг заліза – 460 Дж, 1 кг латуні – 380 Дж, 1 кг свинцю – 140 Дж. 61. Тому що вода має найбільшу питому теплоємність. 63. 336 кДж. 64. 92 кДж. 65. 750 кДж. 67. 241,92 МДж. 68. 96,72 МДж; 767,6 кг. 69. 24 г. 71. Тому що олово має низьку температуру плавлення – 232 °С. 72. 174,6 кДж. 73. 3324 кДж. 74. 1,87 кг. 75. 1662 кДж. 77. Можна. 78. 234 кДж. 79. 276,4 кДж. 80. Ні. 81. Для срібла. 84. Щоб збільшити поверхню висихання. 86. 345 кДж. 87. 23 МДж. 93. 6,147 МДж. 99. Тому що частина енергії йде на випаровування води. 100. 324 МДж. 101. 6,6 кг. 102. 36,4 г; 6,8 г; 54,5 г вуглецю і 145,6 г кисню. 103. 8 кг. 104. 510 МДж; 175 МДж. 106. а) 28 МДж; б) 46 МДж/кг; в) метан; тверде ракетне паливо; г) 1,8 кг; д) 1 кг; е) 0,14 кг. 109. Під час роботи двигун нагрівається, і вода забирає від нього енергію, охолоджуючи його. 112. Для охолодження двигуна. Вода має найбільшу питому теплоємність серед рідин. 115. Двигун внутрішнього згорання. 116. 4. 117. Кінетичну енергію пари. 119. 347 м. 121. На зміну внутрішньої енергії шматка металу. 125. Частина енергії пари витратилася на обертання лопатей турбіни. 128. Для роботи реактивного двигуна не потрібне повітря. 129. 128 осіб. 130. На 24 т. 136. Тому що вона набуває такого самого заряду, що і паличка. 137. Це пояснюється електризацією тіл. 138. Сухе волосся, гребінець або рука набувають різних зарядів і вони притягуються між собою. 139. Металеву паличку потрібно ізолювати від руки. 141. У хутрі. 146. Електризація через вплив. Листочки опадають, тому що зникає вплив наелектризованої палички. 151. Тому що пластмаса або фарфор є ізоляторами. 154. 21,3 Н. 156. Позитивно; позитивно. 157. Автоцистерни заземляють за допомогою ланцюга. 160. Куля з надлишком електронів – негативно, інша – позитивно; після з'єднання – обидві негативно. 164. Щоб передати кульці електроскопа більший заряд. 166. Ні. 170. Щоб зменшити їхню вологість. 172. Щоб по ньому стікали заряди. 174. Електризацією впливом. 176. Відбувається переелектризація тіл. 178. $4 \cdot 10^9$. 179. Так. 180. $625 \cdot 10^{16}$. 182. 13 нКл. 183. 3 нКл. 184. Може, якщо коло замкнуте. 190. Електрон і негативний йон – до позитивно зарядженої пластини, позитивний йон – до негативної. 191. 0,04 с; 500 с. 192. 21,6 см.

197. а) Теплова; б) світлова; в) хімічна; г) теплова; д) магнітна.
 200. Ні. 202. 840 Кл. 203. 0,6 А. 204. 3,6 мКл. 205. 5 с. 206. 5 с.
 209. Другий. 211. 20 В. 212. 1000 В. 213. 12 В. 215. Другий.
 216. На 300 В. 218. У під'єднанні вольтметра й амперметра. 220. 440 Ом.
 221. 2,9 А. 222. 0,3 А. 223. 12 кОм. 224. 240 Ом. 225. 24 кОм.
 226. 8 В. 227. 1 В. 228. 8 В. 229. Однакова. 230. $3,125 \cdot 10^{19}$. 231. $\approx 0,5$ А;
 $3,125 \cdot 10^{18}$. 236. Ні. 237. 10 А; 0,9 А. 239. Збільшиться в 5 разів.
 240. Зменшиться в 9 разів. 241. 13,6 мОм. 242. 0,3 Ом. 245. 2,5 м.
 246. 5 км. 248. $0,384 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$. 249. 4. 250. На 9 Ом. 251. 6,5 м.
 252. 11,2 м. 253. 500 Ом; 50 Ом. 254. 44,5 т. 255. Не менше 19.
 256. 110 В. 257. 450 Ом. 259. Зменшиться. Погіршиться. 261. Лампа,
 яка має більший опір. 262. Послідовно. 266. 24 лампи кімнатної
 ялинки з'єднані послідовно, а шкільної – паралельно. 268. 26,4 кДж.
 269. 605 Вт. 270. 55 Вт. 271. 0,45 А. 272. Правильно. 0,1 кВт · год.
 273. 2,7 А. 274. 64,8 кДж. 276. 0,45 А; 0,11 А. У лампі потужністю
 25 Вт. 278. 510,4 кВт · год; 4 грн 56 к. 279. 0,9 А. 280. У лампі опором
 160 Ом. 281. У лампі опором 80 Ом. 282. 5,45 А; 216 кДж. Ні.
 283. Лампа потужністю 40 Вт. 284. 580,8 кДж; 1,7 кг. 285. $3124 \text{ с} = 52 \text{ хв}$.
 291. Якщо електроліт не знаходиться в електричному полі. 304. 559 мг.
 305. $3,4 \cdot 10^{-7} \text{ кг/Кл}$. 306. 2 А. 307. 15 А.

Відповіді до рубрики «Що я знаю і вмю робити»

Розділ 1. 2. Внутрішня енергія 1 кг води збільшилася на 4200 Дж, а 1 кг заліза – на 400 Дж. 3. 324 кДж. 4. Можна. 5. 7908 кДж. 6. Вистачить. 9. Ні. 10. Не зміниться, поки лід не розтане.

Розділ 2. *Електризація тіл*. 1. Негативний. 2. Позитивно. 4. Позитивний; негативний. 6. Будуть. 9. –3 нКл. 10. 9000 Н. 11. 9 см.

Електричний струм. 5. Послідовно. 10. У другій лампі сила струму у 2 рази більша. 11. 2,4 А; 0,4 А. 12. 0,25 А; $18,75 \cdot 10^{19}$. 14. 3 ТВт.

Відповіді до рубрики «Фізичні задачі навколо нас»

1. При недостатньому змащенні підшипників у результаті тертя механічна енергія перетворюється у внутрішню. Температура бабіту піднімається до точки плавлення, і він плавиться. 2. Колеса автомобіля нагріваються і за рахунок роботи сили тертя під час часткового проковзування їх по полотну дороги, і за рахунок роботи деформації шин під час кочення. 3. Під час тертя солома може розігрітись і спалахнути, що призведе до пожежі. 4. Із зупинками. 5. Тому що вони втратили б свою міцність унаслідок нагрівання під час тертя об повітря. 6. Під час посадки. 7. У мідній, тому що теплопровідність міді більша, ніж чавуну. 8. Алюміній має більшу теплопровідність, ніж порцеляна. 9. При температурі тіла людини. 10. Вологий. 11. Жир має низьку теплопровідність і захищає організм тварини від надмірного охолодження в полярних водах. 12. Вода має набагато більшу теплопровідність, ніж повітря, тому у воді тіло людини охолоджується швидше. 13. Коли лід покласти на кришку чайника. 14. Плівка затримує повітря певної температури біля рослин. 15. За рахунок вертикальних висхідних потоків повітря. 16. Щоб забезпечити природну циркуляцію води в системі водяного опалення.

17. Краще фарбувати в чорний колір. 18. Щоб зменшити поверхню випромінювання тепла з тіла. 19. Круглий термос має меншу поверхню, тому він меншою мірою поглинає і віддає теплоту. 20. Разом із процесом випромінювання енергії в космічний простір відбувається і процес поглинання енергії Сонця. 23. Пісок має малу питому теплоємність, тому швидко нагрівається і охолоджується. 24. Мала питома теплоємність, велика теплопровідність, не змочує скло, порівняно легко одержати в чистому вигляді, висока температура кипіння, нижча порівняно з водою, точка тверднення. 28. Вода всередині солі, перетворюючись у пару, розриває кристали. 29. Нанести подряпину одним тілом на поверхні іншого. 30. Розплавиться. 31. На тротуарі, посипаному сіллю. 32. Під час морозу сіль у вигляді розчину «покидає» лід. 33. Метал має більшу теплопровідність, ніж дерево, тому він відводить від тонкої плівки води тепло так швидко, що вона охолоджується нижче від точки плавлення льоду і замерзає. 34. Великою питомою теплоємністю води. 35. Під час тертя лиж об сніг він плавиться, а потім знову твердне. 36. Ні. 37. Гаряча вода «розплавляє» тонкий шар льоду, не так швидко замерзає, встигає розтектися, і поверхня льоду стає гладкою. 38. Вода, замерзаючи під час сильних морозів, розриває волокна деревини. 39. Випаровується з поверхні листя дерев. 40. Унаслідок випаровування води. 41. Чай. 42. Постійне випаровування води із серветки спричиняє охолодження молока. 43. У сухому повітрі піт випаровується і охолоджує тіло людини. 44. У низинах температура повітря нижча, ніж на підвищенні. 45. Для виходу пари. Без дірочки у кришці пара може витіснити воду через носик чайника. 46. Потужність нагрівника не впливає на температуру кипіння води, у якій вариться картопля. 47. Деяку кількість теплоти необхідно затратити на випаровування води, яка міститься в сирих дровах. 48. Потік повітря зриває полум'я зі свічки і сірника, охолоджує горючі речовини. 49. Тому що метал набагато швидше забирає енергію від вугілля, ніж дерево. 50. Після проскакування іскри. 51. Можна. 52. Ні. 53. Електризація хмар. 56. За рахунок тертя великої кількості сніжинок за низької вологості. 57. Скористатися методом електризації впливом. 58. Ні. 63. $8 \cdot 10^{18}$ Вт. 64. Зменшився опір спіралі. 65. Тому що енергія електронагрівального елемента плити віддається навколишньому середовищу. 66. За рахунок поганого контакту або перевантаження в електромережі. 68. Немає вільних носіїв заряду. 69. Так. 70. Так. 73. Побутові прилади мають різний електричний опір. 74. 5,45 А; 0,5 А. 76. 120 В. 79. Це залежить від часу проходження струму. 80. 1000 А; 20 МВт. 81. 37 лампочок. 82. З меншим. 85. Тому що вода (не дистильована) є провідником електричного струму.

ПРЕДМЕТНО-ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК

- А**
Агрегатні стани речовини 43–44
Акумулятори 105
Ампер 115
Ампер Андре-Мари 115
Аніон 153
Анод 153
- Б**
Бенардос Микола 161
Біметалева пластина 10
Бурштин 81
- В**
Ват 145
Ватт Джеймс 68, 75
Ватметр 145
Вольт 119
Випаровування 51
Випромінювання 22, 25
Вольта Алессандро 103, 169
Вольтметр 120
- Г**
Галілей Галілео 6
Гальвані Луїджі 103, 164
Гальванічні елементи 103
- Д**
Двигун внутрішнього згоряння 63
– реактивний 66
– тепловий 62–66
Джерела електричного струму 103
Джоуль 31
Дуга електрична 159
- Е**
Едісон Томас 149
Електричний струм 102
– у газах 156
– у металах 109
– у розчинах електролітів 153
Електроліз 155
Електроліт 154
Електроскоп 84
Електротравма 165
Елемент нагрівальний 151
- Енергія внутрішня 19
- З**
Закон Джоуля–Ленца 148
– збереження електричного заряду 86–87
– Кулона 91–93
– Ома 125
– Фарадея 155
Запобіжники 164
Заряд електричний 81, 85
– негативний 82
– позитивний 82
З'єднання провідників змішане 139–140
– паралельне 139
– послідовне 137
Згоряння палива 57–59
- К**
Калориметр 35
Катіон 153
Кипіння 51
Кількість теплоти 29–33
Коефіцієнт корисної дії теплового двигуна 70
Коло електричне 107–108
Конвекція 22, 24
Кулон 86
Кулон Шарль 86, 97
Коротке замикання 163
- Л**
Лінії силові 90
Лічильник електричний 144
Лодигін Олександр 149
- М**
Магнітна дія струму 111
- Н**
Наноматеріали 176
Напруга електрична 119
- О**
Ом Георг 124
Омметр 134
Опір електричний 123–124
– питомий 132–133

П

Пароутворення 51
Патон Борис 162
Патон Євген 162
Питома теплоємність речовини 36
– теплота згоряння палива 59
– теплота пароутворення речовини 53
– теплота плавлення речовини 47–48
Плавлення речовини 45–49
Поле електричне 88
Потужність електричного струму 144–146

Р

Реостати 133
Рівняння теплового балансу 35
Ріхман Георг 35, 160
Робота електричного струму 143
Розряд газовий 157
– іскровий 159
– коронний 159
– несамостійний 158
– самостійний 158
– тліючий 158
Розширення
– твердих тіл 8–11
– рідин 12–13
– газів 14–15

С

Світлова дія струму 111
Сила Ампера 115
Сила електрична 115–118

Сила струму 115
Сонячні батареї 105

Т

Температура кипіння 51
– конденсації 52
– кристалізації 45
– плавлення 45
– тіла 6
Теплова дія струму 110
Тепловий баланс 34–35
Тепловий рух 5
Теплоізолятор 23
Теплообмін 21
Теплопровідність 22
Термометр 6
Термоскоп Галілея 6
Терези крутильні 92
Турбіна газова 65
– парова 65

Ф

Фаренгейт Габріель 7
Франклін Бенджамін 87, 160

Х

Хімічна дія струму 111

Ш

Шкала Реомюра 7
– Фаренгейта 7
– Цельсія 7

Я

Яблочков Павло 149
Якобі Борис 156

ЗМІСТ

| | |
|------------------|---|
| Юні друзі! | 3 |
|------------------|---|

Розділ 1. ТЕПЛОВІ ЯВИЩА

| | |
|--|----|
| § 1. Тепловий рух. Температура тіла. Вимірювання температури | 4 |
| § 2. Розширення твердих тіл | 8 |
| § 3. Розширення рідин | 12 |
| § 4. Розширення газів | 14 |
| Задачі та вправи | 16 |
| § 5. Внутрішня енергія та способи її зміни. Теплообмін | 18 |
| § 6. Види теплообміну | 21 |
| Задачі та вправи | 26 |
| § 7. Кількість теплоти. Питома теплоємність речовини | 29 |
| § 8. Тепловий баланс | 34 |
| Лабораторна робота № 1. Вивчення теплового балансу за умов змішування води різної температури | 35 |
| Лабораторна робота № 2. Визначення питомої теплоємності речовини | 36 |
| Задачі та вправи | 37 |
| § 9. Фізичні властивості твердих тіл, рідин і газів | 39 |
| § 10. Агрегатні стани речовини | 43 |
| § 11. Плавлення і кристалізація твердих тіл. Питома теплота плавлення речовини | 45 |
| Задачі та вправи | 49 |
| § 12. Випаровування і конденсація рідин. Питома теплота пароутворення речовини | 50 |
| Задачі та вправи | 54 |
| § 13. Згоряння палива | 56 |
| Задачі та вправи | 60 |
| § 14. Теплові двигуни. Екологічні проблеми використання теплових двигунів | 62 |
| § 15. Закон збереження енергії в механічних і теплових процесах | 68 |
| § 16. Коефіцієнт корисної дії (ККД) теплового двигуна | 70 |
| Задачі та вправи | 71 |
| Історична довідка | 73 |
| Перевірте свої знання. Контрольні запитання | 75 |
| Що я знаю і вмію робити | 75 |
| Тестові завдання | 77 |

Розділ 2. ЕЛЕКТРИЧНІ ЯВИЩА. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ

| | |
|--|----|
| § 17. Електризація тіл. Електричний заряд | 81 |
| § 18. Два роди електричних зарядів. Дискретність електричного заряду | 83 |
| § 19. Закон збереження електричного заряду | 86 |
| § 20. Електричне поле. Взаємодія заряджених тіл | 88 |
| § 21. Закон Кулона | 91 |
| Задачі та вправи | 93 |
| Історична довідка | 97 |
| Перевірте свої знання. Контрольні запитання | 97 |
| Що я знаю і вмію робити | 98 |

| | |
|---|-----|
| Тестові завдання | 100 |
| § 22. Електричний струм. Джерела електричного струму | 102 |
| § 23. Електричне коло і його складові частини | 106 |
| § 24. Електричний струм у металах | 108 |
| § 25. Дії електричного струму. Напрямок електричного струму | 110 |
| Задачі та вправи | 112 |
| § 26. Сила струму. Амперметр | 115 |
| § 27. Електрична напруга. Вольтметр | 118 |
| § 28. Електричний опір провідників. Одиниці опору | 122 |
| § 29. Закон Ома для однорідної ділянки електричного кола | 124 |
| Задачі та вправи | 127 |
| § 30. Залежність опору провідника від його довжини, площі поперечного перерізу та матеріалу. Реостати | 130 |
| <i>Лабораторна робота № 3. Вимірювання опору провідника за допомогою амперметра і вольтметра</i> | 134 |
| Задачі та вправи | 135 |
| § 31. Послідовне з'єднання провідників | 136 |
| <i>Лабораторна робота № 4. Дослідження електричного кола з послідовним з'єднанням провідників</i> | 137 |
| § 32. Паралельне з'єднання провідників | 138 |
| <i>Лабораторна робота № 5. Дослідження електричного кола з паралельним з'єднанням провідників</i> | 140 |
| Задачі та вправи | 141 |
| § 33. Робота електричного струму | 143 |
| § 34. Потужність електричного струму | 144 |
| § 35. Закон Джоуля–Ленца | 148 |
| § 36. Споживачі електричного струму. Електронагрівальні прилади | 148 |
| Задачі та вправи | 151 |
| § 37. Електричний струм у розчинах і розплавах електролітів | 153 |
| § 38. Електричний струм у газах. Самостійний і несамостійний розряди | 156 |
| § 39. Безпека людини під час роботи з електричними приладами і пристроями | 163 |
| Задачі та вправи | 167 |
| Історична довідка | 169 |
| Перевірте свої знання. Контрольні запитання | 171 |
| Що я знаю і вмю робити | 171 |
| Тестові завдання | 176 |
| Фізичні задачі навколо нас | 178 |
| Словник фізичних термінів | 182 |
| Відповіді до задач і вправ | 186 |
| Предметно-іменний покажчик | 189 |