ФІЗИКА

БОЙКО М.П., ВЕНГЕР Є.Ф., МЕЛЬНИЧУК О.В.

Фізика

підручник для 8 класу загальноосвітніх навчальних закладів

УДК 53 (075.3)

Підручник "Фізика, 8 клас" відповідає навчальній програ­мі "Фізика, 7—9 класи". Наведено лабораторні роботи, запи­тання, якісні та розрахункові задачі різних рівнів, завдання творчого та практичного спрямування.

© М.П. Бойко, Є.Ф. Венгер, О.В. Мельничук, 2016

ЗМІСТ

ВСТУП 7

Розділ 1. ТЕПЛОВІ ЯВИЩА 9

[Внутрішня енергія. Кількість теплоти 10](#bookmark2)

[§ 1. Тепловий стан тіл. Температура. Теплова рівновага . . . . 10](#bookmark3)

[§ 2. Термометри. Шкала Цельсія 13](#bookmark6)

§ 3. Агрегатні стани речовини. Фізичні властивості твердих

тіл, рідин і газів 20

[§ 4. Зміна розмірів фізичних тіл залежно від температури . . . 22](#bookmark10)

[§ 5. Внутрішня енергія 26](#bookmark12)

§ 6. Два способи зміни внутрішньої енергії тіла 28

[§ 7. Види теплообміну 32](#bookmark19)

[§ 8. Застосування і врахування різних видів теплообміну . . . 41](#bookmark22)

[§ 9. Кількість теплоти. Питома теплоємність речовини 43](#bookmark24)

[§ 10. Розрахунок кількості теплоти при нагріванні (охолоджен­ні) тіла 48](#bookmark27)

ГОЛОВНЕ В ТЕМІ

["ВНУТРІШНЯ ЕНЕРГІЯ. КІЛЬКІСТЬ ТЕПЛОТИ" 51](#bookmark31)

[Перевір себе 52](#bookmark32)

[Зміна агрегатних станів речовини 54](#bookmark33)

[§ 11. Кристалічні та аморфні тіла 54](#bookmark34)

[§ 12. Плавлення і кристалізація твердих тіл. Температура плав­лення 58](#bookmark36)

[§ 13. Питома теплота плавлення 60](#bookmark43)

§ 14. Розрахунок кількості теплоти при плавленні (твердненні)

тіл 64

Рідкі кристали. Полімери. Наноматеріали 66

§ 15. Пароутворення і конденсація 69

§ 16. Кипіння. Температура кипіння 73

§ 17. Питома теплота пароутворення 76

[§ 18. Розрахунок кількості теплоти при пароутворенні (конден­сації) 78](#bookmark47)

§ 19. Тепловий баланс. Рівняння теплового балансу 81

/дМ Лабораторна робота № 1. Вивчення теплового балан-

\IjtfBj су за умов змішування води різної температури .... 85

Лабораторна робота № 2. Визначення питомої тепло­ти™™ ємності речовини 87

ГОЛОВНЕ В ТЕМІ

["ЗМІНА АГРЕГАТНИХ СТАНІВ РЕЧОВИНИ" 88](#bookmark59)

[Перевір себе 89](#bookmark60)

[Згоряння палива. Теплові двигуни 91](#bookmark61)

§ 20. Згоряння палива 91

§21. Розрахунок кількості теплоти внаслідок згоряння палива 92

Коефіцієнт корисної дії нагрівника 94

§ 22. Перетворення енергії в механічних і теплових процесах 96

§ 23. Принцип дії теплових двигунів 101

§ 24. Двигуни внутрішнього згоряння 104

§25. Парові та газові турбіни 109

Холодильні машини. Кондиціонер. Теплові насоси ... 113 ГОЛОВНЕ В ТЕМІ

["ЗГОРЯННЯ ПАЛИВА. ТЕПЛОВІ ДВИГУНИ" 116](#bookmark71)

[Перевір себе 117](#bookmark73)

Розділ 2. ЕЛЕКТРИЧНІ ЯВИЩА 119

[Електричні заряди. Електричне поле 120](#bookmark75)

§ 1. Електризація тіл. Електричний заряд 120

§ 2. Два роди електричних зарядів 122

§ 3. Подільність електричних зарядів 127

§ 4. Закон збереження електричного заряду 129

§ 5. Взаємодія заряджених тіл. Закон Кулона 133

§ 6. Електричне поле 136

§ 7. Провідники, напівпровідники, діелектрики 138

ГОЛОВНЕ В ТЕМІ

["ЕЛЕКТРИЧНИЙ ЗАРЯД. ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ" 140](#bookmark83)

[Перевір себе 141](#bookmark84)

[Електричний струм 143](#bookmark86)

§ 8. Електричний струм 143

§ 9. Струм у металах 145

§ 10. Джерела електричного струму 148

§ 11. Електричне коло та його основні елементи 153

§ 12. Дії електричного струму 158

§ 13. Сила струму 164

§ 14. Амперметр. Вимірювання сили струму 168

§15. Електрична напруга 172

§ 16. Вимірювання напруги. Вольтметр 174

jjflOr Лабораторна робота № 3. Вимірювання сили струму

-^ЧРІЯЙ та електричної напруги 178

§17. Електричний опір 180

§ 18. Залежність опору провідника від його довжини, площі

перерізу та матеріалу 185

§ 19. Реостати 191

^^^^ Резистори 195

Лабораторна робота № 4. Вимірювання опору про­відника за допомогою амперметра й вольтметра .... 197

§ 20. Закон Ома для ділянки кола 198

§ 21. Послідовне з'єднання провідників 202

'jvPpf Лабораторна робота № 5. Дослідження електрич­ного кола з послідовним з'єднанням провідників .... 207 § 22. Паралельне з'єднання провідників 208

Лабораторна робота Л® 6. Дослідження електричного

^ЧРИ кола з паралельним з'єднанням провідників 211

ГОЛОВНЕ В ТЕМІ

"ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ" 213

[Перевір себе 215](#bookmark112)

[Робота і потужність електричного струму 217](#bookmark113)

§ 23. Робота електричного струму 217

§ 24. Закон Джоуля—Ленца 219

§ 25. Потужність електричного струму 220

г" ■ ^ Лічильники електричної енергії 223

§ 26. Електронагрівальні прилади 224

§27. Коротке замикання. Запобіжники 229

§ 28. Природа електричного струму в розчинах і розплавах

електролітів 233

§ 29. Закон Фарадея для електролізу 236

Застосування електролізу 238

§ 30. Електричний струм у газах 242

§ 31. Типи газового розряду 248

[Застосування газового розряду в техніці 255](#bookmark126)

§ 32. Безпека людини під час роботи з електричними приладами

й пристроями 259

ГОЛОВНЕ В ТЕМІ

["РОБОТА І ПОТУЖНІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ" 263](#bookmark128)

[Перевір себе 264](#bookmark130)

[СПИСОК ТАБЛИЦЬ 267](#bookmark131)

[ВІДПОВІДІ ДО ЗАДАЧ І ВПРАВ 268](#bookmark132)

[ВІДПОВІДІ ДО ТЕСТІВ "ПЕРЕВІР СЕБЕ" 271](#bookmark133)

[ПРЕДМЕТНО-ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК 273](#bookmark134)

ВСТУП

Завдання фізики як науки — правильно і повно описати природні явища, виявивши їхні характерні властивості, з'ясу­вати чому, як і за яких умов вони відбуваються, а також пе­редбачати їхні можливі наслідки.

У 8 класі вивчаються теплові й електричні явища, які по­всякчасно відбуваються навколо вас. Розігріваючи сніданок, дмухаючи на склянку з гарячим чаєм, щоб він швидше охо­лов, одягаючи перед виходом з дому теплий одяг, ми викори­стовуємо і враховуємо закономірності перебігу теплових явищ.

Вивчення теплових явищ і відкриття їх законів дало змогу створити машини, які полегшують працю людей, допомагають їм швидко долати значні відстані, перевозити великі вантажі, занурюватися в морські глибини й, подолавши земне тяжіння, здійснювати подорожі в Космосі.

Не менш важливу роль у житті сучасної людини відіграють електричні явища. їх ми постійно використовуємо в побуті, техніці, сільському господарстві. Нам важко уявити домівку без електричного освітлення, без таких приладів, як холодиль­ник, телевізор, комп'ютер та багатьох інших.

Особливість явищ, які вивчаються у 8 класі, — те, що во­ни є наслідком процесів, які відбуваються в світі молекул і атомів — мікросвіті.

Вивчаючи фізику, не слід намагатися просто заучити ви­кладений у підручнику матеріал. Фізичні поняття і закони відбивають певні властивості, притаманні тілам і явищам нав­колишнього світу, й встановлюють взаємозв'язок між ними. Тому найважливіше — це з'ясувати, як пов'язані між собою властивості тіл і явищ.

Головне у вивченні фізики зрозуміти, що увесь навколиш­ній світ — це фізика, адже фізика — це природа. З фізикою

ви маєте справу повсякчасно і вивчення фізики — це, перш за все, набуття вмінь пізнавати і розуміти природу.

Щоб полегшити орієнтацію в матеріалі підручника, зверху на сторінках вказано назви розділів та параграфів. Окрім змі­сту є предметно-іменний покажчик та список таблиць.

Нові поняття, означення та закони, які доцільно запам'ята­ти, у тексті виділено особливим шрифтом. Певні частини тек­сту в підручнику виділено кольором. Цей текст не є ^^ обов'язковим для опрацювання. Проте автори сподіва­ються, що ознайомлення з ним буде корисне тим, хто хоче:

— детальніше ознайомитися з особливостями явищ, які вивчаються.

* більше дізнатися про цікаві факти з історії розвитку фізичної науки, сучасні досягнення фізики і техніки, практичне використання законів і явищ.





Частина позначок стосується різних завдань і запи­тань для повторення та перевірки засвоєння навчально­го матеріалу, які пропонуються в кінці параграфів:





* запитання, відповівши на які, ви можете перевірити свої знання, повторити й узагальнити вивчений матеріал.

— задачі розрахункового характеру. Складніші задачі додатково позначено зірочкою (\*).

— завдання, в яких пропонується провести самостійний експеримент, виконати вимірювання тих чи інших фі­зичних величин.

* завдання на конструювання та самостійне вигото­влення приладів і пристроїв.





* лабораторні роботи, які передбачено програмою з фізи­ки у 8 класі. їх ви виконуватимете на уроках фізики.



ВНУТРІШНЯ ЕНЕРГІЯ. КІЛЬКІСТЬ ТЕПЛОТИ

У 7 класі ви ознайомилися з механічними явищами — ру­хом макроскопічних тіл та величинами, які їх характеризу­ють. Проте рух притаманний не лише тілам, які ми можемо бачити. Ви вже знаєте, що усі фізичні тіла складаються з мі­кроскопічних часточок, які перебувають у постійному русі. Цей рух невидимий, проте саме рух молекул дає нам відчуття тепла і холоду. Проявами змін у русі та взаємному розташу­ванні молекул є перетворення рідин на тверді тіла та гази й навпаки. Цей невидимий рух молекул і атомів називають те­пловим рухом, а його прояви, які ми можемо спостерігати, — тепловими явищами.

Теплові явища відіграють надзвичайно важливу роль у жит­ті людини. їх пізнання значною мірою зумовило розвиток ци­вілізації. Вважається, що найважливіший винахід в історії людства — це оволодіння людиною способами добування вогню. Навчившись добувати вогонь, люди могли зігріватися в суворі зимові морози, готувати їжу, виробляти знаряддя праці.

У цьому розділі ви докладніше ознайомитеся з найпошире­нішими тепловими явищами та їх використанням у різних сферах народного господарства та техніці.

§ 1. ТЕПЛОВИЙ СТАН ТІЛ. ТЕМПЕРАТУРА. ТЕПЛОВА РІВНОВАГА

У повсякденному житті нам часто доводиться враховувати тепловий стан тіл, що нас оточують. Своїми органами чуття ми оцінюємо тепловий стан тіл і можемо розрізняти теплі, гаря­чі, холодні тіла. Проте наші органи чуття дають змогу лише порівнювати теплові стани, до того ж не досить точно. Коли ви заходите взимку знадвору в приміщення, вам здається, що в

C:\Users\NDU\AppData\Local\Temp\FineReader10\media\image8.jpeg

>с

1С



10

с

1с 2с





С 1С 2С



Мал. 1.1

ньому тепло. Проте через деякий час ви почнете відчувати, що замерзаєте. Якщо ваші руки замерзли і ви обіллєте їх холод­ною водою з-під крана, вода здаватиметься теплою.

Як же можна охарактеризувати той чи інший тепловий стан тіла? Візьмемо колбу й закриємо її корком із вставленою в нього скляною трубкою. З'єднаємо колбу за допомогою гумо­вої трубки з водяним манометром. Тиск повітря в колбі до з'єднання з манометром був такий самий, як і навколишнього атмосферного повітря. Якщо колбу залишити в спокої на по­верхні стола, то ніяких змін, принаймні протягом кількох хвилин, ви не помічатимете.

Охопіть колбу долонями. Ви відразу побачите, що рівень во­ди в коліні манометра, приєднаного до колби, знижується, а у відкритому коліні підвищується. Ваші теплі долоні нагрівають колбу, і об'єм повітря в ній збільшується. Разом із збільшен­ням об'єму зростає й тиск повітря, про що свідчить різниця рівнів води в колінах манометра. Через деякий час розширен­ня повітря припиниться. Щоб ще збільшити об'єм повітря і тиск, колбу можна занурити в гарячу воду або скористатися спиртівкою (мал. 1.1).

Нагріваючи повітря, ви змінюєте його тепловий стан. Свідченням зміни теплового стану повітря, яке міститься в кол­бі, є зміни його об'єму й тиску. Рідини й тверді тіла внаслідок нагрівання чи охолодження теж змінюють свій об'єм. Зміна тиску, об'єму тіл — це прояви зміни їхнього теплового стану.

Чому ж відбуваються ці зміни? Що визначає тепловий стан тіла? Ви вже здогадалися, що тепловий стан тіла визначаєть­ся рухом і взаємодією молекул і атомів, з яких воно склада­ється. Чим швидше рухаються молекули тіла, тим тепліше ті­ло. Якщо газ у закритій посудині нагрівають, збільшується швидкість його молекул і зростає сила їхнього удару під час зіткнення із стінкою посудини. Кількість таких зіткнень за одиницю часу теж зростає. Тому внаслідок зміни теплового стану змінюється тиск газу на стінки посудини. Зміна тепло­вого стану твердих тіл спричиняє зміну їхнього об'єму. У цьо­му випадку не лише зростає швидкість руху молекул (атомів, йонів), а й збільшуються проміжки між молекулами.

Для характеристики ступеня "нагрітості" тіл здавна вико­ристовують поняття "температура". Наше розуміння темпера­тури пов'язане із суб'єктивним сприйняттям "тепла" і "холоду". Теплі тіла мають вищу температуру, холодні — нижчу. Темпе­ратура (від лат. Іешрегаїига — належне змішування, нормаль­ний стан) — фізична величина, яку застосовують для порів­няння теплових станів тіл. Якщо температура двох тіл, що контактують, стає однаковою, їхні тиски й об'єми перестають змінюватися. Такий стан називають тепловою рівновагою.

Об'єм, тиск і температура визначають тепловий стан тіл. Особливістю температури є те, що температура всіх тіл, які перебувають у стані теплової рівноваги, однакова. Тиски і об'єми тіл, між яким встановилася теплова рівновага, можуть бути різними, але залишаються незмінними як завгодно довго.

Якщо температури тіл різні, то під час контакту тіло з ви­щою температурою охолоджується, а з нижчою — нагріваєть­ся. У такому випадку кажуть, що гаряче тіло віддало тепло, а холодне його одержало. Цей процес називають теплообміном або теплопередачею. Температура тіл визначає напрямок те­плообміну між ними. Тепло завжди передається від тіла з більшою температурою до тіла, температура якого нижча.

На тому, що тіла, між якими встановилася теплова рівно­вага, мають однакову температуру, а їхні тиски, об'єми й ін­ші властивості перестають змінюватися, ґрунтується вимірю­вання температури. Вимірюючи температуру свого тіла, ви підкладаєте термометр під руку, притискаєте його до тіла й че­каєте п'ять хвилин. За цей час між вашим тілом і термоме­тром встановлюється теплова рівновага, і його показання пере­стають змінюватися.

Вимірюючи температуру, слід пам'ятати, що будь-який термометр завжди показує власну температуру, що збігається з температурою середовища, в якому він знаходиться. У разі контакту термометра з фізичним тілом між ним і тілом відбу­вається теплообмін. Досить скоро між термометром і тілом встановлюється теплова рівновага, і всі фізичні величини, які характеризують тіла (термометр і, наприклад, вода, темпе­ратуру якої вимірюють), перестають змінюватися. З цього мо­менту температури термометра і тіла, що контактує з ним, од­накові. Тому термометр, показуючи власну температуру, одно­часно показує температуру тіла, яке контактує з ним.



Температура — фізична величина, вимірювана термометром. Температура є однаковою в усіх тілах або частинах тіла, які перебувають у стані теплової рівноваги одне з одним.

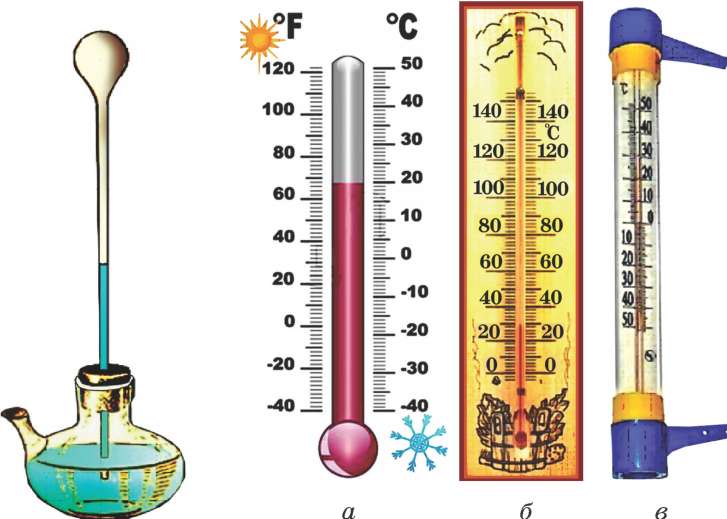
ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

1. Зміна яких фізичних величин свідчить про зміну теплового стану тіла?
2. Як пов'язаний тепловий стан тіла із рухом молекул, з яких воно складається?
3. Що таке теплова рівновага? Які особливості притаманні тілам, що перебувають у стані теплової рівноваги?
4. Чому можна казати, що температура характеризує стан теплової рівноваги?
5. Як за температурою тіл можна визначити напрямок теплообміну між ними?

§ 2. ТЕРМОМЕТРИ. ШКАЛА ЦЕЛЬСІЯ

У більшості термометрів використовують те, що зі зміною температури змінюються й інші характеристики тіл: розміри й об'єм, тиск, колір, електричні властивості та ін.

Винахідником термометра вважають Г. Галілея. У 1597 р. він винайшов термоскоп, який являв собою невелику скляну кульку із припаяною до неї скляною трубкою. Кульку трішки нагрівали, а кінець трубки опускали в посудину з водою (мал. 1.2). Через деякий час повітря в кульці охолоджувалося



Мал. 1.2 Мал. 1.3

до температури навколишнього середовища, його тиск змен­шувався, і вода під дією атмосферного тиску піднімалася в трубці на деяку висоту. Якщо температура зовнішнього пові­тря підвищувалася, то тиск повітря в кульці збільшувався, а рівень води в трубці знижувався. При зменшенні температури повітря вода в трубці піднімалася. Термоскоп Галілея давав змогу порівнювати тепловий стан тіл. Проте його показання залежали від атмосферного тиску.

Температура безпосередньо не вимірюється. Вимірюється величина, що залежить від температури. У термоскопі Галілея використовувалася залежність об'єму повітря від температури. Проте об'єм повітря залежить і від атмосферного тиску.

Пізніше для вимірювання температури скористалися тим, що рідини теж змінюють свій об'єм під час нагрівання й охо­лодження. У рідинних термометрів об'єм рідин майже не за­лежить від атмосферного тиску. Сучасні рідинні термометри (мал. 1.3) — це скляні трубки-капіляри з маленьким резер­вуаром у вигляді кульки або балончика на одному кінці. У ре­зервуар заливають підфарбований спирт або ртуть. Трубку запаюють, щоб зовнішній тиск не впливав на покази термоме­тра, і закріплюють на шкалі. Коли резервуар термометра кон­тактує із тілом, температуру якого вимірюють, рівень рідиниу трубці піднімається або опускаєть­ся до досягнення стану теплової рівно­ваги.

Числові значення показань термо­метра залежать від обраної темпера­турної шкали. Наприклад, збираючись на прогулянку і побачивши, що стовп­чик термометра за вікном відповідає позначці 18 градусів вище нуля, ан­глійський школяр тепло вдягнеться. Український учень, побачивши таке саме значення температури, вдягнеть­ся досить легко. Числові значення по­казань цих термометрів однакові, але свідчать про різні температури пові­тря. Річ у тому, що в Англії користу­ються термометрами із шкалою Фаренгейта, а в Україні — із шкалою Цельсія.

Понад триста років тому флорентійські вчені виявили, що температура суміші льоду й води завжди однакова. Через 50 років після них німецький фізик Даніель Фаренгейт (1686— 1736 рр.) помітив, що температура кипіння води не змінюєть­ся, якщо не змінюється тиск. Цим постійним температурам можна приписати певні числові значення. Температури, яким приписують певні значення й відповідні їм позначки рівня рі­дини на шкалах термометрів, називають реперними точками (від франц. гериге — мітка, позначка).

Температури кипіння і замерзання води (танення льоду) можна легко відтворити. Тому їх використовують як реперні точки для побудови температурних шкал. Відомо кілька тем­пературних шкал, запропонованих різними вченими. У біль­шості країн, у тому числі й в Україні, застосовують термомет­ри зі шкалою, запропонованою шведським ученим А. Цельсі- єм (1701—1744 рр.).



Андерс Цельсій

За нульове значення температури (0 °С) А. Цельсій прий­няв температуру танення льоду (суміші льоду й води), а за 100 градусів (100 °С) — температуру кипіння води за нормального атмосферного тиску. Поділивши відстань на шкалі між репер­ними точками на 100 рівних частин, він одержав поділки, які

відповідають одному градусу Цельсія (1 °С). Залежно від при­значення на шкалах термометрів відтворюється та чи інша ча­стина температурного діапазону, у межах якого працює термо­метр (мал. 1.3, а—в). На мал. 1.3, а зображено термометр із шкалами Цельсія та Фаренгейта.

У Міжнародній системі одиниць СІ одиниця температури називається кельвін і позначається літерою К. Зміна темпера­тури на один кельвін (1 К) відповідає зміні температури на один градус Цельсія (1 °С).

^^ Слово "температура" виникло в ті часи, коли люди ^> вважали, що в більш нагрітих тілах утримується більша кількість особливої невидимої речовини — те­плецю, чим у менш нагрітих. Температура сприйма­лася як міцність суміші речовини тіла й теплецю. Тому за аналогією до одиниці міцності спиртних напоїв одиницю температури назвали так само — градус. Оскіль­ки температура пов'язана з швидкостями й відтак з кіне­тичною енергією молекул, її краще було б вимірювати в оди­ницях енергії — джоулях. Але вимірювання температури почалося задовго до появи молекулярно-кінетичної теорії й загальноприйнятих систем одиниць фізичних величин. Тому за традицією ми продовжуємо користуватися термі­ном температура і вимірювати температуру в умовних одиницях — градусах, до яких усі звикли.

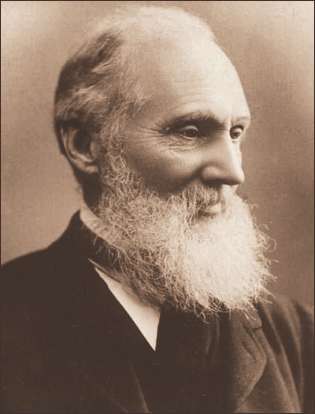
Німецький фізик Д. Фаренгейт одним із перших запропо­нував зручні для користування термометри. У 1709 р. він виготовив спиртовий термометр, а в 1714 р. — ртутний. У скляну трубку з кулькою на одному кінці він налив ртуть, відкачав з неї повітря й запаяв. Потім занурив трубку в суміш льоду, кухонної солі й нашатирю (найхо- лоднішу речовину в рідкому стані, яку він зміг одержати) і позначив висоту стовпчика ртуті як 0 градусів. Далі він помістив свій термометр у суміш води і льоду (без солі) й одержав відмітку на шкалі, яку прийняв за 32 градуси. Наступна реперна точка за Фаренгейтом — температура людського тіла — 96 градусів (це число добре ділиться на 32). За температуру кипіння води він прийняв 212 граду­сів. У Англії та США до цього часу користуються шкалою

Фаренгейта й вимірюють темпера­туру в градусах Фаренгейта (поз­начають °¥).

Зрозуміло, що жителі Англії й ми, українці, користуємось різними температурними шкалами, припи­суючи однаковій температурі різні значення.

Французький вчений Рене Реомюр (1683—1757рр.) у 1730 р. описав винайдений ним спиртовий термо­метр, шкала якого теж визначала­ся точками кипіння і замерзання води, але відстань між ними він по­ділив на 80 градусів. Термометри зі шкалою Реомюра мають позначку °И.

Як ви вже помітили, у термометрах Фаренгейта, Цель­сія, Реомюра значення реперних точок і початок відліку температури обиралися за уподобаннями винахідників. За шкалами цих термометрів можна порівняти температури різних тіл, визначити на скільки більшою чи меншою є тем­пература того чи іншого тіла. Проте вважати, що температу­ра 50 °С у 5 разів більша за тем­пературу 10 °С не можна, так са­мо не можна дати відповідь на питання у скільки разів темпе­ратура -10 °С нижча ніж 20 °С.



Уільям Томсон

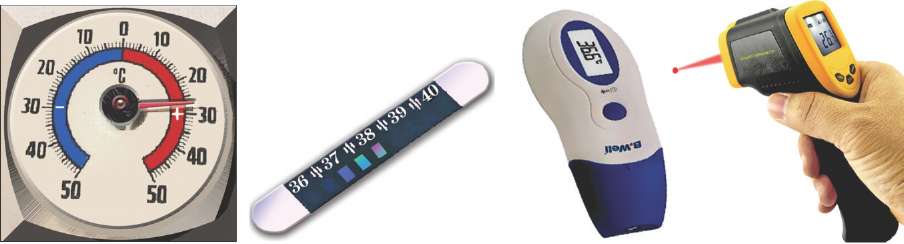


Мал. 1.4

У 1848 р. видатний англійсь­кий вчений У. Томсон (за наукові досягнення удостоєний титулу лорд Кельвін) (1824—1907рр.) за­пропонував шкалу температур, в якій нульова точка, або абсо­лютний нуль температури, від­повідає такому тепловому ста­ну речовини, коли тепловий рух молекул припиняється. Власне, У. Томсон визначив температуруза якої газ не чинив би ніякого тиску. Так виникла темпе­ратурна шкала Кельвіна (мал. 1.4).

Одиницею температури за цією шкалою є кельвін (К). Унаслідок розрахунків Кельвін отримав, що абсолютний нуль температури відповідає —273, 15 °С, тобто 0 °С = = 273,15 К. (На практиці 0 °С прирівнюють до 273 К.) Тому зміна температури на 1 К відповідає зміні температури на 1 °С. Щоб температуру, визначену у градусах Цельсія, виразити у кельвінах, потрібно до значення температури за шкалою Цельсія додати 273. Температуру, яку визнача­ють за абсолютною шкалою, позначають літерою Т, тоді Т = і + 273 (і — температура, визначена у градусах Цель­сія). У СІ кельвін (1 К) — одна з семи основних одиниць фі­зичних величин.

На сьогодні використовують багато різних конструкцій термометрів. На мал. 1.5 зображено металевий термометр, в якому застосовують стрічку, виготовлену з двох різних мета­лів, скручену в спіраль, — біметалеву стрічку. Унаслідок зміни температури така спіраль скручується або розкручуєть­ся, і приварена до неї стрілка відхиляється. У рідкокриста­лічних термометрах (мал. 1.6) використовують залежність оптичних властивостей рідких кристалів від температури. Є також електронні інфрачервоні термометри (мал. 1.7), які при контакті з тілом миттєво показують температуру. Інфра­червоні лазерні термометри дають змогу визначати темпера­туру на значній відстані, фіксуючи інфрачервоне випроміню­вання, яке тим інтенсивніше, чим тепліше тіло (мал. 1.8).



Мал. 1.5

Мал. 1.6

Мал. 1.7

Мал. 1.8

Добре відомий ртутний медичний термометр має особливість, якої немає в більшості інших термоме­трів (мал. 1.9). Річ у тому, що для визначення тем­ператури його доводиться підносити до очей. За цей час покази термометра можуть суттєво змінитися. Щоб стовпчик ртуті не опустився, канал біля балончика із ртут­тю має звужену ділянку, на якій ртутний стовпчик роз­ривається під час охолодження. Тому ртуть самовільно униз не опускається. Щоб ртуть пройшла крізь звуження в балончик, тер­мометр струшують, і тим самим він набуває робочого стану.

Верхня межа шкали медич­ного термометра — 42 °С. За температури, вищої ніж 42 °С, ртуть, розширюючись, може ро­зірвати капіляр і термометр ви­йде з ладу.

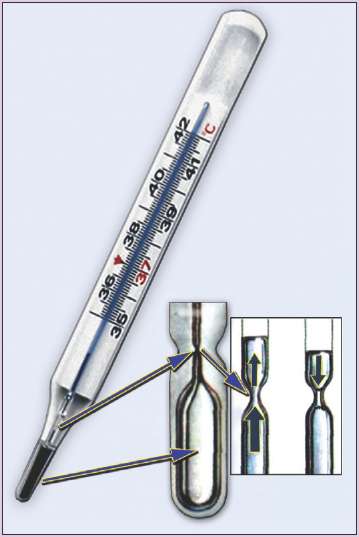


З термометрами, особливо ртутними, треба дуже обережно поводитися. Випари ртуті отруй­ні. Необхідно оберігати балон і капіляр термометра від ударів, щоб їх не пошкодити.

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

1. Які фізичні явища можна використати для вимірювання темпера­тури?
2. Чому висота стовпчика рідини в термоскопі Галілея навіть за однакової температури в різний час може бути різною?
3. Чи можна стверджувати, що температура 20 °С у два рази більша за температуру 10 °С?





Мал. 1.9

1. Які точки називають реперними?

§ 3. АГРЕГАТНІ СТАНИ РЕЧОВИНИ. ФІЗИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТВЕРДИХ ТІЛ, РІДИН І ГАЗІВ

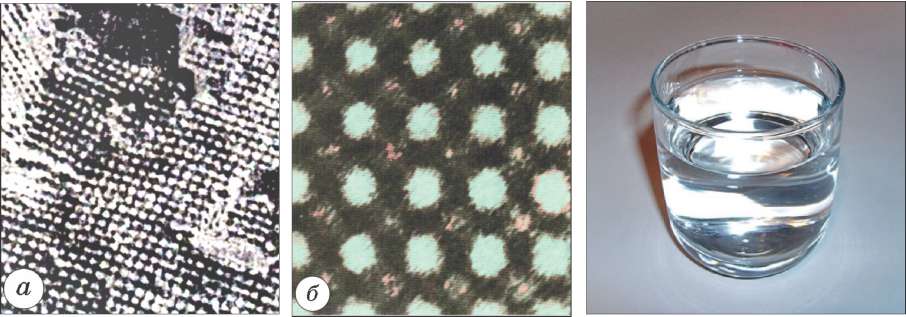
Ви вже знаєте, що одна й та сама речовина може перебу­вати у трьох агрегатних станах — твердому, рідкому і газоподібному. Пояснити це можна на підставі уявлень про молекулярну будову речовини. Молекули перебувають у по­стійному русі. Із зростанням температури зростає швидкість руху молекул, а також збільшуються проміжки між молекулами.

Сили взаємодії між молекулами виявляються лише на ма­лих відстанях. У твердих тілах молекули розміщені досить щільно. Якщо відстань між двома сусідніми молекулами від­повідає розмірам молекул, то сили притягання й відштовху­вання зрівноважують одна одну. Якщо з будь-яких причин ця відстань зменшується, то сили відштовхування і притягання зростають. Проте сили відштовхування збільшуються швидше, ніж сили притягання. Тому сили відштовхування починають переважати сили притягання, і молекули намагаються повер­нутися у попереднє положення. Навпаки, у разі збільшення відстані зменшуються і сили притягання, і сили відштовхуван­ня. Але сили притягання зменшуються повільніше, ніж сили відштовхування. Тому починають переважати сили притяган­ня. Цим можна пояснити те, що під час стискання й розтягу­вання тверді тіла намагаються відновити свою форму.

Щільне розміщення молекул і атомів у твердих тілах зумов­лює впорядкованість їхнього взаємного розміщення. На фото­графіях, зроблених за допомогою електронного мікроскопа (мал. 1.10, а, б), видно чіткий порядок розміщення атомів і молекул. Затиснені з усіх боків своїми "сусідами", молекули твердої речовини можуть лише коливатися, залишаючись на своїх місцях. Тому тверді тіла добре зберігають свою форму та об'єм, їх майже не можна стиснути.

У разі нагрівання твердих тіл швидкості коливань їхніх молекул і відстані між ними зростають. Настає момент, коли молекули вже не можуть утриматися разом і переміщуються. За певної температури тверде тіло, в якому всі молекули були вишикувані у відповідному порядку, перетворюється на рідину.

У рідинах відстані між молекулами не набагато більші за їхні розміри. Сили взаємодії між ними ще досить значні. Проте всі молекули рухаються хаотично. Молекули рідин часто



Мал. 1.10 Мал. 1.11

змінюють своє положення, ніби танцюючи танок, у якому по­стійно змінюються партнери. Внаслідок частих хаотичних переміщень молекули в рідині не мають певного порядку роз­міщення. Лише впродовж невеликого проміжку часу окремі групи молекул можуть розташовуватися впорядковано. Оскіль­ки на молекули, як і на будь-які тіла, діє сила земного тяжін­ня, вони намагаються переміститися до дна посудини. Цим по­яснюється плинність рідин.

Рідини розтікаються поверхнею або набувають форми тієї посудини, в яку їх наливають (мал. 1.11). Оскільки си­ли взаємодії між молекулами є досить значними, рідини збе­рігають свій об'єм. Проте досить щільне розміщення молекул не дає змоги їх істотно стиснути.

Унаслідок подальшого нагрівання молекули набувають де­далі більших швидкостей, і відстані між ними зростають. Сили притягання між молекулами зменшуються настільки, що вже не в змозі утримувати їх разом. Усе більше і більше молекул, які знаходяться біля поверхні, можуть подолати сили притя­гання з боку сусідніх молекул і вилетіти з рідини. Рідина пе­ретворюється на пару. Відстані між молекулами, що вилетіли з рідини, у десятки разів перевищують їхні розміри. За цих умов сили притягання і відштовхування виявляються лише під час зіткнень. Зіштовхуючись між собою на великих швид­костях, молекули знову розлітаються в різні боки. їхній рух стає безладним. Такий стан речовини називають газоподібним, або просто газом.

Термін "газ" виник не випадково — це походить від грецького слова "хаос", що означає безладдя. Гази не мають ні власноїформи, ні об'єму і займають увесь простір (наприклад, ба­лон, кімнату, м'яч), рівномірно розподіляючись по ньому. Ос­кільки між молекулами великі відстані і малі сили взаємного відштовхування, гази можна легко стиснути, тобто у багато разів зменшити їхній об'єм.

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

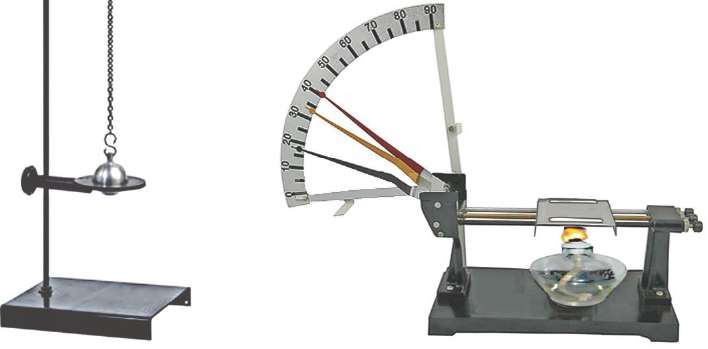
1. За вченням про молекулярну будову речовини всі тіла складаються з молекул. Як можна пояснити те, що тверді тіла не розпадаються на окремі молекули?
2. Як змінюються сили притягання і відштовхування між молекулами у разі зміни відстані між ними?
3. Чому дві грудочки крейди або частини зламаної лінійки не з'єдну­ються навіть тоді, коли їх притиснути одна до одної? Чому можна легко з'єднати два шматочки пластиліну?
4. Чому рідини зберігають лише свій об'єм і не мають власної форми?
5. Чому гази не мають ні власної форми, ні об'єму?
6. Як можна пояснити плинність рідини?

§ 4. ЗМІНА РОЗМІРІВ ФІЗИЧНИХ ТІЛ ЗАЛЕЖНО ВІД ТЕМПЕРАТУРИ

Результати спостережень і досліджень свідчать, що тіла внаслідок нагрівання розширюються, а внаслідок охолоджен­ня стискаються. У випадку рідин і газів, які не мають власної форми, може йтися лише про зміну об'єму. Розширення чи стискання твердих тіл у разі підвищення або зниження темпе­ратури відбувається в усіх напрямках зі змінами всіх лінійних розмірів тіл та їх об'ємів.



Для демонстрації розширення тіл унаслідок нагрівання голландський фізик Вільгельм Гравезанд (1688—1742 рр.) ви­найшов прилад, який складався з кулі, що підвішувалася над кільцем на ланцюжку або дротині і вільно проходила крізь йо­го отвір. Куля, нагріта за допомогою спиртівки, не проходи­ла крізь кільце і трималась на ньому, допоки не охолоне (мал. 1.12).



Мал. 1.12 Мал. 1.13

Тверді тіла, виготовлені з різних матеріалів, видовжуються по-різному. Переконатися у цьому можна, скориставшись при­ладом, який дає змогу одночасно фіксувати малі видовження трьох стрижнів (мал. 1.13). Стрижні однакової довжини і пе­рерізу, але виготовлені з різних матеріалів (залізний, мідний та алюмінієвий), нагрівають одночасно. Видовжуючись, стри­жні тиснуть на стрілки, відхилення яких свідчать про їхнє ви­довження. Виявляється, що мідний стрижень видовжується менше, ніж алюмінієвий, але більше, ніж сталевий.

Знання і врахування того, як тіла розширюються під час нагрівання, має важливе значення. У техніці й будівництві широко застосовують конструкції, виготовлені з різних мате­ріалів. Цеглу, залізобетонні плити й сталеві балки використо­вують під час будівництва різних споруд, а деталі з алюмінію, сталі, міді, нікелю, бронзи і пластмаси — в автомобілях, літа­ках та інших виробах. Щоб запобігти руйнуванню конструкцій унаслідок неоднакового розширення різних матеріалів під час нагрівання, їх добирають так, щоб за однакових змін температу­ри вони видовжувалися (скорочувалися) однаково. Наприклад, греблі гідроелектростанцій будують із залізобетону. Залізобе­тонні конструкції греблі залежно від пори року вдень і вночі то нагріваються, то охолоджуються. Уявіть собі, що сталося б, якби залізна арматура розширювалася під час нагрівання іс­тотніше, ніж бетон! Дуже скоро в греблі утворилися б тріщини, і через кілька років вона не змогла б протистояти тиску води.



Мал. 1.14 Мал. 1.15

Теплове розширення твердих тіл значно менше, ніж тепло­ве розширення рідин, та в сотні чи й тисячі разів менше, ніж розширення газів. Проте незначне, здавалося б, розширення твердих тіл може призвести до серйозних наслідків. У разі на­грівання сталевого стрижня на 1 °С його довжина зростає ли­ше трохи більше ніж на одну стотисячну частку. Щоб пере­шкодити такому видовженню стрижня перерізом 1 см2, потріб­но прикласти силу 200 Н.

Сили, що виникають унаслідок теплового розширення різ­них конструкцій, якщо їх не враховувати, можуть призвести до руйнувань і катастроф (мал. 1.14). Тому рейки залізнич­них колій укладають так, щоб між ними були проміжки (мал. 1.15). їх закріплюють на залізобетонних шпалах, що дає змогу зменшити кількість стиків та забезпечити більш плавний рух потягів. Паропроводи на теплових електростан-



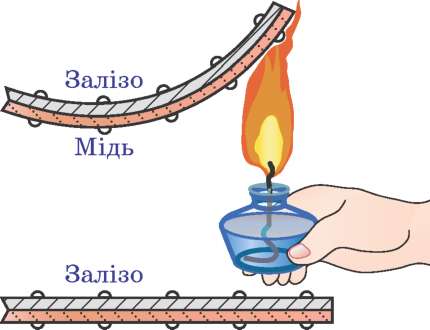
Мал. 1.16 Мал. 1.17

бам (мал. 1.16). Будуючи мости, один з кінців їхніх прольотів кріплять до опори, а інший розташовують вільно або на спеціальних котках (мал. 1.17). При цьому між прольотами залишають невеликий промі­жок, інакше за зміни темпера­тури міст може зруйнуватися.

Теплове розширення дово­диться враховувати, прокла­даючи лінії електропередач, магістральні газові та нафто­проводи, а також виготовляючи точні вимірювальні прилади.

Ви знаєте, що звичайний скляний посуд часто тріскається, коли нагрівати в ньому рідину на відкритому вогні або елек­тричній плитці. Це відбувається тому, що поверхні посуду, які контактують з рідиною і нагрівником, нагріваються й розши­рюються по-різному. Проте існують спеціальні сорти скла, які містять до 96 % кварцу. Таке скло у разі нагрівання дуже мало розширюється, тому в посуді, виготовленому з нього, мож­на кип'ятити воду. Воно не тріскається навіть, якщо після на­грівання до 1000 °С його помістити в холодну воду.

Із заліза і бетону створюють різні споруди, будують греблі гідроелектростанцій та ін., оскільки залізо й бетон однаково розширюються під час нагрівання та однаково стискаються під час охолодження. Однаково розширюються й стискаються та­кож скло електричних лампочок і дротинки, які підводять електричний струм до спіралей.



Мідь

Мал. 1.18

Властивість різних металів по-різному змінювати свої ліній­ні розміри під час нагрівання застосовують для виготовлення біметалевих пластин. Дві металеві пластинки, виготовлені з матеріалів з різними температурними коефіцієнтами лінійно­го розширення, наприклад заліза й міді, з'єднують між со­бою — склепують у кількох місцях або зварюють (мал. 1.18). За кімнатної температури біметалева пластинка є рівною. Під час нагрівання мідь розширюється більше, ніж залізо, тому пластинка вигинається. На цьому явищі ґрунтується робота термореле — пристроїв, які вимикають живлення приладів,коли їхня температура досягає певного значення, та автома­тичних запобіжників. Після зниження температури термореле знову вмикає прилад. Термореле зазвичай використовують у прасках, інкубаторах, термостатах тощо.



Біметалева стрічка (стрічка виготовлена з двох різних ме­талів), яку згорнуто в пружину й піддано термічній обробці в печі, "запам'ятовує" свою форму. При підвищенні температу­ри пружина розкручується (або скручується) залежно від різ­ниці коефіцієнтів теплового розширення використаних металів. Саме таку пружину використовують у металевих (біметалевих) термометрах.

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

1. Які досліди дають змогу продемонструвати розширення тіл унас­лідок їхнього нагрівання?
2. Чому проводи ліній електропередач, які монтують улітку, не можна дуже натягувати?
3. Чому трубопроводи обладнують компенсаторами розширення від нагрівання?
4. Чому потрібно враховувати теплове розширення тіл під час будів­ництва?
5. Чому в паспортах вимірювальних приладів і на мірах зазначають робочу температуру (найчастіше 20 °С)?
6. Що являє собою біметалева пластина? Чому біметалева пластина згинається у разі нагрівання?
7. Чому, муруючи печі, каміни, для скріплення цегли використовують глиняні, а не цементні розчини?

§ 5. ВНУТРІШНЯ ЕНЕРГІЯ

Температура, характеризуючи тепловий стан тіл, відобра­жує зміни, які відбуваються в тілах під час їхнього нагріван­ня й охолодження. Проведіть простий дослід. Візьміть порож­ню скляну пляшку і підберіть до неї корок так, щоб він легко ковзав у отворі, але повністю його закривав. Можна змастити корок соняшниковою олією. Покладіть відкриту пляшку на деякий час у морозильну камеру холодильника або підставтепід струмінь холодної води. Вийнявши з холодильника, швид­ко закрийте пляшку корком, заглибивши його на кілька мілі­метрів, і помістіть її у гарячу воду. За лічені секунди ви почу­єте хлопок і корок вилетить із пляшки. Отже, повітря, що бу­ло в пляшці, виконало роботу з виштовхування корка. Проте виконання роботи можливе, якщо тіло (повітря) має енергію. Яка саме це енергія?

Щоб відповісти на питання, пригадайте, що всі тіла скла­даються з молекул. Молекули перебувають у постійному русі й взаємодіють між собою. Кожна молекула, яка рухається, має кінетичну енергію. Оскільки молекули взаємодіють між собою силами притягання й відштовхування, то вони мають і потен­ціальні енергії. Звичайно, молекули малі й енергія кожної окремої молекули незначна. Проте тіла складаються з величез­ної кількості молекул Ч Тому загальна (кінетична та потен­ціальна) енергія усіх молекул, з яких складається тіло, може бути дуже великою. Унаслідок нагрівання закритої корком пляшки внутрішня енергія повітря, яке було в ній, збільши­лася і стала достатньою, щоб виконати роботу проти сили ат­мосферного тиску і сили тертя, що діяли на корок.

Енергію, що характеризує рух і взаємодію усіх частинок, з яких складається тіло, називають внутрішньою енергією тіла.

Тіла складаються з молекул, атомів, іонів, які в свою чер­гу мають складну будову. Частинки, з яких складаються атоми (протони, нейтрони, електрони), теж перебувають у русі та взаємодіють між собою. Загалом поняття "внутрішня енергія" включає в себе енергію руху та взаємодії молекул і тих части­нок, з яких вони складаються. Тепловий стан тіла визначають рух і взаємодія молекул і атомів. Тому, коли йдеться про те­плові явища, під внутрішньою енергією розуміють лише су­марну потенціальну і кінетичну енергію молекул, з яких складаються тіла.

Кінетична енергія молекул визначає температуру тіла. Чим вища температура, тим швидше рухаються молекули і тим більша їхня енергія. Зміна температури, яку ми можемо виз-

1 У 1 см3 повітря за нормальних умов (Ь = 0 °С, Р = 101 325 Па) міститься 2,68 • 1019 молекул.

начати за показаннями термометра або оцінювати за своїми відчуттями, свідчить про зміни в швидкостях руху молекул тіла, тобто про зміну його внутрішньої енергії. Із зміною темпе­ратури пов'язана й зміна відстаней та сил взаємодії між моле­кулами тіла — їхня потенціальна енергія.

Внутрішня енергія є загальною характеристикою руху і взаємодії молекул (атомів, іонів), з яких складається тіло.



Внутрішня енергія не залежить від швидкості руху самого тіла та його положення відносно інших тіл. Внутрішня енер­гія повітря в салоні авіалайнера, що летить на великій висоті, така сама, як і під час перебування літака на злітній смузі. Про це свідчить температура повітря в салоні. Не змінилася також внутрішня енергія й інших предметів у літаку, незва­жаючи на те, що механічна енергія літака зросла.

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

* 1. Який вид механічної енергії притаманний кожній молекулі речовини унаслідок її руху?
  2. Енергію якого виду має кожна молекула речовини унаслідок взає­модії з іншими молекулами?
  3. Що розуміють під внутрішньою енергією тіла?
  4. Чому зміна температури тіла свідчить про зміну його внутрішньої енергії?
  5. Чому внутрішня енергія визначає тепловий стан тіла?
  6. Температури двох сталевих виробів — один масою 0,2 кг, другий 5 кг, однакові. В якого з виробів внутрішня енергія більша?

§ 6. ДВА СПОСОБИ

ЗМІНИ ВНУТРІШНЬОЇ ЕНЕРГІЇ ТІЛА

Про зміну внутрішньої енергії тіла свідчить зміна його тем­ператури. Якщо температура підвищується, ми кажемо, що ті­ло нагрівається. При цьому його внутрішня енергія збільшу­ється, адже ми знаємо, що з підвищенням температури швид­кість руху частинок, з яких складаються тіла, збільшується.

Зниження температури тіла свідчить про його охолодження і зменшення внутрішньої енергії.

Коли у вас замерзли руки, ви можете двома способами їх зігріти, тобто збільшити їхню внутрішню енергію: піднести до більш нагрітого тіла чи занурити у теплу воду або потерти ру­ку об руку. У першому випадку відбувається теплообмін: те­пло передається від гарячого тіла до холодного. У другому випадку ви виконуєте роботу з подолання сили тертя і перемі­щення однієї руки відносно іншої.

Є два способи зміни внутрішньої енергїі (нагрівання) тіл: виконання роботи і теплообмін.

Наприклад, щоб запалити сірник, ми чиркаємо покритим сіркою кінцем по спеціальній смужці, нанесеній на поверхню сірникової коробки. Сірка нагрівається, і сірник спалахує. Пере­міщуючи його, ми долаємо тертя і виконуємо роботу. Отже, внутрішня енергія голівки сірника збільшується унаслідок ви­конаної нами роботи. Спосіб добування вогню тертям був ви­найдений ще давніми людьми. Вони не мали в своєму розпо­рядженні таких легкозаймистих матеріалів, які сьогодні вико­ристовуються при виготовленні сірників. Тому, тручи палицю об палицю, щоб одержати вогонь, їм доводилося виконувати досить важку роботу.

Унаслідок виконання роботи нагріваються різці токарних верстатів, свердла і деталі, що обробляються, інструменти, які заточують на точилі, полотна пилок, коли ними пиляють дере­вину чи метал. Якщо кілька разів зігнути й розігнути дроти­ну, вона теж нагріється.

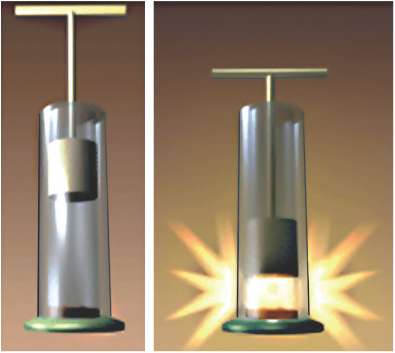
Накачуючи шини велосипеда, ви, певно, помітили, що кор­пус насоса помітно нагрівається. У разі нагнітання повітря на­сосом ви виконуєте роботу зі стиснення повітря — повітря на­грівається. Якщо трубка насоса не з'єднана з камерою і її отвір відкритий, то для переміщення поршня потрібно прикладати значно меншу силу. Тоді виконувана робота є незначною і по­вітря майже не нагрівається. Швидко стиснувши повітря, його можна нагріти до температури, достатньої для запалювання легкозаймистих речовин. Це можна продемонструвати за допо­могою приладу, що називається "повітряне кресало". Прилад являє собою товстостінний циліндр із дном, виготовлений із прозорого пластику. Всередині циліндра може переміщуватися

поршень. У циліндр поміщають клаптик гігроскопічної вати або кілька крапель сірчистого ефіру. Якщо, натиснувши на ручку, з'єд­нану з поршнем, швидко стиснути повітря в циліндрі, то вата або ефір спалахують (мал. 1.19). Про­ведені досліди й спостереження свідчать, що внутрішню енергію тіла можна збільшувати, вико­нуючи над ним роботу.

Якщо спочатку повільно стис­нути повітря в циліндрі під пор­шнем, а потім, відпустивши поршень, дати можливість стисне­ному повітрю швидко розширитися (можна швидко витягнути поршень із циліндра за ручку), то у циліндрі утвориться туман. Це відбулося внаслідок охолодження повітря, яке, розширю­ючись, виконало роботу із переміщення поршня.

Якщо тіло виконує роботу проти зовнішніх сил, то його внутрішня енергія зменшується.

Зменшення внутрішньої енергії (і температури) внаслідок виконання газом роботи застосовують, зокрема, у вуглекислот­них вогнегасниках, а також для одержання штучного снігу й льоду. У вогнегасниках вуглекислий газ, вириваючись із роз­труба назовні, розширюється, його температура знижується до -60 °С. Унаслідок такого охолодження з вуглекислого газу утворюються кристалики снігу, які охолоджують джерело зай­мання (мал. 1.20). Вуглекислий газ, що утворюється з них при нагріванні, не підтримує горіння. Тому такі вогнегасники є дуже ефективними. Проте, використовуючи вуглекислотний вогнегасник, слід пам'ятати, що його розтруб дуже сильно охолоджується. Доторкнувшись до нього незахищеною рукою, її можна обморозити.



Мал. 1.19

За відсутності снігу під час проведення лижних змагань ви­користовують снігові гармати, за допомогою яких і створюють сніговий покрив (мал. 1.21). Стиснене повітря, вириваючись із сопел такої гармати, розширюється, і його температура стає нижчою, ніж температура замерзання води. Тому крапельки води, яка підводиться до гармати і розпилюється цим повіт-



Мал. 1.20 Мал. 1.21

рям, замерзають, утворюючи дрібні кристалики льоду — сні­жинки, навіть якщо температура довкілля перевищує 0 °С.

Якщо два тіла з різною температурою контактують, то тем­пература і внутрішня енергія більш нагрітого тіла зменшують­ся, а менш нагрітого — зростають.

Спосіб зміни внутрішньої енергії, за якого внутрішня енергія збільшується внаслідок передачі тепла від більш нагрітого тіла до менш нагрітого або від більш нагрітої частини тіла до менш нагрітої, називають теплообміном або теплопередачею.

Щоб нагріти, наприклад, воду для чаю, ми вмикаємо в мере­жу електричний чайник з водою. Температура нагрівального елемента чайника підвищується і стає більшою за температуру води. Оскільки нагрівальний елемент контактує з водою, тепло передається воді. Температура, а отже, і внутрішня енергія води зростають — вода нагрівається. Завдяки теплообміну від батареї опалення нагрівається повітря в кімнаті, Сонце зігрі­ває Землю, нагрівається чайна ложка, занурена у склянку з окропом.

У процесі теплообміну (теплопередачі) відбувається зміна внутрішньої енергії тіл або частин тіл унаслідок їхньої різної температури.

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

1. Як можна змінити внутрішню енергію тіла?
2. Який спосіб зміни внутрішньої енергії називають теплообміном?
3. Наведіть приклади, які підтверджують, що внаслідок виконання роботи над тілом його внутрішня енергія збільшується?
4. Після обробки на гострильному крузі зубило стало гарячим. Чому змінилася його внутрішня енергія?
5. Чому нагрівається пилка, якщо нею тривалий час пиляють дрова?
6. Чому, якщо швидко зісковзувати по канату, можна опекти руки?
7. Чому кульковий підшипник у машині нагрівається менше, ніж під­шипник ковзання?
8. Чому більшість невеликих метеоритів згорають в атмосфері Землі й не долітають до її поверхні?

§ 7. ВИДИ ТЕПЛООБМІНУ

Щоб створювати ефективні системи нагрівників та холо­дильників, потрібно знати особливості процесів теплообміну між різними тілами.

Існує три типи теплообміну між тілами і частина­ми одного й того самого тіла: теплопровідність, конвек­ція та випромінювання.



Теплопровідність. Якщо ви візьметесь рукою за один кі­нець металевого стрижня, а другий піднесете до полум'я спир­тівки або газового пальника, то через лічені хвилини він про­гріється настільки, що далі його не можна буде утримати у ру­ці (мал. 1.22, а). Це є наслідком того, що у металів висока те­плопровідність. Від розігрітого кінця стрижня тепло швидко поширюється по всій його довжині. Як же відбувається пере­дача тепла від однієї частини стрижня до іншої? Атоми мета­лу (іони), розміщені у вузлах кристалічної ґратки, коливають­ся навколо своїх станів рівноваги. Коли ми вводимо кінець стрижня у полум'я спиртівки, атоми, які знаходяться на його поверхні, взаємодіють з атомами газів і часточок полум'я, які мають великі швидкості (мал. 1.22, б). Унаслідок цієї взаємо­дії швидкість їх коливань і енергія зростають.

C:\Users\NDU\AppData\Local\Temp\FineReader10\media\image33.jpeg

'і І±аііри.ши±ч,

'І теплопередачі а 1 1 б

Мал. 1.22

Атоми, енергія яких зростає за рахунок співударів із ча­сточками полум'я, взаємодіють з іншими, сусідніми атомами стрижня. Поступово змінюються швидкості коливань і енергія теплового руху усіх атомів стрижня. Завдяки низці міжатом­них взаємодій тепло швидко поширюється від одного кінця стрижня до іншого. Збільшення енергії атомів на другому з кінців стрижня призводить до підвищення його температури. Настає момент, коли його вже не можна втримати в руці, щоб не обпектися. Такий процес передачі теплоти називають теплопровідністю.

Теплопровідність — це збільшення кінетичної енергії руху атомів або молекул, з яких складається тіло, внаслідок їх взаємодії між собою у напрямку від більш нагрітих частин тіла до менш нагрітих.

Унаслідок теплопровідності швидкість теплового руху ато­мів змінюється, проте самі атоми (молекули) залишаються на своїх місцях, і речовина не переноситься.







• • Ф Э Ф ^

ф" о л\* о і 6 6 І ч»

Швидкість теплопередачі за рахунок теплопровідності за­лежить від особливостей взаємодії молекул і атомів речовини та є різною для різних речовин. Переконаємося у цьому за допо­могою простого досліду. Однакові за розміром стрижні, виго­товлені з алюмінію, міді й сталі, закріплено в металевій шайбі (мал. 1.23). Стрижні мають по кілька лунок, розташованих на однакових відстанях. Лунки заповнюють воском або пла­стиліном і в них вставляють однакові цвяхи. Шайбу нагріва­ють у полум'ї спиртівки, від неї нагріваються і стрижні. Внас­лідок нагрівання стрижнів віск у лунках плавиться, і цвяхи



Мал. 1.24

відпадають. Першими відпадають цвяхи на мідному стрижні, потім на алюмінієвому і, нарешті, на залізному. Дослід доводить, що із цих трьох речовин у міді найкраща теплопровідність, а в заліза найгірша.

Висока теплопровідність металів дає змогу використовува­ти їх для виготовлення кухонного посуду (каструлі, сковорід­ки), батарей опалення, радіаторів автомобілів, прасок та ін­ших виробів, які повинні швидко нагріватися і передавати тепло іншим тілам (повітрю, страві, що вариться, білизні).

Низькою є теплопровідність дерева, багатьох пластмас, гу­ми, паперу, пінобетону, пінопласту. Ці матеріали використову­ють для виготовлення ручок паяльників, кухонного посуду, застосовують у будівництві для теплоізоляції приміщень.

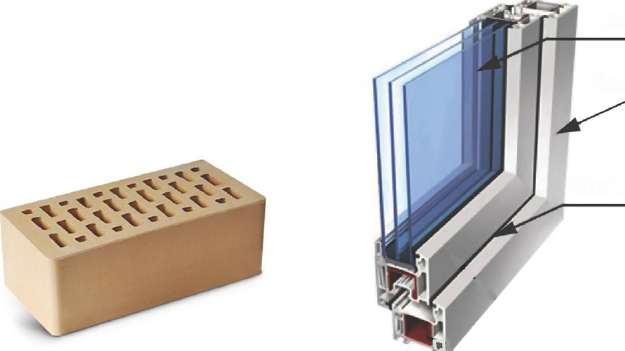
У рідин теплопровідність значно менша, ніж у металів. Як­що пробірку з холодною водою тримати за денце, нагріваючи

у полум'ї спиртівки лише її верх­ню частину, то вода у верхній ча­стині скоро закипить, а в ниж­ній — ледь нагріється (мал. 1.24). Якщо на дно пробірки з водою помістити шматочок льоду, за­кріпивши його так, щоб він не спливав, і нагрівати верхню ча­стину пробірки, то вода в пробір­ці теж закипає, а лід не встигає повністю розплавитися.



Мал. 1.23

Ще меншу теплопровідність мають гази. Саме тому для тепло- Мал. 1.25 ізоляції будинків, холодильників



Мал. 1.26

Мал. 1.27

Склопакет

Віконна рама

Ущільнювач

використовують пористі матеріали: пінопласт, мінеральну ва­ту (мал. 1.25), піно- і газобетон, цеглу з порожнинами (мал. 1.26). Теплий одяг шиють з бавовни, хутра та ін. У порожни­нах і між волокнами цих матеріалів утримується повітря, те­плопровідність якого низька. Для збереження тепла в будин­ках вікна виготовляють із подвійними і потрійними склопаке- тами, між якими є повітряний прошарок (мал. 1.27).

Якщо кількість молекул у тому чи іншому об'ємі газу зменшувати, знижуючи його тиск, то його теплопровідність теж буде зменшуватися, адже зменшиться кількість молекул, які взаємодіють. Тому розріджені гази є гарними теплоізоля- торами, а у вакуумі передача теплоти завдяки теплопровідно­сті взагалі неможлива.

Конвекція. Розглядаючи теплообмін у різних речовинах, ми зауважили, що у рідин та газів низька теплопровідність. Проте увімкнуті батареї опалення досить швидко прогрівають повітря в кімнаті. Небагато часу потрібно й для того, щоб на­гріти воду в чайнику. Зверніть увагу, рідини і гази, як прави­ло, нагрівають знизу: посудину з рідиною розміщують над вог­нем; батареї опалення кріплять до нижньої частини стіни.

Як же передається тепло рідинами та газами? Проведемо простий дослід. У колбу наллємо воду. Кілька дрібок легкороз­чинного фарбника помістимо в маленький пакетик із пористо­го паперу, вкладемо туди дробинку або інший тягарець і, зав'язавши отвір, вкинемо на дно колби. Це потрібно для то­го, щоб фарбник розчинявся поволі.

Почнемо підігрівати колбу над полум'ям. Через деякий час побачимо забарвлені струмені, які піднімаються в центрі колби з пакетика до поверхні рідини і, досягнувши її, опускаються донизу біля стінок. Цей процес називають конвекцією (від лат. сопуєсііо — перенесення, доставка).

На дні колби вода починає прогріватися знизу за рахунок теплопровідності скла колби, й відбувається її розширення. Внаслідок розширення густина теплої води стає меншою, ніж шарів холодної води, що її оточують, і вона піднімається вго­ру. Пригадайте, якщо густина тіла менша, ніж густина ріди­ни, воно спливає.

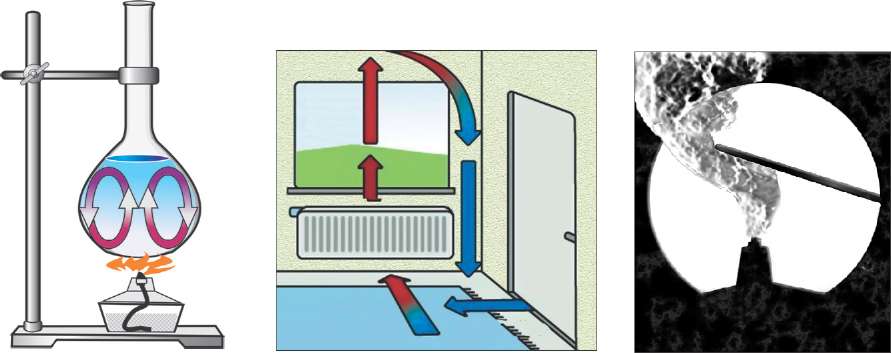
З боку оточуючої холодної води, густина якої перевищує густину води, яка прогрілася, починає діяти виштовхувальна сила. Місце теплої води займає холодна вода, яка теж прогрі­вається і, у свою чергу, піднімається вгору.

У верхніх шарах температура нижча. Унаслідок взаємодії молекул теплої води з молекулами оточуючої холоднішої води їх кінетична енергія зменшується, потік теплої води поступо­во охолоджується, густина води знову збільшується, і біля стінок колби вона знову опускається до дна (мал. 1.28). За ра­хунок такого переміщення вода поступово прогрівається в усьому об'ємі. Такі самі процеси відбуваються й під час нагрі­вання інших рідин.

Гази, як і рідини, під час нагрівання теж розширюються, а їхня густина зменшується. На тепле повітря, відповідно до закону Архімеда, починає діяти виштовхувальна сила. Густи­на повітря, яке, наприклад, контактує з гарячою батареєю в кімнаті, зменшується, й воно піднімається вгору, а його місце займає холодне повітря. Піднімаючись до стелі, тепле повітря поступово охолоджується й опускається донизу. Так виника­ють конвекційні потоки повітря і відбувається його перемішу­вання та нагрівання (мал. 1.29).

Нагрівання рідин і газів відбувається завдяки конвек- ціі: утворенню потоків речовини та їі перемішуванню.

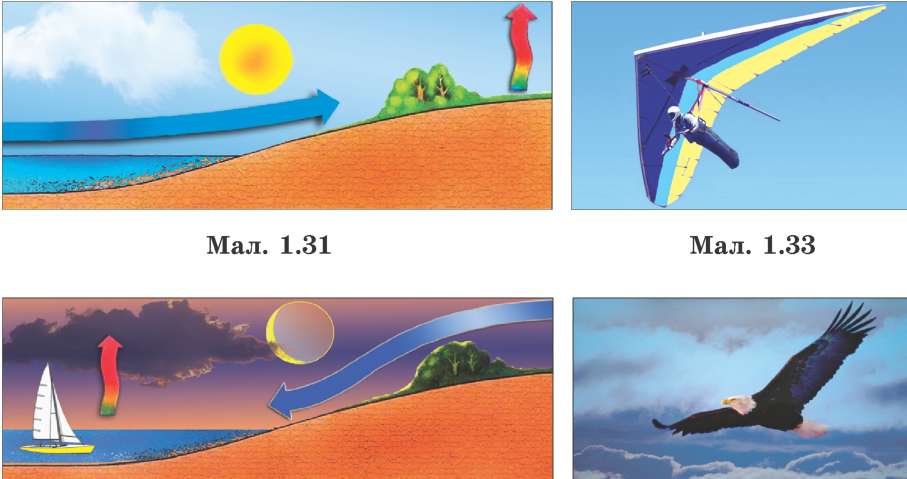
Конвекційні потоки повітря над увімкнутою електричною плиткою, лампочкою чи батареєю опалення можна виявити, скориставшись легкою паперовою змійкою або млинком, вста­новленим на вістря голки. Потоки теплого повітря й газів, що



Мал. 1.28 Мал. 1.29 Мал. 1.30

піднімаються, добре видимі в тіньовій проекції. Якщо, скори­ставшись освітлювачем для тіньового проектування (або діа­проектором), спрямувати на екран широкий пучок світла і в нього ввести, наприклад, запалену спиртівку або свічку, то на екрані можна спостерігати тіні від струменів нагрітого повітря й газів, які утворилися під час горіння. Розмістивши над по­лум'ям пластину, можна побачити, як вони її обтікають, під­німаючись угору (мал. 1.30).

Конвекція — дуже поширений у природі вид теплообміну. У земній атмосфері виявом конвекції є вітри. Сонячні проме­ні, досягаючи Землі, нагрівають її поверхню неоднаково. На­приклад, у літні дні суходіл нагрівається швидше й до вищої температури, ніж вода в морі. Пригадайте, пісок на пляжі, асфальт, каміння у літній сонячний день нагріваються так, що на них неможливо ступити босою ногою, а вода має ниж­чу температуру. Тому повітря над суходолом нагрівається іс­тотніше. Тепле повітря піднімається вгору, а його місце зай­має холодніше повітря. Так виникають конвекційні потоки повітря на узбережжі великих водойм, наприклад морські ві­три — бризи, що дмуть на узбережжі морів і великих озер. Удень вітер (денний бриз) дме з моря на суходіл (мал. 1.31), а вночі, навпаки, нічний бриз дме з суходолу в бік моря. Су­ходіл охолоджується швидше, ніж вода в морі чи великому озері. Якщо ви купалися рано-вранці або пізно увечері, то знаєте, що температура води й повітря над нею в цей час ви­ща за температуру суходолу й повітря над ним. Тому холод-



Мал. 1.32 Мал. 1.34

ніше повітря з суходолу починає переміщуватися до моря, займаючи місце більш теплого повітря, яке піднімається вго­ру (мал. 1.32).

Конвекційні потоки теплого повітря, що піднімаються, за­стосовують пілоти безмоторних літальних апаратів (планерис­ти та дельтапланеристи; мал. 1.33), орли (мал. 1.34) та інші великі птахи, щоб тривалий час утримуватися в повітрі.

Для швидшого нагрівання рідин і газів або, навпаки, їхньо­го охолодження використовують примусову конвекцію, збіль­шуючи швидкість потоків рідин і газів за допомогою вентиля­торів або просто перемішуючи рідини, гази. Саме тому, щоб швидше охолов чай, його помішують ложкою. Для охолоджен­ня в спеку люди застосовують віяла та вентилятори.

Конвекція — це такий вид теплообміну, за якого внутрішня енергія тіла (газу, рідини) збільшується завдяки перенесенню речовини.

Збільшивши внутрішню енергію в одному місці, речовина переміщується в інше, де внутрішня енергія менша. У цьому головна відмінність конвекції від теплопровідності.

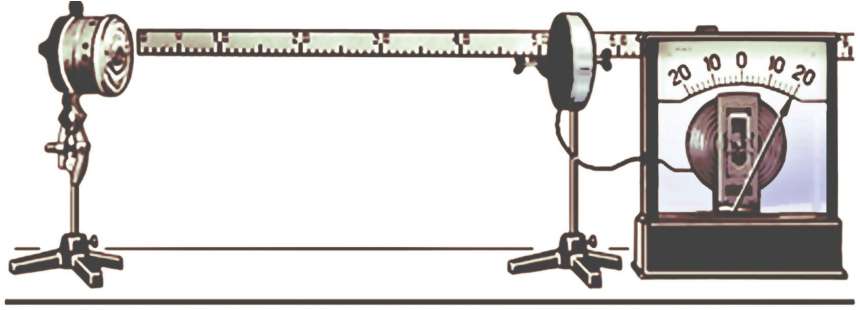
Випромінювання. Коли Сонце піднімається на небосхилі, ми відчуваємо його тепло. Сонце — не лише джерело світла. Сонячні промені нагрівають поверхню Землі. Відстань між Сонцем і Землею становить 150 млн км — це космічний про­стір, в якому неможливі конвекція й теплопровідність.

Піднісши руку до електричної лампочки знизу, ми відчує­мо тепло, незважаючи на те, що конвекційний потік нагрітого нею повітря піднімається вгору. На значній відстані відчува­ється жар від багаття. В цих випадках теплопередача відбу­вається за рахунок випромінювання. На відміну від тепло­провідності та конвекції для випромінювання наявність речо­вини не має значення.

Усі тіла випромінюють особливі інфрачервоні хвилі. Тіло людини, двигун автомобіля, батарея опалення, електрична праска, склянка гарячого чаю — джерела інфрачервоного ви­промінювання. На відміну від світла ці теплові хвилі невиди­мі — їх не сприймає око людини. Чим вища температура тіла, тим більша енергія інфрачервоного випромінювання. Коли інфрачервоне випромінювання потрапляє на поверхню якого- небудь тіла (долоню, поверхню Землі, дах будинку), воно взає­модіє з молекулами і атомами речовини. Це приводить до збільшення енергії молекул і атомів спочатку поверхні, а по­тім і всього тіла, й відтак до зростання його внутрішньої енер­гії та температури.

Проведемо дослід. З'єднаємо теплоприймач — плоску круг­лу коробочку, один бік якої відполіровано до блиску, а інший — пофарбовано чорною фарбою, із манометром і розташуємо так, щоб зачорнена поверхня була обернена до нагрітої електричної плитки із закритим нагрівником або праски, як показано на мал. 1.35.

Конвекційний потік повітря від нагрітої плитки (праски) піднімається вгору й не може нагрівати теплоприймач. Проте за кілька секунд стрілка манометра починає відхилятися. Це свідчить про те, що повітря в теплоприймачі нагрівається і його тиск збільшується. Чорна матова поверхня майже повні­стю поглинає усі види випромінювання. їх енергія перетворю­ється на енергію теплового руху молекул тіла. Але саме взає­модія інфрачервоних променів із речовиною найбільше змінює швидкість теплового руху молекул речовини.



Мал. 1.35



Якщо повернути коробочку теплоприймача так, що до плитки буде обернена її відполірована поверхня, нагрівання коробочки помітно зменшиться. Білі дзеркальні поверхні знач­но менше нагріваються порівняно з чорними, оскільки тепло­ві й інші промені добре відбиваються від них. Інфрачервоні промені краще, ніж видиме випромінювання, відбиваються від металевих поверхонь і добре поглинаються водою та деякими видами скла.

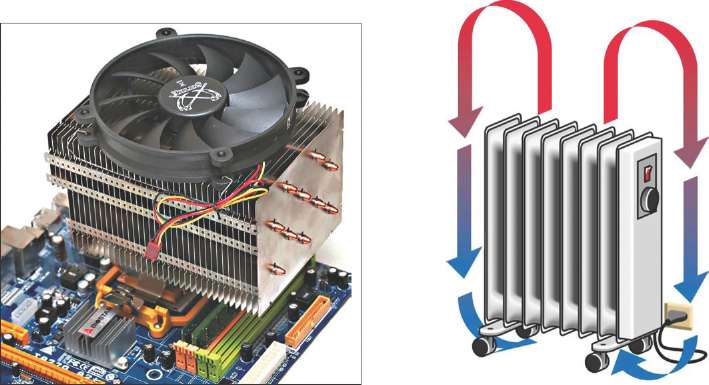
ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

1. Який спосіб зміни внутрішньої енергії називають теплопередачею?
2. Які є види теплопередачі?
3. Як відбувається передача теплоти завдяки теплопровідності?
4. Який вид теплообміну називають конвекцією?
5. Чи можлива конвекція в твердих тілах? У вакуумі?
6. Поясніть, як відбувається конвекція в рідинах та газах?
7. Як відбувається передача теплоти випромінюванням?
8. В яких середовищах можлива передача теплоти за рахунок випромінювання?
9. Чому хутро, пух, пір'я на тілі тварин захищають їх від холоду?
10. У яких речовин гарна теплопровідність?
11. Чому радіатори автомобілів виготовляють із металів, які мають гарну теплопровідність?
12. Чому рідини і гази нагрівають знизу?

§ 8. ЗАСТОСУВАННЯ І ВРАХУВАННЯ РІЗНИХ ВИДІВ ТЕПЛООБМІНУ

Особливості теплопровідності, конвекції, випромінювання враховують і використовують під час створення різноманітних джерел тепла у випадках, коли необхідно його зберегти або, навпаки, забезпечити швидке охолодження різних приладів. Випромінювання є важливим для підтримання певної темпера­тури в приміщеннях та в багатьох інших випадках.

У комп'ютерах для охолодження процесорів та інших мі­кросхем встановлюють спеціальні радіатори з алюмінію, міді, які виготовляють як окремі пластини і мають великі ребристі площі поверхонь. Метал радіаторів унаслідок гарної тепло­провідності швидко нагрівається. їх ребристість збільшує пло­щу поверхні, яка контактує з навколишнім повітрям і не перешкоджає утворенню конвекційних потоків. У молекул по­вітря, які взаємодіють з молекулами металевого радіатора, збільшується швидкість, а швидкість молекул радіатора змен­шується. Повітря, яке контактує з ребристою поверхнею раді­аторів, швидко нагрівається, його внутрішня енергія і темпе­ратура зростають. Щоб тепле повітря швидше замінювалося більш холодним, на радіатори часто встановлюють вентилято­ри. Так, у разі проганяння повітря між ребрами радіаторів, встановлених на процесорах комп'ютерів, мікросхемах, спе­ціальні вентилятори (кулери) сприяють їх швидшому охоло­дженню (мал. 1.36).



Мал. 1.36

Мал. 1.37



Мал. 1.38 Мал. 1.39

Так само вирішують і обернену проблему — швидкий обі­грів приміщень: адже чим більша поверхня радіатора і чим швидше змінюється повітря біля нього, тим швидше нагрієть­ся повітря в кімнаті (мал. 1.37). Нагріта поверхня радіатора і є джерелом інфрачервоного (теплового) випромінювання. Внас­лідок випромінювання також зменшується внутрішня енергія випромінювального тіла — воно охолоджується.

Для уповільнення передачі тепла від більш нагрітих тіл до менш нагрітих (збереження теплоти) використовують спе­ціальні пристрої — термоси. Приємно випити під час лижної прогулянки гарячої кави чи чаю (мал. 1.38). Тут і стає у наго­ді термос. Щоб напої довше зберігалися гарячими, термоси мають скляні або металеві колби з тонкими подвійними стін­ками. Повітря між стінками колб відкачують. Скло і нержа­віюча сталь порівняно з іншими металами мають досить низь­ку теплопровідність. Повітря — поганий провідник тепла, а в розрідженому повітрі відсутня навіть конвекція. Залишається ще один механізм втрати теплоти — випромінювання. Адже інфрачервоні промені поширюються й у вакуумі. Тому мета­леві колби полірують, а поверхні скляних колб роблять дзер­кальними. Скляні колби для захисту від пошкоджень вміщу­ють у захисні металеві або пластмасові корпуси, а їх горличка закривають пробками з корка або пластику (мал. 1.39). Така конструкція термосів дає змогу суттєво зменшити втрати те­плоти внаслідок теплопровідності, конвекції та випроміню­вання.

Паливо не може горіти за відсутності надходження повітря. У топках і печах зазвичай використовують приплив повітря завдяки конвекції — тягу. Для забезпечення гарної тяги над топкою в котельних установках електростанцій, заводів, коте­лень централізованих систем опалення будинків встановлюють труби. Нагріті гази, що виділяються під час спалювання пали­ва, піднімаються угору. Тиск газів у топці й трубі стає меншим за тиск зовнішнього повітря. Унаслідок різниці тисків холодне повітря надходить у топку. Чим вища труба, тим більша різ­ниця тисків атмосферного повітря і газів у трубі.

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

1. Чому поверхні радіаторів опалення роблять ребристими?
2. Чому шоломи й костюми космонавтів, які вони надягають, виходячи у відкритий космос, виготовляють із білого, сріблястого матеріалу?
3. В якому чайнику довше остигатиме вода: закопченому чи відполі­рованому до блиску?
4. Чому в космічних кораблях використовують примусову конвекцію?
5. Чому в сонячний літній день ви намагаєтеся одягнути світлий одяг?
6. Чому у разі втрати колбою термоса герметичності він втрачає здатність тривалий час зберігати гарячими напої, які в нього заливають?
7. Навіщо оболонки стратостатів покривають сріблястими фарбами?
8. Чи можна термос використати для збереження води холодною?

§ 9. КІЛЬКІСТЬ ТЕПЛОТИ. ПИТОМА ТЕПЛОЄМНІСТЬ РЕЧОВИНИ

Підсумовуючи все, що було сказано про теплопередачу та її види, зазначимо, що в природі теплота чи енергія не переда­ється від одного тіла до іншого. Адже і теплота (тепло), і енер­гія (внутрішня чи механічна) — це фізичні поняття. Вони виз­начають певні властивості, притаманні тілам, які перебувають у тому чи іншому стані. Ці властивості зумовлені особливостя­ми руху тіл або частинок, з яких вони складаються.



Взаємодія між тілами та між частинками, з яких склада­ються тіла, може відбуватися по-різному. В одних випадках змінюються швидкості самих тіл, які взаємодіють, наприклад,коли стикаються дві кулі під час гри в більярд, або коли тіло падає з певної висоти. Тоді вже йдеться про зміну їхньої меха­нічної енергії і виконання механічної роботи. В інших випадках унаслідок взаємодії змінюються лише швидкості частинок (мо­лекул, атомів, іонів, електронів), з яких складаються тіла. У таких випадках відбувається зміна їхньої внутрішньої енергії — тіла нагріваються та охолоджуються, й ми кажемо про тепло­обмін між ними. Приклад такої взаємодії — нагрівання чайної ложки в склянці щойно налитого чаю й остигання самого чаю.

Унаслідок взаємодії може одночасно змінюватися і вну­трішня, і механічна енергії тіл. Так, у момент удару коваль­ського молота по розпеченій металевій заготовці змінюються його швидкість і кінетична енергія. Водночас унаслідок взає­модії із заготовкою змінюється її форма, нагріваються молот і сама заготовка. Водяна пара, що утворилася під час кипіння води завдяки збільшенню внутрішньої енергії, піднімає кришку чайника і примушує її підстрибувати, тобто виконує роботу. Можуть змінюватися й інші характеристики стану тіла: об'єм, тиск, густина.

Історично так склалося, що процеси нагрівання одних і охолодження інших тіл, що мають різну температуру, внаслі­док їх контакту у фізиці називають передачею теплоти. По­няття "теплота" як кількість особливої речовини — "теплецю" з'явилося значно раніше, ніж поняття "енергія". І хоч тепле­цю в природі не існує, а під передачею теплоти ми розуміємо зміну внутрішньої енергії тіла внаслідок теплообміну з інши­ми тілами, користуватися поняттям теплоти виявилось досить зручно. Тому цей термін продовжують використовувати для опису теплових процесів. Коли говорять: "тіло отримує тепло­ту", то розуміємо, що внаслідок взаємодії з іншими тілами од­не з них нагрівається і його температура підвищується. Навпа­ки, якщо тіло віддає теплоту, то воно охолоджується, його внутрішня енергія зменшується.

Щоб визначити, як змінився стан тіла унаслідок теплооб­міну, і характеризувати його результати, необхідно знати, скільки теплоти тіло отримало чи віддало внаслідок теплопе­редачі. Для кількісної характеристики процесу теплообміну (зміни внутрішньої енергії унаслідок теплопередачі) вико­ристовують фізичну величину, яку називають кількість те­плоти.

Якщо зміна внутрішньої енергії тіла відбувається лише унаслідок теплообміну і механічний стан тіла не змінюється (тіло не виконує роботу проти зовнішніх сил), то вважають: кількість теплоти передана тілу чисельно дорівнює зміні його внутрішньої енергії.

Кількість теплоти позначають великою літерою Q. Оскіль­ки кількість теплоти, отримана або віддана тілом унаслідок те­плопередачі, чисельно дорівнює зміні його внутрішньої енер­гії, то її одиницею у СІ є джоуль (1 Дж).

Від чого і як залежить кількість теплоти, яку тіло отримує під час нагрівання чи охолодження?

Про те, що тіло отримало або віддало якусь кількість те­плоти, свідчить зміна його температури: чим більше змінилася температура, тим більшою є зміна його внутрішньої енергії, а отже, і кількість переданої (втраченої) теплоти. Це підтвер­джує і наш повсякденний досвід. Якщо ми хочемо нагріти воду до вищої температури, ми маємо довше тримати її над вогнем або іншим нагрівником.

Тілу потрібно передати тим більшу кількість тепло­ти, чим на більше градусів ми хочемо його нагріти.

Внутрішня енергія тіла визначається не лише його темпе­ратурою. Пригадайте, внутрішня енергія — це сумарна (кіне­тична і потенціальна) енергія тіла, яку мають його молекули. Чим більша кількість молекул у тілі, тим більшу кількість теплоти потрібно передати, щоб змінити їх швидкість. Чим біль­ше молекул, тим більша маса тіла. Дійсно, результати досліду свідчать, що для нагрівання 200 г води потрібно вдвічі більше теплоти, ніж для нагрівання 100 г до тієї самої температури.

Кількість теплоти, яку потрібно передати тілу для його нагрівання до певної температури, тим більша, чим більша маса тіла.

Пригадайте дослід зі стрижнями з різного матеріалу, які нагрівали одночасно з одного кінця на тому самому полум'ї. Першими відпали цвяшки, закріплені на мідному стрижні, а потім — на алюмінієвому. Отже, алюмінієвому стрижню пот­рібно було передати більше теплоти, щоб нагріти його до тем­ператури, коли віск починає плавитися, хоч його маса наймен­ша. Мідний стрижень з найбільшою масою нагрівся швидше, йому для нагрівання до тієї самої температури потрібно пере­дати меншу кількість теплоти. Отже, кількість теплоти, яку отримує чи втрачає тіло під час теплопередачі, залежить від речовини, з якої воно складається.

Перевірити цей висновок можна за допомогою ще одного простого досліду. Візьміть дві однакові невеликі посудини і на­лийте в них воду: в одну 100 г, а в іншу 200 г. Опустіть у пер­шу посудину сталеву гирьку масою теж 100 г. Загальна маса обох посудин однакова. Вставте у посудини термометри і пере­конайтеся, що вони показують однакову температуру. Поставте посудини на однакові пальники, а краще — на одну й ту саму електричну плитку, щоб за однаковий час до них надходила однакова кількість теплоти. Вже за кілька десятків секунд ви помітите, що в посудині з гирькою температура підвищу­ватиметься швидше. Щоб нагріти, наприклад, на 20 °С посу­дину зі сталевою гирькою, потрібно менше часу, ніж для на­грівання на таку саму температуру посудину з самою водою.

Із власного досвіду ми знаємо: щоб нагріти навіть однакові кількості різних речовин до однієї й тієї самої температури, потрібно надати їм різну кількість теплоти. Тому за однакової маси молоко закипає швидше, ніж вода.

Для порівняння теплових властивостей різних речовин у фізиці використовують величину, яку називають питома те­плоємність.

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

Питому теплоємність позначають маленькою латинською літе-

Дж

рою с. Одиниця питомої теплоємності — 1 (1 Дж/(кг • °С))[[1]](#footnote-1).

кг • °С

Питомі теплоємності усіх відомих речовин визначено екс­периментально, їхні значення можна знайти в довідниках. Те­плоємності деяких речовин подано в табл. 1.1.

Таблиця 1.1. Питомі теплоємності деяких речовин

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Речовина | с, Дж/(кг • °С) | Речовина | с, Дж/(кг • °С) |
| Золото | 130 | Графіт | 750 |
| Ртуть | 140 | Скло лабораторне | 840 |
| Свинець | 140 | Цегла | 880 |
| Олово | 230 | Алюміній | 930 |
| Срібло | 250 | Соняшникова олія | 1700 |
| Мідь | 390 | Лід | 2100 |
| Цинк | 390 | Гас | 2100 |
| Латунь | 400 | Ефір | 2350 |
| Залізо | 460 | Дерево (дуб) | 2400 |
| Сталь | 500 | Спирт | 2500 |
| Чавун | 540 | Вода | 4200 |



Зверніть увагу!

Для того щоб нагріти 1 кг води на 1 К (або 1 °С), необхідно пе­редати їй 4200 Дж теплоти, а для такого самого нагрівання 1 кг гасу потрібно в два рази меншу кількість теплоти. Пригадайте: зміна тем­ператури на 1 К відповідає зміні температури на 1 °С, а у СІ одини­цею температури є кельвін.

тури уявляли так само, як здатність більшої за місткістю (об'ємом) посудини вмістити більше рідини. Звідси й увійшло у фізику поняття "теплоємність" — здатність вміщувати біль­шу чи меншу кількість теплоти (теплецю) при нагріванні до од­нієї й тієї самої температури.



?

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

1. Яку фізичну величину називають кількістю теплоти?
2. Що прийнято за одиницю кількості теплоти в СІ?
3. Як пов'язані між собою кількість теплоти, передана тілу під час теплообміну, і його внутрішня енергія?
4. Від чого і як залежить кількість теплоти, яку тіло віддає або отри­мує під час теплопередачі?
5. Що називають питомою теплоємністю речовини?
6. Що показує питома теплоємність речовини?
7. Питома теплоємність води становить 4 200 Дж/(кг • °С). Що це означає?
8. Поблизу великих водойм клімат більш м'який. Чому близькість ве­ликих водойм впливає на температуру повітря в місцевості?

§ 10. РОЗРАХУНОК КІЛЬКОСТІ ТЕПЛОТИ ПРИ НАГРІВАННІ (ОХОЛОДЖЕННІ) ТІЛА

Розглянемо таку задачу. Деталь масою т = 10 кг, вигото­влену зі сталі, потрібно нагріти від ^ = 20 °С до £2 = 100 °С. Яка кількість теплоти необхідна для Ті нагрівання?

За таблицею питомих теплоємностей різних речовин знахо­димо, що питома теплоємність сталі с = 500 ДЖ . Це означає,

кг • °С

що для нагрівання 1 кг сталі на 1 °С (1 К) їй потрібно переда­ти кількість теплоти, що дорівнює 500 Дж.

Зрозуміло, що для нагрівання на 1 °С сталевої деталі ма­сою 10 кг необхідна у 10 разів більша кількість теплоти.

У нашому випадку потрібно нагріти не на 1 °С, а на

(г2 - = 100 °С - 20 °С = 80 °С = 80 К.

Підсумувавши ці міркування, дійшли висновку: щоб знай­ти кількість теплоти, необхідну для нагрівання сталевої дета­лі, потрібно питому теплоємність сталі помножити на масу де­талі і на зміну її температури. Цей висновок можна записати у вигляді такої формули: Q = ст(£2-

Очевидно, так само можна розраховувати кількість тепло­ти при нагріванні будь якого тіла.

Щоб знайти значення кількості теплоти, яку пот­рібно витратити на нагрівання тіла, необхідно його пи­тому теплоємність помножити на масу і на різницю температур до і після нагрівання:

|  |  |
| --- | --- |
| т | = 10 кг, |
| Ч | = 20 °С, |
| Ч | = 100 °С, |
| с | = 500 Дж |
|  | кг • °С |
| Q | ? |

Q = 500

Q = ст(і2~і1).

Повернемося до наведеної задачі. В умові значення питомої теплоємності деталі не наведено, але вказано, що вона зі ста­лі. Тому використовуємо табл. 1.1, де наведено значення пито­мої теплоємності сталі. Оформимо визначення кількості тепло­ти як розв'язування задачі:

Q = ст(г2 - ,

Дж

• 10 кг • 80 °С = 40 000 Дж =

кг • С

= 40 кДж . Отже, для нагрівання сталевої

деталі масою 10 кг від 20 до 100 °С необ­хідно їй передати 40 кДж теплоти.

В і д п о в і д ь: Q = 40 кДж.

Якщо відома кількість теплоти Q, передана тілу, його пи­тома теплоємність с і маса т, можна визначити на скільки змі­нилася температура тіла в процесі теплопередачі:

і2 - і1 = Ді =

ст

За відомими кількістю теплоти Q, переданої тілу, зміною його температури та питомою теплоємністю с можна знайти масу тіла, що нагрівалося:

Q

т =

с(Ч - ^

Охолоджуючись, тіла віддають у навколишнє середовище таку саму кількість теплоти, яку вони одержали під час нагрі­вання. На цьому базується принцип роботи систем опалення та таких обігрівальних пристроїв, як грілки.

Задача. Що ефективніше використовувати як грілку: цеглину масою 4 кг чи воду об'ємом 2 л, налиту, наприклад, у пластикову пляшку? Вважаємо, що і цегла, і вода охолоджу­ватимуться на однакову температуру.

Р о з в ' я з у в а н н я. Очевидно, що ефективнішою буде та грілка, яка за од­накових умов буде довше остигати і від­дасть більшу кількість теплоти. Тому, щоб порівняти ефективність використан­ня води і цеглини як грілки, необхідно з'ясувати у скільки разів більшу кількість теплоти віддасть під час охолодження на одну й ту саму температуру вода порівня­но з цеглиною.

В умові задачі наведено лише масу цеглини й об'єм води. Тому умову потріб­но доповнити довідковими даними. Зна­ходимо за таблицею питомі теплоємності води св і цегли сц та густину води рв, ос­кільки в умові зазначено об'єм, а не маса води.

Наведемо скорочену умову цієї задачі та її розв'язування. Кількість теплоти, яку виділить вода, остигаючи від тем­ператури і1в до температури і2в, можна визначити так:

Яв = Свтв(\*1в - \*2в).

Кількість теплоти, яку виділить цеглина, остигаючи від тем­ператури і1ц до температури і2ц, розраховуємо за формулою

= сдтд(^1д - \*2ц).

Масу води можна знайти, знаючи її об'єм Ув і густину:

тв = Рв^в.

Тоді

О = СВтВ(І1В - \*2в) = СвРвУВ(І1В - \*2в) .

тц = 4 кг, V, = 2 л = = 0,002 м3,

\*1ц = \*1в, ^2ц = ^2в,

с = 880- Дж

кг • °С Дж кг • °С кг

с = 4200

Рв =1000 з

м

Я

Я '

ц

Сц тц (\*1ц - ^2ц ) Сц тц (І1ц - І2ц)

Оскільки різниця початкової і кінцевої температур води і цегли однакова, то скоротивши цей вираз, отримаємо

= СвРв[[2]](#footnote-2)в . 0ц сцтц '

Підставивши відповідні значення, одержимо

4200 ДЖ • 1000 ^Т • 0,002 м3

2,4.





0в кг • °С м

°ц 880^5^ • 4 кг

кг • С

Зрозуміло, що як грілку краще використовувати воду, оскіль­ки за удвічі меншої маси вода може виділити у 2,4 раза більше теплоти, ніж цеглина, охолоджуючись на таку саму температуру.

В і д п о в і д ь: —— = 2,4.

^ц

7

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

1. Як обчислити кількість теплоти, надану тілу під час його нагрівання (віддану ним під час охолодження)?
2. Кульки, виготовлені зі сталі, міді та алюмінію, кожна масою 200 г, нагріли від 20 °С до 120 °С. Яку кількість теплоти було передано кожній з цих кульок?
3. Яка кількість теплоти потрібна для нагрівання 0,5 л води від 20 °С до 80 °С?
4. Як зміниться температура свинцевого тіла масою 2 кг, як­що йому передати кількість теплоти, що дорівнює 260 Дж?
5. На скільки градусів зміниться температура алюмінієвої заготовки масою 2 кг, якщо їй передати таку кількість теплоти, яка ви­трачається на нагрівання води масою 880 г від 0 до 100 °С?

6. До якої температури охолоне 4 л води, температура якої 100 °С, якщо вона віддасть у навколишнє середовище 630 кДж теплоти?

Головне в темі

"Внутрішня енергія. Кількість теплоти"

Існують два способи зміни внутрішньої енергії тіл: тепло­обмін і виконання роботи.

Зміну внутрішньої енергії, за якої внутрішня енергія збіль­шується внаслідок передачі теплоти від більш нагрітого тіла до менш нагрітого або від більш нагрітої частини тіла до менш нагрітої, називають теплообміном, або теплопередачею.

Є три види теплообміну між тілами і частинами одного й того самого тіла: теплопровідність, конвекція та випроміню­вання.

Фізичну величину, яка чисельно визначає зміну внутріш­ньої енергії тіла, що відбувається тільки внаслідок теплообміну, у фізиці називають кількістю теплоти.

Щоб знайти значення кількості теплоти, яку потрібно ви­тратити на нагрівання тіла, потрібно питому теплоємність помножити на масу і на різницю температур до і після нагрі­вання:

Q = сш^-^).

Питома теплоємність показує, яку кількість теплоти необхідно надати 1 кг речовини, щоб нагріти її на 1 °С.

ПЕРЕВІР СЕБЕ

* 1. У яких з названих ситуацій змі­на внутрішньої енергії відбува­ється унаслідок теплопередачі?
     1. нагрівання свердла, коли роблять отвори за допомогою свердлильного станка;

Б) зниження температури га­зу внаслідок його розширення;

* + 1. охолодження продуктів у холодильнику;

Г) нагрівання оболонки кос­мічного корабля під час входу в атмосферу Землі.

* 1. У вакуумі теплопередача від­бувається завдяки ...

А) теплопровідності;

Б) конвекції;

В) випромінюванню; Г) конвекції та випроміню­ванню.

* 1. Який вид теплопередачі супро­воджується перенесенням речо­вини?
     1. теплопровідність; Б) конвекція;
     2. випромінювання;

Г) теплопровідність та кон­векція.

* 1. У яких тіл краща теплопро­відність?
     1. дерев'яних; Б) пластмасових;
     2. гумових; Г) металевих.
  2. Тепловою рівновагою назива­ють стан системи тіл, за якого ...
     1. значення всіх параметрів стану тіл, що входять у систему, однакові;

Б) значення всіх параметрів стану тіл, що входять у систему, не змінюються з часом;

* + 1. значення всіх параметрів стану тіл, що входять у систему, однакові і не змінюються з часом;

Г) значення всіх параметрів стану тіл, що входять у систему, окрім температури, однакові і не змінюються з часом.

* 1. Внутрішня енергія тіла не змі­нюється у разі ...
     1. зміни швидкості усього тіла;

Б) нагрівання тіла;

* + 1. деформації тіла;

Г) виконання роботи над ті­лом.

* 1. Одиницею кількість теплоти у СІ е ...

А) °С; Б) Вт; в) Па; Г) Дж.

* 1. Внутрішня енергія тіла зале­жить від ...
     1. температури тіла та його маси;

Б) швидкості тіла та його маси;

* + 1. взаємного розміщення тіл; Г) температури та швидкості

тіла.

* 1. Питома теплоємність цинку 390 Дж/(кг • °С). Яку кількість теплоти потрібно передати 2 кг цинку, щоб нагріти його на 10 °С?
     1. 3900 Дж;

Б) 7800 Дж;

* + 1. 780 Дж;

Г) 390 Дж.

* 1. Теплопередача завжди відбу­вається в напрямку від тіла з ...
     1. більшою внутрішньою енер­гією до тіла з меншою внутріш­ньою енергією;

Б) більшою теплоємністю до тіла з меншою теплоємністю;

* + 1. вищою температурою до тіла з нижчою температурою;

Г) кращою теплопровідністю до тіла з гіршою теплопровідні­стю.

* 1. Яку кількість теплоти від­дасть свинець, масою 5 кг, охо­лоджуючись від 327 до 27 °С?
     1. 115 000 Дж;

Б) 460 000 Дж;

* + 1. 230 000 Дж;

Г) 210 000 Дж.

* 1. Однаковим масам води, спир­ту, соняшникової олії та гасу пе­редано однакові кількості тепло­ти. Яка з цих рідин нагріється до вищої температури?
     1. соняшникова олія;

Б) спирт;

* + 1. вода;

Г) гас.

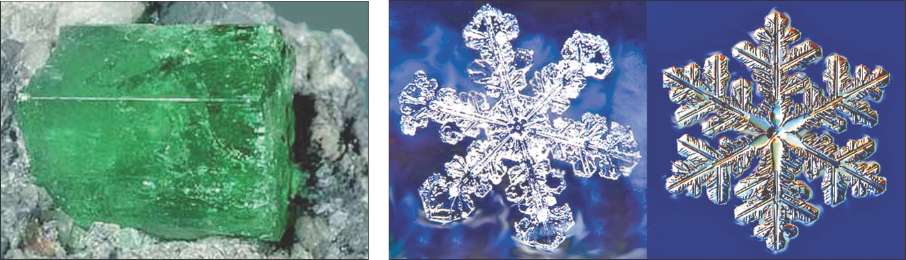
ЗМІНА АГРЕГАТНИХ СТАНІВ РЕЧОВИНИ

§ 11. КРИСТАЛІЧНІ ТА АМОРФНІ ТІЛА

Одними із найдивовижніших і найзагадковіших творінь природи є кристали. Вони бувають різних кольорів, милують око чудовою грою світла на гранях, і'м притаманна дивовижно правильна форма у вигляді багатогранників, грані яких ідеаль­но плоскі, а ребра — прямі (мал. 1.40). Кристалам приписують чудодійні властивості.

Дехто вважає, що кристали — це просто рідкісні красиві камені. Проте це не так. Придивіться до звичайної кухонної солі (хлориду натрію), ви побачите, що кожна її крупинка — це маленький паралелепіпед або кубик. Якщо трапляється кристал солі розмірами у кілька міліметрів, то, вдаривши по ньому, можна отримати менші кристалики, але всі вони ма­тимуть форму чи паралелепіпедів, чи кубиків. Сніжинки, що па­дають узимку, — це також кристалики — кристалики замер­злої води (мал. 1.41). Відомий німецький математик і астро­ном Йоганн Кеплер (1571 —1630 рр.) ще в 1615 р. виявив, що між окремими промінчиками сніжинок кути однакові — 60°.

З кристалами ми маємо справу повсякчас, не звертаючи на це уваги. Мідна дротина, алюмінієва ложка, цвях, чавунна батарея, крига на річці, гранітний камінь або пісок — це все кристалічні тіла. Просто кристали, з яких вони складаються, дуже малі. У природі іноді трапляються тіла у вигляді ок­ремих великих кристалів, які називають монокристалами (мал. 1.42). Найчастіше речовини перебувають у вигляді міц­но зчеплених окремих кристаликів, розмірами в соті чи ти-



Мал. 1.40

Мал. 1.41



Мал. 1.42 Мал. 1.43

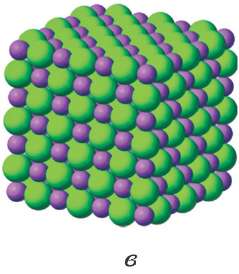
сячні частки міліметра. Такі кристали можна побачити лише під мікроскопом.

Кристали можна розпізнати за правильністю форм. Плоскі грані й прямі ребра — характерна властивість кристала. При­родна форма ніби свідчить про те, що кристал у різних на­прямках має різні властивості. І це дійсно так. Найтвердіший на нашій планеті матеріал — алмаз. Проте й алмази обробля­ють та отримують коштовні камені — діаманти. Для цього за­стосовують інші алмази, використовуючи те, що в одних на­прямках твердість алмазу більша, а в інших менша.

Чим пояснюється така правильна і гарна форма кристалів? Витонченість кристала — наслідок правильної внутрішньої структури. Уявіть, який негарний вигляд у паркана, зроблено­го із безладно прибитих штахетин різної довжини й ширини, чи побудованого абияк будинку. Порівняйте цю картину з вишу­каною симетрією й періодичністю орнаменту ґрат та елементів будівлі, наприклад, Маріїнського палацу в Києві (мал. 1.43).

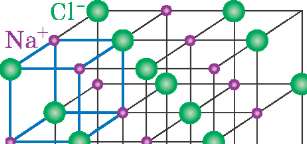
Симетрія й повторюваність просторових елементів прита­манні й кристалам. Як і неповторні творіння великих архітек­торів, при спорудженні яких використовували однакові еле­менти, неповторними є створені природою кристали різних речовин. Будову кристала можна уявити як багаторазову пов­торюваність особливим чином розміщених груп молекул, ато­мів або йонів. Тому кажуть, що атоми кристала утворюють просторову кристалічну ґратку, або просто кристалічну ґратку.

Учені вже точно знають, як розміщені атоми, іони та моле­кули в різних кристалах. Щоб краще уявити будову кристалів





а



б

Мал. 1.44

різних речовин, скористаємося моделями. Уявіть, що жирни­ми точками позначено центри атомів чи іонів хімічних елемен­тів, з яких складається речовина кристала. Лінії, що їх з'єд­нують, відображують взаємозв'язки між ними. Атоми (іони) розміщені дуже щільно і можуть лише коливатися відносно своїх станів рівноваги. Просторові моделі кристалів можна ви­готовити з пластмасових або пластилінових кульок і з'єднати їх дротинками. З таких окремих комірок і вибудовується увесь кристал.

У кристалів кухонної солі (мал. 1.44, а) одна з найпрості­ших кристалічних ґраток — кубик, у вершинах якого почер­гово розміщені іони Натрію і Хлору (мал. 1.44, б). Модель щільної "упаковки" іонів кристала кухонної солі зображено на мал. 1.44, в. Іонам Натрію відповідають фіолетові кульки, а іонам Хлору — зелені.

Відомо, що графіт і алмаз складаються з атомів одного й того самого хімічного елемента — Карбону. Алмаз — взі­рець міцності. Модель його кристалічної ґратки наведено на мал. 1.45, а. Кристалічна ґратка графіту ніби поділена на шари (мал. 1.45, б). Відстань між сусідніми шарами в атомів графі­ту в 2,5 раза більша, ніж між сусідніми атомами одного шару. Якщо ви пишете олівцем, то шари графіту легко зсуваються і його лусочки залишаються на папері. Завдяки властивості роз­шаровуватися графіт використовують як мастильний матеріал. Наприклад, коли температури дуже низькі й звичайне масти­ло загусає або коли температури дуже високі й мастило виго­рає, використовують графітове змащення.

Люди здавна використовували кристали як прикраси (мал. 1.46). Пізнавши їх будову, навчилися вирощувати штуч-



Мал. 1.46

б

Мал. 1.45

ні кристали. Нині важко уявити галузь техніки, де б не вико­ристовували ті або інші штучні кристали. На кристалах виго­товляють елементи комп'ютерної і лазерної техніки, їх засто­совують на бурових установках та у вимірювальних приладах. Із штучних кристалів виробляють надміцні й легкі матеріали для космічних апаратів та авіації.

У природі існує багато твердих тіл, які не є кристалічни­ми. Подібно, як і в рідинах, у склі, пластмасах, бурштині, різ­них смолах, пластиліні молекули розміщені невпорядковано. Такі тіла називають аморфними. З підвищенням температури вони розм'якшуються, легко змінюють свою форму і почина­ють "текти". Вам, можливо, доводилося бачити, як з часом ви­гинається довга воскова свічка, особливо тоді, коли вона сто­їть у теплому місці. Нагрівши скляну трубку над полум'ям спиртівки, її можна зігнути. Ударивши по шматочку застиглої смоли, його можна розбити. Якщо шматочок смоли залишити на тривалий час, він змінить свою форму та розтечеться по­верхнею, навіть за досить низьких температур. Залежно від тривалості дії сил на аморфні тіла вони можуть виявляти властивості крихких твердих тіл або поводитися як загуслі рідини (виявляти плинність).

Це пояснюється тим, що частинки, з яких складаються аморфні тіла, не утворюють кристалічної ґратки. Характер розташування молекул й атомів цих тіл, хоча вони і мають де­що більший час "осідлого" життя порівняно з рідинами, подіб­ний до розміщення молекул у рідині. Тому у фізиці аморфні тіла часто розглядають як застиглі рідини. Крім того, на від­міну від кристалів аморфні тіла в усіх напрямках мають одна­кові властивості.

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

1. Які тіла називають кристалічними?
2. Вкажіть особливості будови кристалів.
3. Чим зумовлена правильність форм кристалів?
4. Які тіла називають аморфними? За якими властивостями ці тіла можна відрізнити від кристалічних?
5. Наведіть приклади монокристалічних, полікристалічних і аморфних

§ 12. ПЛАВЛЕННЯ І КРИСТАЛІЗАЦІЯ ТВЕРДИХ ТІЛ. ТЕМПЕРАТУРА ПЛАВЛЕННЯ

Ви вже знаєте, що одна й та сама речовина може перебува­ти в різних агрегатних станах: твердому, рідкому, газоподібно­му. Зміна агрегатних станів речовини, тобто перетворення рі­дин на тверді тіла і гази та навпаки, пов'язана зі змінами в ру­сі, взаємодії та взаємному розташуванні молекул, а отже, зі зміною внутрішньої енергії та температури тіл.

Перехід речовини з твердого стану в рідкий називають

плавленням.

Якщо нагрівати яке-небудь кристалічне тіло, то його тем­пература підвищуватиметься доти, доки тіло не почне плави­тися — перетворюватися на рідину. Якщо тіло продовжити нагрівати, то з моменту початку плавлення до моменту його повного перетворення на рідину (поки триває плавлення) тем­пература тіла не підвищуватиметься.

Під час плавлення кристалічного тіла, коли речовина перебуває одночасно в рідкому і твердому станах, температура тіла залишається незмінною.

Температуру, за якої дана речовина плавиться, називають її температурою плавлення.



Кристалічні речовини, наприклад мідь, залізо, лід, нафта­лін, мають певні температури плавлення (табл. 1.2). Після то­го як тверде тіло повністю перетвориться на рідину, темпера­тура рідини знову почне підвищуватися.

Перехід речовини з рідкого стану в твердий називають

кристалізацією.

При охолодженні до певної температури рідина почне тверд­нути. Допоки вся речовина не перетвориться на тверде тіло, тем­пература не зміниться. Як тільки рідина повністю затвердіє, температура твердого тіла почне знижуватися.

Кристалічні тверді тіла плавляться і тверднуть за однієї і тієї самої температури, певної для даної речовини.

Температура плавлення кристалічних речовин залежить від тиску, під яким вони перебувають. У табл. 1.2 подано тем­ператури плавлення речовин, які зазнають впливу нормально­го атмосферного тиску. Із збільшенням тиску температура плавлення більшості тіл дещо знижується.

Плавлення і тверднення кристалічних тіл можна пояснити, ґрунтуючись на молекулярно-кінетичній теорії. У разі підви­щення температури зростає середня швидкість хаотичного ру­ху частинок речовини. Унаслідок збільшення швидкостей ру­ху частинок, з яких складається речовина (атомів, молекул), та збільшення відстаней між ними, зменшуються сили, які зв'язують частинки в твердому тілі й зумовлюють його певну структуру. При підвищенні температури до температури плав­лення швидкість і амплітуда коливань частинок, з яких скла­дається тіло, зростають настільки, що кристалічна структура твердого тіла руйнується і речовина переходить у рідкий стан.

Таблиця 1.2. Температури плавлення (кристалізації) деяких речовин

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Речовина | Температура плавлення,°С | Речовина | Температура плавлення,°С |
| Етиловий спирт | -115 | Алюміній | 660 |
| Ртуть | -39 | Срібло | 962 |
| Вода (лід) | 0 | Золото | 1064 |
| Олово | 232 | Мідь | 1085 |
| Свинець | 327 | Залізо | 1539 |
| Цинк | 420 | Вольфрам | 3421 |

Коли речовина, що перебуває в рідкому стані, охолоджуєть­ся, середня кінетична енергія і швидкість молекул зменшу­ються. Сили притягання можуть знову утримувати молекули, які повільно рухаються одна біля одної. Розташування моле­кул стає впорядкованим.



Інакше поводять себе під час нагрівання аморфні речови­ни, наприклад смола, віск, каніфоль, скло тощо. Оскільки в аморфних тіл немає кристалічної ґратки, при нагріванні вони розм'якшуються і їхня температура змінюється безперервно. Так само безперервно зменшується їхня температура під час тверднення. Аморфні тіла не мають певної температури плавлення і тверднення.

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

* 1. Який процес називають плавленням?
  2. Який процес називають кристалізацією?
  3. Яку температуру називають температурою плавлення?
  4. Яка особливість процесу плавлення твердої кристалічної речовини?
  5. Чи можна розплавити цинк в алюмінієвій посудині?
  6. Чому в північних районах, де температура повітря опускається нижче за -40 °С, для вимірювання температури повітря не користуються ртутними термометрами?
  7. Чому протягом усього часу плавлення температура кристалічного тіла не змінюється?
  8. Чому аморфні тіла не мають визначеної температури плавлення?
  9. Чому скляну трубку рівня, яким користуються будівельники, наповнюють спиртом, а не водою?

§ 13. ПИТОМА ТЕПЛОТА ПЛАВЛЕННЯ

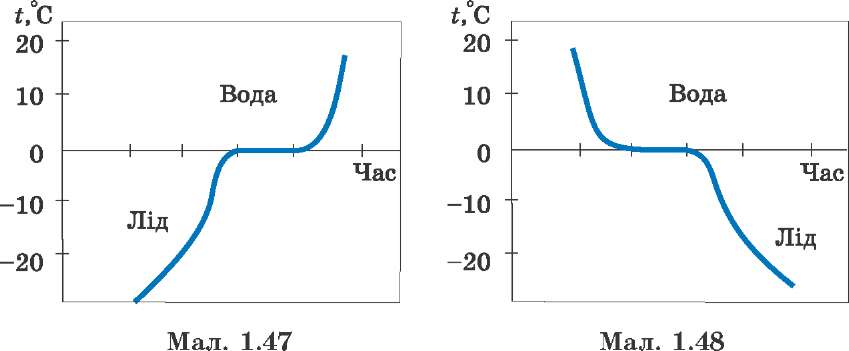
Руйнування кристалічної ґратки у процесі плавлення по­в'язане зі збільшенням швидкості коливань частинок речови­ни і внутрішньої енергії тіла. Швидкість руху частинок у рі­дині більша. Тому навіть за однакової температури внутрішня енергія рідини більша, ніж внутрішня енергія твердого тіла, з якого утворюється рідина. Теплова енергія, яка надходить до тіла від нагрівника, під час плавлення повністю витрачаєтьсяна руйнування кристалічної ґратки і збільшення його вну­трішньої енергії. Внаслідок цього внутрішня енергія тіла в процесі плавлення збільшується, хоч температура, за якої від­бувається плавлення, не змінюється.

Кількість теплоти, необхідної для перетворення тіла з твердого стану в рідкий за температури плавлення, називають теплотою плавлення.

У процесі тверднення (кристалізації) тіла його внутрішня енергія зменшується, частина її при цьому виділяється й пере­дається навколишнім тілам. Результати дослідів свідчать, що кількість теплоти, витраченої на плавлення тіла, дорівнює кількості теплоти, яку це тіло виділяє у процесі кристалізації. У цьому факті проявляється загальний закон збереження і пе­ретворення енергії.

Якщо внести в теплу кімнату лід, температура якого —20 °С, то спочатку він нагрівається, отримуючи теплоту від навко­лишніх тіл і повітря кімнати. Коли температура льоду підви­щується до температури плавлення 0 °С, він починає танути. Як наслідок утворюється суміш льоду і води, температура якої залишається однаковою, доки весь лід не розтопиться. Далі во­да продовжує нагріватися. Якщо ж воду, яка була в кімнаті й мала температуру, наприклад, 20 °С, винести на мороз або по­містити в морозильну камеру, то все відбуватиметься у зворот­ному порядку. Вода охолоджується, віддаючи теплоту навко­лишньому середовищу. Коли її температура знизиться до 0 °С — температури кристалізації, вона почне перетворювати­ся на лід. Під час кристалізації температура суміші лід—вода залишається постійною. Проте відбувається передача теплоти навколишньому середовищу. Адже внутрішня енергія криста­лічного тіла (льоду) менша, ніж рідини за тієї самої темпера­тури. Після того як уся вода кристалізується, лід далі охоло­джуватиметься. Процеси зміни температури при плавленні й твердненні льоду можна відобразити за допомогою графіків (мал. 1.47, 1.48).

Поблизу морів чи великих рік і озер під час похолодань і потеплінь не спостерігаються різкі зміни температури, що по­яснюється вбиранням енергії при плавленні льоду і виділен­ням її при замерзанні води.



Щоб розплавити однакові кількості різних речовин, потріб­но витратити різну кількість теплоти. Теплоту плавлення різ­них речовин характеризують кількістю теплоти, яку потрібно витратити для плавлення одиниці маси (1 кг) даної речовини.

Кількість теплоти, яка потрібна для перетворення одиниці маси (1 кг) кристалічної речовини з твердого стану в рідкий, називається питомою теплотою плавлення.

Кристалізація — зворотний до плавлення процес. Пито­ма теплота кристалізації дорівнює питомій теплоті плав­лення (табл. 1.3).

Питому теплоту плавлення (кристалізації) позначають

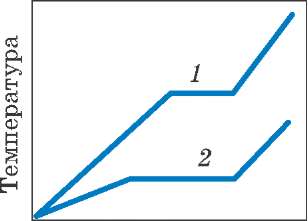
грецькою літерою X (лямбда), а її одиницею в СІ є 1 .

кг

Таблиця 1.3. Питома теплота плавлення (кристалізації) деяких речовин

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Речовина | X, кДж/кг | Речовина | X, кДж/кг |
| Алюміній | 390 | Сталь | 84 |
| Лід (вода) | 340 | Золото | 67 |
| Мідь | 210 | Олово | 59 |
| Парафін | 150 | Свинець | 25 |
| Спирт етиловий | 110 | Кисень | 14 |
| Срібло | 87 | Ртуть | 12 |





Час

Мал. 1.49



Як ви вже знаєте, плавлення (кристалізація) твердих тіл відбувається за певної температури — температури плавлення. Внутрішня енергія речовини в твердому стані за температури плавлення менша, ніж цієї самої речовини в рідкому стані за тієї самої температури. Тому питома теплота плавлення (кристалізації) показує, на скільки внутрішня енергія 1 кг речовини в твердому стані, узятої за температури плав­лення, менша, ніж внутрішня енергія цієї самої речовини в рідкому стані за тієї самої температури.

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

§ 14. РОЗРАХУНОК КІЛЬКОСТІ ТЕПЛОТИ ПРИ ПЛАВЛЕННІ (ТВЕРДНЕННІ) ТІЛ

Оскільки питома теплота плавлення показує, яку кількість теплоти потрібно передати твердому тілу масою 1 кг, щоб пе­ретворити його на рідину за температури плавлення, то для плавлення тіла масою 5 кг, виготовленого з цієї самої речови­ни, потрібно витратити у 5 разів більшу кількість теплоти.

Для визначення кількості теплоти, яку потрібно витратити, щоб розплавити тіло за температури плавлення, слід питому теплоту плавлення тіла помножити на його масу:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| т | = 5 кг, |  |
| Х | = 3,4 • 105 | Дж |
|  |  | кг |
| Я | ? |  |

Я = Хш.

Задача. Знайти кількість теплоти, яку потрібно витратити, щоб розплавити 5 кг льоду, температура якого становить 0 °С?

Р о з в ' я з у в а н н я. Оскільки темпе­ратура плавлення льоду 0 °С, то все тепло, що потрібно йому передати, витрачатиме­ться лише на його перетворення на рід кий стан — воду. Щоб визначити кількість теплоти, потрібну для плавлення льоду, необхідно знати масу льоду і його питому теплоту плавлення (знаходимо за таблицею):

Я = Хт, Дж

Я = Хт = 3,4 • 10[[3]](#footnote-3) ~' 5 кг = 17 • 105 Дж =

= 1,7 • 106 Дж = 1,7 МДж. Отже, щоб розплавити 5 кг льоду, потрібно 1,7 МДж кількості теплоти. Така сама кількість теплоти виділиться під час утворення льоду з води, температура якої 0 °С. В і д п о в і д ь: Я = 1,7 МДж.

Температура більшості твердих тіл нижча за температуру плавлення. Під час перетворення твердого кристалічного тіла на рідину можна виділити принаймні два теплових процеси, під час яких зростає його внутрішня енергія: 1) нагрівання твердого тіла до температури плавлення; 2) плавлення криста­лічного тіла за температури плавлення. Можливе й подальше нагрівання розплавленої рідини.

т = 200 г = 0,2 кг, г1 = 20 °С, г2 = 660 °С,

с = 930-^, кг • °С

Х = 3,9 • 10

5 ДЖ

кг

?

Я

Задача. Для виготовлення деталі розплавили 200 г алю­мінію, температура якого 20 °С. Яку кількість теплоти потріб­но витратити для цього?

Р о з в ' я з у в а н н я. Можна ви­ділити дві складові перетворення твер­дого алюмінію на рідину.

1. Щоб алюміній почав плавитися, його спочатку потрібно нагріти від і1 = = 20 °С до температури плавлення і2 = = 660 °С. У разі нагрівання алюміній одержить кількість теплоти Я1.
2. Під час плавлення без зміни тем­ператури він одержує ще деяку кіль­кість теплоти Я2.

Для плавлення алюмінію потрібна кількість теплоти

Я = Я1 + Я2-

Кількість теплоти, що витрачається на нагрівання, Я1 = ст(І2 -

Кількість теплоти, що витрачається на плавлення, стано­вить Я2 = Хт.

Тоді загальна кількість теплоти —

• 0,2 кг • (660 °С -

Дж

Я = ст(і2 - і 1) + Хт, Я = 930

кг • °С

Дж

- 20 °С) + 3,9 • 105

кг

0,2 кг = 197 040 Дж = 197 кДж.

Щоб розплавити 200 г алюмінію температурою 20 °С, пот­рібно приблизно 197 кДж теплоти. В і д п о в і д ь: Я ~ 197 кДж.

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

* 1. Як визначити кількість теплоти, потрібну для перетворення на рі­дину кристалічного тіла за температури плавлення?



* 1. Чи можливе таке явище: тіло віддає деяку кількість теплоти в нав­колишнє середовище, але при цьому не охолоджується? (Мається на увазі, що віддана кількість теплоти не поповнюється.)
  2. Яку кількість теплоти потрібно передати 2 кг свинцю, який нагріто до температури 327 °С, щоб його розплавити?
  3. Яку масу льоду, температура якого 0 °С, можна розплавити, якщо передати йому 3,4 • 106 Дж теплоти?

5\*. Яка кількість теплоти виділилася в навколишнє середови­ще під час утворення на поверхні озера криги товщиною 5 см, як­що площа поверхні озера 1 км2?



6\*. 12 кг льоду, внесені знадвору в кімнату за температури -25 °С, розтанули, а вода, що утворилася, нагрілася до 16 °С. Яка кількість те­плоти витратилася на ці процеси?

РІДКІ КРИСТАЛИ. ПОЛІМЕРИ. НАНОМАТЕРІАЛИ

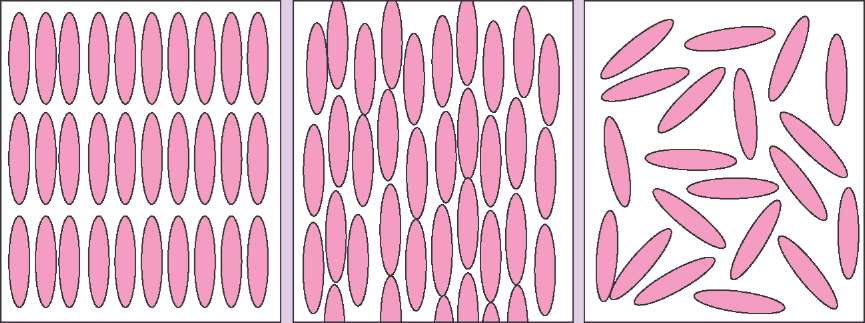
Рідкі кристали. Деякі речовини у разі підвищення температури переходять з твердого кристалічного ста­ну в рідкий не відразу, а через стан, в якому їхня структура є проміжною між структурою рідини і кристала. В такому стані вони називаються рідкими кристалами (thin crystal).

Для речовин, що перебувають в рідкокристалічному ста­ні, характерною є плинність. Вони утворюють краплі, як і рідини. Однак їх краплі можуть мати не кулеподібну, а ви­довжену форму. Молекули у краплі, як і в твердих криста­лах, розміщуються у певному порядку. Проте, якщо в твер­дих кристалах спостерігається дальній порядок розміщення частинок у трьох взаємно перпендикулярних напрямках, то в рідких вони можуть бути впорядковані в одному або двох напрямках. Тому в різних напрямках їх фізичні властиво­сті неоднакові.

Рідкі кристали можуть існувати в певному інтервалі темпе­ратур, різному для різних речовин. Під час нагрівання вони перетворюються на звичайні рідини, а внаслідок охолоджен­ня — на тверді кристали. На мал. 1.50 схематично зображені розташування молекул у кристалічному (а), рідкокристалічно­му (б) і рідкому (в) станах однієї й тієї самої речовини.



Рідкі кристали можуть утворювати речовини з дуже ви­тягнутими молекулами або молекулами, що мають форму дисків. Нині відомо понад 3000 різних рідкокристалічних речовин, багато з яких мають природне біологічне похо­дження. Складна рідкокристалічна структура притаманна



а б в

Мал. 1.50

мозку людини. Дезоксирибонуклеїнова кислота — це рідкий кристал із величезних молекул. Також повсякденно ми ко­ристуємось розчином мила, який теж є рідким кристалом.

Оскільки кристали рідкі, орієнтацією молекул можна легко керувати за рахунок незначних зовнішніх впливів (нагрівання, електричні й магнітні поля). Тому рідкі кри­стали широко застосовуються в техніці. їх використовують у цифровій індикації, для перетворення інфрачервоного ви­промінювання на видиме, для виготовлення плоских екранів моніторів, для термоіндикації, в ультразвуковій медичній діагностиці та ін.

Полімери. У практичній діяльності людини великого зна­чення набули речовини, які називають полімерами. Моле­кули полімеру складаються із величезної кількості однако­вих ланок — мономерів, об'єднаних у довгі ланцюги. До них належать такі природні речовини, як бавовна, вовна, дерево, шкіра, натуральний шовк, каучук тощо. Багато полімерних матеріалів одержують штучно: віскозний шовк, целофан, ор­ганічне скло, поліетилен, штучні волокна, епоксидні смоли та багато ін. До природних полімерів належать біополімери, з яких побудовано клітини всіх живих організмів.

Полімери — основа гуми, лаків, фарб, клеїв тощо. Зав­дяки введенню до полімерів домішок, можна створювати ре­човини з дуже цінними якостями: високою твердістю, лег­кістю, вогнестійкістю та ін.

Наноматеріали. Люди вже набули досвіду з використан­ня об'єктів найрізноманітніших розмірів. Розщеплюючи ядра атомів, отримують атомну енергію. Проводячи хімічні реакції, одержують нові молекули і речовини з унікальни­ми властивостями. За допомогою спеціальних інструментів людина навчилася створювати вироби розмірами від часток міліметра до величезних споруд.

Однак тривалий час існував інтервал розмірів, які вчені майже не досліджували — це світ так званих наночасти- нок. У перекладі з грецької мови нано — карлик. Один на­нометр (нм) — це одна мільярдна частина метра (10-9 м). У більшості атомів діаметр становить від 0,1 до 0,2 нм, а тов­щина людської волосини — 80 000 нм. Нанометр порівню­вати з метром, це те саме, що товщину пальця порівнювати з діаметром Землі.

Частинки, розміром від 1 до 100 нм, називають нано- частинками, а виготовлені з них матеріали — наномате- ріалами. Наноструктуры можна розглядати як особливий стан речовини, оскільки властивості матеріалів, утворених з використанням наноструктурних елементів, значно відріз­няються від властивостей речовин без них.

Наноматеріали дають змогу створювати супермініатюрні електронні пристрої, зокрема комп'ютерні системи, системи запису і збереження інформації. Завдяки малим розмірам такі пристрої можуть проникати в будь-які ділянки люд­ського тіла чи мікромашин.

Застосовуючи наночастинки і виготовлені з них нанома­теріали, можна прискорювати хімічні та біохімічні реакції. Супермініатюрні пристрої з наноматеріалів можна викори­стовувати для виведення отруйних (токсичних) речовин з людського організму і для доставки ліків безпосередньо до вражених місць, а також для відфільтровування шкідливих бактерій.

Зміни основних характеристик речовин, що складають­ся з наночастинок, зумовлені не лише їх мініатюрними роз­мірами, а й тим, що вони перебувають в особливому стані. При цьому виявляються дивовижні ефекти. Наночастинки не мають дефектів у впорядкованості розташування атомів, тому їх можна використовувати для створення енергозбері- гальних, лазерних, випромінювальних пристроїв. Так, міц­ність вуглецевих нанотрубок у десятки разів перевищує міцність найкращої сталі.

§ 15. ПАРОУТВОРЕННЯ І КОНДЕНСАЦІЯ

Вивішена мокра білизна за деякий час стає сухою, висиха­ють клеї й фарби, калюжі після дощу. Ці явища знайомі нам як процеси висихання або випаровування рідин. Вийшовши вранці з дому, ви бачите на траві крапельки води — росу, хоч дощу й не було. Та й чому дощ раптом проливається на нас з неба і що являють собою хмари? Звичайно і на ці питання ви вже знаєте відповіді: пара, яка міститься в повітрі, за певних умов перетворюється на воду і утворює крапельки роси, тума­ну й дощу. У природі й у технічному устаткуванні постійно відбуваються процеси взаємного перетворення рідини й пари. Рідини перетворюються на невидиму для нас пару, тобто пере­ходять у газоподібний стан.

Процес перетворення рідини на пару (газ) називають пароутворенням.

Найчастіше ми спостерігаємо пароутворення, яке відбу­вається з вільної поверхні рідини.

Пароутворення з вільної поверхні рідини, що відбу­вається за будь-якої температури, називають випарову­ванням.

Досить часто відбуваються і зворотні процеси — невидима для нас пара (газ) перетворюється на рідину Ч Процеси перетво­рення рідини на газ, а газу на рідину відбуваються на поверх­ні та в атмосфері Землі й відомі як кругообіг води у природі.

Природа випаровування. Молекули рідини перебувають у постійному безперервному русі. Безладно рухаючись, молеку­ли стикаються одна з одною. Під час зіткнень змінюються зна­чення і напрямки їхніх швидкостей. Серед безлічі молекул рі-

1 Терміни "пара" і "газ" означають один і той самий газоподібний стан речовини. Парою ми називаємо газоподібний стан речовини, яка у звичних для нас умовах (тиск близький до нормального і темпера­тура близька до кімнатної) може перебувати у рідкому стані: вода — водяна пара, ртуть — випари ртуті, бензин — пара бензину та ін. Як­що речовини за цих умов можуть існувати лише в газоподібному ста­ні, а для їхнього перетворення на рідину потрібні температури знач­но нижчі за 0 °С, то їх називають газами.

дини є молекули, які у той чи інший момент часу мають біль­ші й менші швидкості. Молекула, яка опинилася в поверх­невому шарі, зіштовхнувшись із іншою молекулою, може на­бути швидкості яка буде достатньою, щоб подолати сили при­тягання сусідніх молекул і вилітіти за межі рідини. Оскільки молекул дуже багато, то під час їхньої взаємодії за будь-якої температури частина молекул набуває швидкостей, достатніх для подолання сил притягання сусідніх молекул рідини й ви­ходу за її межі. Тому над поверхнею будь-якої рідини завжди є пара — та сама речовина в газоподібному стані.

Випаровування різних рідких речовин за різних умов від­бувається з різною швидкістю. Із збільшенням температури рі­дини швидкість випаровування зростає. Чим вища температу­ра рідини, тим більша кількість молекул набуває швидкостей, достатніх для виходу за її межі. Тому з підвищенням темпе­ратури рідини процес випаровування стає інтенсивні- шим — кількість молекул рідини, що вилітають з неї за одиницю часу, збільшується.

Ви знаєте, що витерта мокрою ганчіркою підлога швидко висихає, а у відкритій склянці навіть невелика кількість води зберігається тривалий час. Швидкість випаровування рідини залежить від площі її поверхні. Справді, чим більша площа поверхні, тим більше молекул розташовується на межі рідини і повітря, а отже, й більше їх може вилетіти з рідини.

Мокра білизна, калюжі, що утворилися після дощу, знач­но швидше висихають, коли дме вітер. Це пояснюється тим, що молекули, які вилетіли з рідини, хаотично рухаючись над нею, зазнають зіткнень із молекулами повітря. Зіштовхуються вони й між собою. Під час таких зіткнень частина молекул, які вилетіли з рідини, набуває швидкостей, направлених назад до поверхні, й може повертатися у рідину. Це зменшує швид­кість випаровування. Коли дме вітер або штучно створюється рух повітря над поверхнею рідини за допомогою вентилятора, молекули пари відносяться потоком повітря і не можуть по­вернутися назад у рідину. Тому, наприклад, у пристроях для сушіння фруктів крізь сітку, на яку їх кладуть, за допомогою вентиляторів проганяють тепле повітря.

Намочивши однакові ватні тампони у воді, олії та ацетоні або ефірі, ви легко помітите, що ефір та ацетон випаровуються значно швидше, ніж вода, а олія, моторне мастило — значно повільніше, ніж вода. Інтенсивність випаровування рідини за однакової температури залежить від хімічного складу самої рідини.

Охолодження під час випаровування. Оскільки з рідини вилітають молекули, які мають великі швидкості, середня швидкість решти молекул рідини зменшується, зменшується й їхня кінетична енергія. Якщо ззовні тепло до рідини не надходить, випаровування спричинює зменшення її внут­рішньої енергії та охолодження. Охолодження рідини у разі випаровування легко спостерігати, обмотавши марлею або ва­тою кульку термометра й обливши її ефіром або навіть водою. Швидко випаровуючись, ефір відбирає частину внутрішньої енергії від кульки термометра, внаслідок цього його темпера­тура значно знижується. Вода випаровується не так швидко, проте й у цьому випадку термометр з обмотаною вологою мар­лею кулькою покаже температуру на 2—3 °С нижчу, ніж тер­мометр, кулька якого суха. У жарких країнах воду зазвичай тримають у пористих глиняних посудинах. Вода повільно про­сочується крізь пори посудини й випаровується. Внаслідок випаровування з поверхні посудини вода в посудині лишаєть­ся холодною. Те, що під час випаровування температура ріди­ни знижується, ви відчували й на собі. Коли після купання ви­ходиш із води, її залишки інтенсивно випаровуються, "заби­раючи" тепло тіла людини.

Конденсація. Процес, зворотний до випаровування, назива­ється конденсацією. Під час охолодження швидкість молекул газу зменшується, зменшуються і відстані між ними. За цих умов сили взаємодії між молекулами пари виявляються дос­татніми для того, щоб притягнути й утримати їх одна біля одної. Пригадайте, вам досить просто втримати товариша, який проходить повз вас. Якщо ж він швидко біжить, то, навіть ухопивши за руку, утримати його не завжди вдається. Зниження температури зумовлює зменшення швидкості моле­кул рідини, які містяться в повітрі. Молекули води, напри­клад, під час зіткнення притягуються одна до одної, і пара по­чинає скраплюватися, утворюючи маленькі крапельки туману. Саме такий туман ми бачимо біля носика чайника, в якому за­кипіла вода, та коли видихаємо повітря в холодну погоду.

Густина водяної пари менша за густину повітря. Тому во­дяна пара піднімається угору, де температура нижча, ніж біля поверхні Землі. Охолоджуючись на висоті, водяна пара кон­денсується, утворюючи туман, який ми спостерігаємо у вигля­ді хмар. Коли крапельки туману об'єднуються у великі краплі, вони вже не можуть утримуватися висхідними потоками пові­тря і проливаються на землю у вигляді дощу.

Випаровуються не тільки рідини, а й тверді тіла. Якщо вивісити мокру білизну на мороз, то вода, яка міститься в ній, замерзає й перетворюється на лід. Проте через деякий час білизна стає сухою. Камфора, нафталін — тверді тіла, але в приміщенні, де во­ни знаходяться, з'являється їхній запах — це результат ви­паровування. Випаровування твердих тіл називають сублі­мацією, або перегонкою. Якщо нагрівати кристали йоду, то, не плавлячись, він перетворюється на газ, що має фіолето­вий колір.



При охолодженні пара теж може відразу утворювати кристали. Саме без перетворення на рідину внаслідок охо­лодження пари, що міститься в повітрі, виникають криста­лики льоду, утворюючи іній, сніжинки, морозяні візерунки на шибках вікон.

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

1. Який процес називають випаровуванням?
2. Як можна пояснити процес випаровування на підставі уявлень про молекулярну будову речовини?
3. Від чого залежить швидкість процесу випаровування?
4. Що таке сублімація?
5. Який процес називають конденсацією?
6. Чому на вітрі білизна висихає швидше?
7. Чому скручена ганчірка довше, ніж не скручена, залишається вологою?



1. Чому під час випаровування рідина охолоджується?

§ 16. КИПІННЯ. ТЕМПЕРАТУРА КИПІННЯ

Найінтенсивніше випаровування відбувається, коли рідина кипить. Що ж являє собою процес кипіння? Вам, мабуть, не­одноразово доводилося кип'ятити воду, чекаючи, поки вона за­кипить у чайнику. Відтворимо процес кип'ятіння так, щоб йо­го можна було спостерігати. Наллємо воду в прозору посудину і почнемо її нагрівати (мал. 1.51). На дні і стінках посудини після наповнення її водою можна помітити бульбашки пові­тря, що залишаються на нерівностях. Також у воді завжди є розчинене повітря, яке під час нагрівання теж утворює буль­башки. Кожна бульбашка — це закритий об'єм повітря, обме­жений поверхнею води, з якої теж відбувається випаровуван­ня. Тому в бульбашках є і водяна пара.

Під час нагрівання спочатку прогрівається та частина води, яка контактує з дном посудини. Внаслідок нагрівання кіль­кість молекул пари і відповідно тиск у бульбашках зростають, і вони збільшують свій об'єм (мал. 1.52, а). Коли бульбашка стає досить великою, вона під дією сили Архімеда відриваєть­ся від дна, стінок посудини і починає спливати до поверхні рідини (мал. 1.52, б). На місці бульбашки, що відірвалася, залишається маленький пухирець, заповнений парою води, з якого знову починає рости бульбашка.





Уважно спостерігаючи за процесом нагрівання води, ви помітите, що, піднімаючись до поверхні, буль­башки знову зменшуються і навіть зникають (мал. 1.52, в). Це пояснюється тим, що буль­башки містять пару й дуже небагато повітря. У верхніх шарах ще деякий час температура води нижча, ніж біля дна. Тому пара в буль­башках, які спливають і потрапляють у хо­лодніші шари рідини, конденсується. Збіль­шення, а потім зменшення бульбашок можна не лише побачити, а й почути: під час нагрі­вання вода "шумить". Нарешті уся рідина в посудині прогрілася. Внаслідок прогрівання води і підвищення температури кількість мо­лекул, що вилітають з поверхні рідини, яка оточує бульбашки, збільшується і тиск у ній зростає. Об'єм бульбашок, що піднімаються, вже не зменшується, а дедалі збільшується, Мал. 1.51

Мал. 1.52

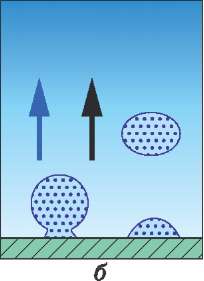
адже із зменшенням глибини тиск у рідині зменшується. Ко­ли тиск пари у бульбашці, що сплила до поверхні рідини, до­сягає атмосферного, вона лопається, викидаючи пару в навко­лишнє середовище (мал. 1.52, г). "Шум" припиняється і почи­нається "булькання" — вода закипіла.

Процес кипіння — це процес інтенсивного випаровування рідини, який супроводжується утворенням пари не лише на її поверхні, а й у бульбашках всередині рідини.

Температура кипіння. Оскільки рідина закипає тоді, коли тиск пари у бульбашках досягає зовнішнього тиску, темпера­тура, за якої кипить рідина, залежить від значення тиску над її поверхнею. Як свідчать результати дослідів, за нормального атмосферного тиску (101 325 Па = 760 мм рт. ст.) вода заки­пає, коли її температура в усьому об'ємі дорівнює 100 °С.

Температуру, за якої рідина кипить, називають температу­рою кипіння або точкою кипіння.

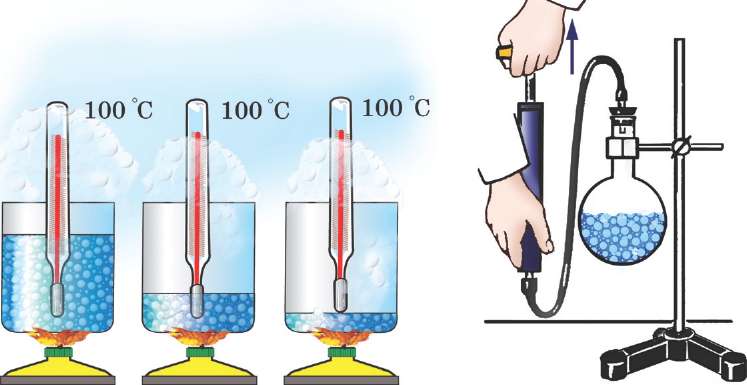
Показання термометра, опущеного у киплячу воду, свід­чать, що температура кипіння залишається незмінною до­ти, поки уся вода не перетвориться на пару (мал. 1.53).





\

У разі, коли тиск, менший за нормальний атмосферний, на­приклад високо в горах, вода закипає за нижчих температур. Тому альпіністам, які піднімаються на високі вершини, дово­диться значно довше готувати собі страву. Вода закипатиме за температури, значно нижчої ніж 100 °С, якщо з колби, в яку



Мал. 1.53 Мал. 1.54

налито дещо підігріту воду, відкачувати повітря за допомогою насоса (мал. 1.54). Зниження температури кипіння рідини за малих тисків широко використовують у цукроварінні, щоб цукрова маса не пригорала, а вода випаровувалася, а також у процесі виготовлення сухого молока та ін.

Із збільшенням зовнішнього тиску вода закипає за темпе­ратури, вищої за 100 °С. Це використовують для дезінфекції медичних інструментів, швидкого приготування різних страв у каструлях-скороварках, для отримання пари, яка має висо­ку температуру і тиск, у котлах парових турбін та ін.

Температура кипіння різних рідин залежить не лише від тиску над її поверхнею, а й від хімічного складу рідини. Тем­ператури кипіння різних рідин за нормального атмосферного тиску наведено в табл. 1.4.

Таблиця 1.4. Температури кипіння деяких рідин за нормаль­ного атмосферного тиску

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Рідина | Температура кипіння, °С | Рідина | Температура кипіння, °С |
| Рідкий гелій | -269 | Ефір | 35 |
| Рідкий водень | -253 | Спирт | 78 |
| Рідкий кисень | -183 | Вода | 100 |
| Рідкий азот | -196 | Ртуть | 357 |
| Хлор | -34 | Розплавлений цинк | 906 |
| Вуглекислий газ | -78,5 | Розплавлене залізо | 2880 |

1. Який процес називають кипінням?
2. Опишіть, як відбувається закипання води?
3. Яку температуру називають температурою кипіння?
4. Від чого і як залежить температура кипіння рідини?

§ 17. ПИТОМА ТЕПЛОТА ПАРОУТВОРЕННЯ

Під час випаровування з рідини вилітають найбільш швид­кі молекули. Тому випаровування спричиняє зниження темпе­ратури рідини. Щоб температура рідини не знижувалася, до неї необхідно підводити певну кількість теплоти.

Найінтенсивніше випаровування відбувається під час кипін­ня. Як тільки чайник, в якому кипить вода, зняти з плити, ки­піння відразу припиняється. Щоб підтримувати кипіння рідини, вже нагрітої до температури кипіння, необхідно продовжувати підводити до неї теплоту. При цьому з'ясовується наступне: щоб випарувати однакові кількості різних рідин за незмінної температури, потрібно надавати їм різну кількість теплоти. Так, щоб перетворити на пару 1 кг води, яка кипить, потрібно передати їй 2260 кДж теплоти. Випаровування 1 кг ефіру за його температури кипіння потребує лише 373 кДж теплоти.

Кількість теплоти, яка потрібна для перетворення 1 кг рідини на пару без зміни температури, є питомою теплотою пароутворення.

Питому теплоту пароутворення позначають латинською лі­терою г. Кількість теплоти у СІ вимірюють у джоулях, тому

одиницею питомої теплоти пароутворення є 1 Дж . Питома

кг

теплота пароутворення у різних рідин різна. Дещо різниться вона і у випадках випаровування за різних температур. У табл. 1.5 наведено значення питомої теплоти пароутворення деяких рідин за температури кипіння.



7

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

Виникає низка питань. Чому, щоб підтримувати кипіння, потрібно постійно підводити теплоту? Чому не змінюється тем-

Таблиця 1.5. Питома теплота пароутворення деяких рідин за температури кипіння

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Речовина | Питома теплота пароутворення, кДж/кг | Речовина | Питома теплота пароутворення, кДж/кг |
| Вода | 2 300 | Ртуть | 300 |
| Ацетон | 521 | Кисень | 213 |
| Спирт | 900 | Скипидар | 161 |

пература під час кипіння рідини? Щоб відповісти на них, при­гадаємо будову рідин і газів (пари).

Рідина та її пара складаються з одних і тих самих молекул. В однакових масах рідини й пари однієї й тієї самої речовини кількості молекул однакові. Проте швидкості руху молекул па­ри (газу) і відстані між ними значно більші, ніж швидкості і відстані між цими молекулами у рідині. Щоб перетворити рі­дину на пару за тієї самої температури, необхідно збільшити швидкості руху її молекул та відстані між ними, подолати си­ли їх взаємного притягання. Тепло, яке надходить від нагрів­ника, витрачається на те, щоб збільшити внутрішню енергію пари порівняно з рідиною. Усе тепло, що надходить, витрача­ється на збільшення швидкостей молекул, які вилітають із рі­дини, і відстаней між ними. Тому за однакової температури пари і рідини внутрішня енергія пари значно більша.

Питома теплота пароутворення показує, наскільки внутрішня енергія 1 кг пари більша за внутрішню енер­гію 1 кг рідини за тієі самої температури.

Питома теплота конденсації. Під час конденсації пара пе­ретворюється на рідину. Внутрішня енергія рідини менша, адже швидкості молекул і відстані між ними у рідині менші, ніж коли речовина перебуває в газоподібному стані. Тому під час конденсації пари в навколишнє середовище виділяється певна кількість теплоти. У цьому можна легко переконатися. Якщо пару, яка утворюється в колбі під час кипіння, за допо­могою трубки спрямувати в посудину з холодною водою, то внаслідок конденсації пари вода в посудині швидко нагрієть­ся. При перетворенні пари на рідину виділяється такасама кількість теплоти, як і під час пароутворення за тієї самої температури.

Питома теплота конденсації чисельно дорівнює пито­мій теплоті пароутворення за тієї самої температури і

так само позначається — літерою г.



Внутрішня енергія 1 кг водяної пари за температури 100 °С на 2300 кДж більша за енергію 1 кг води за тієї самої темпе­ратури. Тому під час конденсації кожен кілограм пари виділяє значну кількість теплоти, яку надалі можна використовувати. Зокрема, на теплових електростанціях відпрацьована в паро­вих турбінах пара застосовується для нагрівання води для опа­лення будинків та для інших потреб.

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

* 1. Що називають питомою теплотою пароутворення?
  2. Чому протягом усього процесу кипіння температура рідини залишається постійною?
  3. Є однакові маси рідини і пари, температури яких однакові (температури кипіння). Чи однакові їх внутрішні енергії?
  4. Про що свідчить питома теплота пароутворення?
  5. Що називають питомою теплотою конденсації?
  6. Чому температура води у відкритій склянці завжди дещо нижча за температуру повітря в кімнаті?

§ 18. РОЗРАХУНОК КІЛЬКОСТІ ТЕПЛОТИ ПРИ ПАРОУТВОРЕННІ (КОНДЕНСАЦІЇ)

Щоб перетворити на пару 1 кг рідини, необхідно передати їй кількість теплоти, яка чисельно дорівнює питомій теплоті пароутворення. Зрозуміло, якщо необхідно випарувати за тієї самої температури 5 кг рідини, потрібно витратити у 5 разів більше теплоти.

Щоб визначити кількість теплоти, необхідної для перетворення на пару речовини, що перебуває в рідкому стані, потрібно питому теплоту пароутворення речо­вини помножити на її масу:

Я = гт.

Наприклад, питома теплота пароутворення води за темпе­

Дж

. Тоді для випаровуван­

ратури кипіння — г = 2 300 000

кг

ня т = 5 кг води під час її кипіння слід витратити таку кіль­кість теплоти:

Я = гт = 2 300 000

ш

Ші

птт

Я

Ч.

і, С 100 80 60 40 20

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | В | К | ипі | Н.НЯ | С |  | < |
|  |  | Ь |  |  |  |  |  |  |
|  |  | і |  |  |  |  |  |  |
|  |  | 5 |  |  |  |  |  |  |
| і | \* |  |  |  |  |  |  |  |
| г „ | і |  |  |  |  |  |  |  |

0 10 20 ЗО 40 \*,хв Мал. 1.55

да

Вв

20,

60



нл

Мал. 1.56

Дж

5 кг = 11 500 000 Дж = 11,5 МДж.

кг

Така сама кількість теплоти виділиться під час перетворен­ня 5 кг пари, яка мала температуру 100 °С, на воду, що має таку саму температуру.

Процес зміни температури рідини під час її нагрівання й кипіння можна відобразити за допомогою графіка. Наприклад, для води, яку ми нагріваємо в чайнику, графік залежності її температури від часу нагрівання матиме приблизно такий ви­гляд, як показано на мал. 1.55. Ділянка АВ графіка відповідає нагріванню води від початкової температури 20 °С до темпера­тури кипіння 100 °С протягом 10 хв. Ділянка ВС відповідає кипінню води. Точка С графіка відповідає моменту, коли уся вода википіла — перетворилася на пару (минуло 40 хв від по­чатку нагрівання і 30 хв від моменту, коли вода почала кипі­ти). З цього моменту теплота, яка надходить від нагрівника, витрачається на нагрівання пари і, звичайно, чайника.

Процес нагрівання тіла може розпочатися, коли тіло пере­буває ще в твердому стані, і закінчитися його повним або част­ковим випаровуванням у процесі кипіння. Графік такого про­цесу наведено на мал. 1.56.

і," С 100

80 60 40 20 0 -20 -40

У такому випадку повна кількість теплоти, яку необхідно затратити, є сумою: 1) кількості теплоти, яку необхідно нада­ти тілу, щоб нагріти його до температури плавлення (ф^; 2) кількості теплоти, яку необхідно витратити, щоб перетвори­ти тверде тіло на рідину (розплавити — Q2); 3) кількості тепло­ти, яку необхідно надати рідині, щоб нагріти її до температу­ри кипіння (ф3); 4) кількості теплоти, яка витрачається на ви­паровування рідини за температури кипіння (ф4).

і 1 кг випарувати тл = 3 кг, тп = 1 кг,

Дж

Сл = 2100

Дж

Х= 340 000

кг

^ = -30 °С,

^2 = 0 °С,

г3 = 100 °С,

Дж

Св = 4200

°С Дж кг

кг

г = 1 260 000

Задача. Початкова температура льоду масою тл = 3 кг становила ^ = —30 °С. Яку кількість теплоти необхідно затра­тити, щоб його розплавити, нагріти одержану воду до кипіння

тп = 1 кг)?

Р о з в ' я з у в а н н я. Щоб лід, темпера­тура якого —30 °С, почав плавитися, його потрібно спочатку нагріти до температури кг плавлення £2 = 0 °С і передати йому кіль­

кість теплоти

= Стл^ - \*1). Кількість теплоти, необхідну для плав­лення льоду, можна визначити так:

Я2 = Атл.

Коли увесь лід перетвориться на воду, вона почне нагріватися. На нагрівання води, що утворилася з льоду (маса води дорівнює масі льоду), до температури кипіння = = 100 °С необхідно витратити кількість теп­лоти

$3 = Свтл(\*3 - \*2).

? Визначимо кількість теплоти, яка вит­рачається на випаровування рідини масою тп за температури кипіння:

Ф4 = гтп.

На весь процес потрібно кількість теплоти

Я = + $2 + $3 + $4 = Слтл(і2 - І1) + ^тл + Свтл(і3 - і2) + гт^

Підставивши дані умови задачі і виконавши обчислення, одержимо

кг

$ = 2100 Дж • 3 кг + 340 000 Дж • 3 кг +

кг

+ 4200 Дж • 3 кг • 100 °С +

кг • °С

+1 кг • 1 260 000 ^Ж= 9 369 000 Дж =9,4 МДж. кг

Отже, на плавлення льоду, температура якого -30 °С, на­грівання водн, що утворилася з нього, до кипіння і одер­жання 1 кг пари необхідно затратити приблизно 9,4 МДж кількості теплоти.





В і д п о в і д ь: Я = 9,4 МДж.

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

рівнюється. Наприклад, якщо у посудину з холодною водою опустити нагріту гирю, то через деякий час ми помітимо, що гиря охолола, вода і посудина нагрілися — їхні температури стали однаковими. Такий стан тіл називають тепловою рівно­вагою.

Результати дослідження процесу теплообміну під час вста­новлення теплової рівноваги свідчать про те, що в одних тіл зменшується внутрішня енергія: вони передають певну кіль­кість теплоти іншим тілам; інші тіла отримують цю саму кіль­кість теплоти і їхня внутрішня енергія збільшується.

Рівність кількості теплоти, яку віддає одне тіло (або тіла), кількості теплоти, яку отримує інше тіло (або ті­ла) у процесі теплообміну, називають тепловим балансом.

Процеси теплообміну дослідити досить складно. Наприк­лад, у випадку занурення у воду нагрітої гирі не лише гиря і вода обмінюються теплом. У теплообміні бере участь навко­лишнє повітря, посудина, підставка, на якій стоїть посудина з водою, та інші тіла. Щоб зменшити теплообмін із навколиш­нім середовищем, під час досліджень використовують спеціаль­ні пристрої — калориметри. Найпростіший калориметр — це дві циліндричні посудини різного діаметра, які можна встави­ти одна в одну (мал. 1.57, а).

Для виготовлення внутрішнього стакана, як правило, вико­ристовують речовини з малою питомою теплоємністю. Коли менший стакан вставляють у більший, між ними залишається повітряний прошарок, що є досить добрим теплоізолятором. У

Зовнішня посудина



І



б

Ж ж

Мал. 1.57

деяких калориметрах між зовнішньою та внутрішньою посу­динами розміщують спеціальні термоізоляційні вставки, зо­крема з пінопласту. Така конструкція дає змогу наблизити си­стему тіл у калориметрі до замкненої і вважати, що теплооб­мін відбувається лише між тілами, які знаходяться у внутріш­ній посудині калориметра (мал. 1.57, б).

Теплообмін між тілами, внаслідок якого настає теплова рівновага, можна записати у вигляді рівності кількостей те­плоти, які одні тіла віддають, кількостям теплоти, які інші ті­ла отримують. Цю рівність називають рівнянням теплового балансу. Вона є відображенням закону збереження і перетво­рення енергії в теплових процесах.

Задача. Сталеву гирю масою т1 = 200 г нагріли до тем­ператури і1 = 80 °С. У калориметр налили т2 = 100 г води, температура якої і2 = 20 °С. Якою стане температура і води (і гирі) у калориметрі, якщо гирю після нагрівання опустили у

воду? Питома теплоємність сталі с, = 500 Дж , питома теп-

кг • °С

лоємність води с2 = 4200-

лориметром знехтувати.

|  |  |
| --- | --- |
| т1 | = 200 г = 0,2 кг, |
| І1 = | 80 °С, |
| т2 = | = 100 г = 0,1 кг, |
| І 2 = | 20 °С, |
| С1 = | 500 Дж ,  кг • °С |
| С 2 = | 4200 Дж кг • С |
| і — | ? |

Дж

Теплообміном води і гирі з ка-

кг • С

Р о з в ' я з у в а н н я. Опишемо процес теплообміну під час встановлен­ня теплової рівноваги між гирею і во­дою в калориметрі.

* Якщо розглядати теплообмін лише між водою й гирею, то можна записати рівняння, яке визначає їх тепловий ба­ланс: Q1 = Q2, де Q1 — кількість теплоти, яку віддала гиря воді, Q2 — кількість теплоти, яку одержала вода від гирі.
* Кількість теплоти, яку віддала ги­ря під час охолодження, —

= С1^1 (£1 - і).

* Кількість теплоти, яку отримала вода від гирі, —

^2 = ^2 (І - £2).

* Тоді рівняння теплового балансу для гирі і води набуде вигляду

С1^1 (І1 - і) = С2^2 (і - £2).

Рівняння дає можливість визначити невідомі величини, що характеризують тіла, між якими відбувається теплообмін.

З'ясуємо, яка температура £ встановиться в калориметрі (температура води і гирі) після вирівнювання температур.

Скориставшись рівнянням теплового балансу і виконавши математичні перетворення, отримаємо

с1т1(£1 - £) = с2т2(£ - £2) = с1т1£1 - с1т1£ = с2т2£ - с2т2£2 =

c-.m-.t-, + е2тЛ2

= с1т1£1 + с2т2р2 = (с1т1 + с2т2)£ = £ =——— [[4]](#footnote-4)—2-2­500 Дж • 0,2кг • 80 °С + 4200 Дж • 0,1кг • 20 °С

£ = кг • С кг С \_

500 Дж • 0,2 кг + 4200 Дж • 0,1 кг

кг• С кг• С

= 31 °С.

В і д п о в і д ь: £ = 31 °С.

У теплообміні найчастіше беруть участь не два, а більше тіл. У нашому випадку слід було б урахувати, що тепло, яке віддала гиря, витрачалося на нагрівання не лише води, а й принаймні внутрішнього стакана калориметра. У такому разі рівняння теплового балансу запишемо так:

= ^2 + Оі,

де О3 — кількість теплоти, отримана стаканом калориметра. Тому температура, яка встановиться в калориметрі, буде дещо меншою за 30 °С. Звичайно, для ще більшої точності обчи­слень необхідно враховувати й те, що гиря нагріває також нав­колишнє повітря і другий стакан калориметра й інші тіла нав­коло. Проте процеси теплообміну тривають порівняно малий проміжок часу. Тому кількістю теплоти, яка витрачається на нагрівання тіл, що безпосередньо не контактують з водою і ги­рею, можна знехтувати.

Рівняння теплового балансу доцільно записувати у такій формі: з одного боку від знака рівності записують суму кількостей теплоти, які віддали тіла, що охолоджувалися у процесі теплообміну, а з іншого — суму кількостей те­плоти, що їх отримало кожне з тіл, які нагрівалися.







ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

* 1. Яка особливість процесу встановлення теплової рівноваги?
  2. Що розуміють під терміном "тепловий баланс"?
  3. У воду, температура якої 80 °С, кинули 300 г льоду за тем­ператури 0 °С. Після встановлення теплової рівноваги темпера­тура води дорівнює 30 °С. Знайдіть масу води. Втратами теплоти знехтувати.
  4. У посудину з 3 л холодної води, температура якої 10 °С, налили 2 л кип'ятку (температура 100 °С). Якою стала температура води в посудині?

5\*. У калориметрі, внутрішній стакан якого виготовлений з алюмінію і має масу 80 г, є 150 г води температурою 20 °С. Скільки води темпера­турою 80 °С потрібно долити в калориметр, щоб у ньому встановилася температура 30 °С?

6\*. У одну склянку з гарячим чаєм опустили срібну ложку, а в іншу, та­ку саму склянку, — алюмінієву ложку такого самого об'єму. В якій склян­ці температура знизилася істотніше?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

Вивчення теплового балансу за умов змішування води різної температури

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тіло | Маса, кг | Початкова темпера­тура, °С | Кінцева темпера­тура, °С | Питома теплоєм­ність, Дж/(кг • °С) | Одержана (віддана) кількість теплоти, Дж |
| Холодна вода Тепла вода Посудина калориметра |  |  |  |  |  |

3. Продумайте послідовність ваших дій під час проведення експерименту.

Проведення експерименту

* + 1. Скориставшись терезами та набором різноваг або дина­мометром і ниткою, визначте масу внутрішньої посудини ка­лориметра тк. З'ясуйте, з якого металу її виготовлено, та за­пишіть у таблицю значення питомої теплоємності ск.
    2. Використавши мірний циліндр або мензурку, відміряйте і налийте у калориметр 100—150 г холодної води (бажано кім­натної температури). Визначте початкову температуру води та внутрішньої посудини калориметра (за 1—2 хв температури посудини калориметра і холодної води зрівняються). Питомі теплоємності холодної і теплої води вважайте однаковими і та­кими, що дорівнюють 4200 Дж/ (кг • °С).
    3. Відмірявши мірним стаканом (мензуркою) 100—150 г те­плої води, виміряйте її температуру і вилийте в калориметр.
    4. Обережно перемішайте його вміст термометром. Як тіль­ки температура суміші перестане змінюватися, визначте тем­пературу, що встановилася в калориметрі.
    5. Визначте кількості теплоти, які під час теплообміну з те­плою водою одержали холодна вода і внутрішня посудина ка­лориметра.
    6. Знайдіть кількість теплоти, яку калориметру і холодній воді віддала тепла вода.
    7. Перевірте, чи дорівнює кількість теплоти, яку віддала тепла вода, кількостям теплоти, що одержали калориметр і хо­лодна вода.
    8. Зробіть висновки. Вкажіть можливі причини невиконан­ня рівняння теплового балансу у вашому експерименті та мо­жливі шляхи їхнього усунення.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2 Визначення питомої теплоємності речовини

Завдання. Визначити питому теплоємність твердого тіла.

Обладнання: посудина з водою; калориметр; терези з набо­ром різноваг або динамометр; тверде тіло, питома теплоємність якого невідома; посудина з гарячою водою; термометр; мірний циліндр або мензурка; нитка або дротина з гачком.

Підготовка до проведення експерименту

1. Підготуйте таблицю для занесення результатів вимірювань та обчислень, одержаних під час проведення експерименту.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Тіло | Маса, кг | Початкова темпера­тура, °С | Кінцева темпера­тура, °С | Одержана (віддана) кількість теплоти, Дж | Питома теплоєм­ність, Дж/(кг • °С) |
| Холодна вода Тверде тіло Посудина калориметра |  |  |  |  |  |

* + - 1. Прив'яжіть нитку до твердого тіла (якщо немає дротяно­го гачка).
      2. Визначте ціну поділки термометра, мірного циліндра (мензурки).

Проведення експерименту

* + - * 1. Виміряйте масу твердого тіла тт.
        2. Виміряйте масу внутрішньої посудини калориметра тк та визначте за таблицею питому теплоємність речовини, з якої вона виготовлена [[5]](#footnote-5).



* + - * 1. Відміряйте і налийте у калориметр 100—150 г води кім­натної температури тв.
        2. Виміряйте температуру ^ води в калориметрі, обережно перемішавши її термометром (таку саму температуру має вну­трішня посудина калориметра).
        3. Нагрійте тверде тіло, опустивши в гарячу воду, і визнач­те його температуру і2 (за температурою води).
        4. Перенесіть нагріте тіло у калориметр, і після встановлен­ня в ньому теплової рівноваги виміряйте температуру води в калориметрі.
        5. Визначте кількість теплоти Q1, одержану холодною водою в калориметрі, та кількість теплоти Q2, одержану вну­трішньою посудиною калориметра (у разі врахування теплооб­міну з цією посудиною), та кількість теплоти Qт, яку віддало тверде тіло під час його охолодження в калориметрі.
        6. Запишіть рівняння теплового балансу для процесу те­плообміну в калориметрі та визначте питому теплоємність ре­човини, з якої виготовлено тіло. За значенням питомої те­плоємності визначте, з якої речовини могло бути виготовлене це тіло.
        7. Вкажіть можливі причини виникнення похибок у ре­зультатах вимірювань.

Головне в темі

"Зміна агрегатних станів речовини" гія цієї самої речовини в рідкому стані за тієї самої темпера­тури.

Для визначення кількості теплоти, яку потрібно зат­ратити, щоб розплавити тіло за температури плавлення, слід питому теплоту плавлення тіла помножити на його масу:

Q = Хт.

Процес перетворення рідини на пару (газ) називають паро­утворенням. Пароутворення з вільної поверхні рідини, що відбувається за будь-якої температури, називають випарову­ванням.

Процес кипіння — це процес інтенсивного випаровування рідини, який супроводжується утворенням пари не лише на її поверхні, а й у бульбашках всередині рідини.

Температуру, за якої рідина кипить, називають температу­рою кипіння або точкою кипіння.

Кількість теплоти, яка потрібна для перетворення 1 кг рі­дини на пару без зміни температури, називають питомою те­плотою пароутворення.

Питома теплота пароутворення показує, наскільки вну­трішня енергія 1 кг пари більша за внутрішню енергію 1 кг рі­дини за тієї самої температури.

Питома теплота конденсації чисельно дорівнює питомій те­плоті пароутворення за тієї самої температури.

Щоб визначити кількість теплоти, необхідної для пере­творення на пару речовини, що перебуває в рідкому стані, потрібно питому теплоту пароутворення речовини помно­жити на її масу:

Q = гт.

ПЕРЕВІР СЕБЕ

1. У яких агрегатних станах мо­же перебувати одна й та сама ре­човина?

тільки в твердому; Б) тільки в рідкому;

тільки в рідкому і газопо­дібному;

Г) у твердому, рідкому, газо­подібному.

2. Під час плавлення теплота витрачається на ...

А) підвищення температури; Б) руйнування кристалічної ґратки;

В) виконання роботи з розши­рення;

Г) збільшення кінетичної енергії тіла.

В алюмінієвій посудині можна розплавити ...

цинк;

Б) олово;

мідь;

Г) срібло.

Питома теплота плавлення алюмінію становить 3,9 -105 Дж/кг. Це означає ...

щоб нагріти 1 кг алюмінію від 0 °С до температури плавлен­ня, необхідно передати йому 3,9 х х 105 Дж теплоти;

Б) щоб розплавити 1 кг алю­мінію за температури його плав­лення, потрібно передати йому 3,9 • 105 Дж теплоти;

щоб розплавити 1 кг алю­мінію, температура якого 0 °С, необхідно затратити 3,9 • 105 Дж теплоти;

Г) щоб розплавити деяку ма­су алюмінію, потрібно передати йому 3,9 • 105 Дж теплоти.

Кількість теплоти, потрібну для плавлення речовини за тем­ператури плавлення, можна виз­начити за формулою ...

Я = гт;

Б) Я = Хт;

Я = ст;

Г) Я = стМ.

За якою формулою можна знайти кількість теплоти, яка потрібна для випаровування де­якої маси рідини за температури кипіння?

Я = гт; Б) Я = Хт;

Я = ст; Г) Я = стМ.

Яку кількість теплоти потріб­но затратити, щоб розплавити 10 кг льоду температурою 0 °С?

1,7 • 105 Дж; Б) 3,4 • 105 Дж;

3,4 • 106 Дж; Г) 6,8 Дж.

Яка кількість теплоти виділи­ться при конденсації 200 г спир­ту температурою 78 °С?

180 кДж; Б) 20 кДж;

3 МДж; Г) 4 МДж.

Випаровуванням називають явище .

перетворення рідини на газ; Б) вилітання молекул з віль­ної поверхні рідини;

переходу молекул з пари в рідину;

Г) утворення пари в бульбаш­ках повітря всередині рідини.

Яке з тверджень неправильне?

у процесі кипіння темпе­ратура не змінюється;

Б) під час кипіння уся теп­лота, яка надходить до рідини, витрачається на збільшення вну­трішньої енергії речовини при перетворенні її на пару;

температура кипіння біль­ша за температуру конденсації;

Г) під час кипіння відбува­ється не лише випаровування, а й пароутворення всередині буль­башок повітря в самій рідині.

11. На скільки внутрішня енер­гія 2 кг водяної пари, що має температуру 100 °С, більша, ніж внутрішня енергія води за тієї самої температури? А) 460 кДж; Б) 2300 кДж; в) 4600 кДж;

Г) 23 000 кДж. 12. Питома теплота конденсації вимірюється в...

Дж/кг; Б) Дж;

Дж/(кг • °С); Г) Дж/°С.

ЗГОРЯННЯ ПАЛИВА. ТЕПЛОВІ ДВИГУНИ

§ 20. ЗГОРЯННЯ ПАЛИВА

Здавна і до сьогодні основне джерело одержання теплової енергії — це спалювання палива. Як паливо використовують деревину, природний газ, сланці, торф, нафту, бензин, гас та інші природні й штучні речовини.

Процес горіння — це хімічна реакція окислення, внас­лідок якої продукти згоряння мають значно більшу внут­рішню енергію, ніж речовини, що вступали в цю реакцію.

У природних умовах окисником здебільшого є кисень пові­тря. У пороху, паливі для ракетних двигунів як окисник за­стосовують й інші речовини — азотну кислоту, хлор, інші хі­мічні сполуки, які можуть підтримувати процес горіння у ва­куумі й під водою.

Енергія, якої набувають продукти згоряння палива, визна­чається кількістю теплоти, що виділяється під час згоряння палива. Під час згоряння однакової маси різних типів палива виділяється різна кількість теплоти. Так, при спалюванні 1 кг соснових дров виділяється значно менше теплоти, ніж при спа­люванні такої самої маси кам'яного вугілля. Здатність різних типів палива виділяти при спалюванні різну кількість теплоти характеризує фізична величина, яку називають питомою те­плотою згоряння палива. Для порівняння ефективності різ­них типів палива визначають, яку кількість теплоти можна от­римати під час спалювання 1 кг палива.

Питома теплота згоряння палива чисельно дорівнює кількості

теплоти, яка виділяється під час повного згоряння 1 кг палива.

Питому теплоту згоряння палива у фізиці позначають літе­рою д. Оскільки в СІ одиницею кількості теплоти є 1 Дж, а одиницею маси 1 кг, то одиницею питомої теплоти згоряння

палива в СІ є 1 Дж . Але під час спалювання навіть кількох кг

грамів палива виділяються сотні й тисячі джоулів теплоти, тому на практиці використовують кратні одиниці теплоти —

МДж

мегаджоуль на кілограм І 1

кг

Питому теплоту згоряння різних типів палива визначають експериментально. Значення питомої теплоти згоряння деяких видів палива наведено в табл. 1.6.

Таблиця 1.6. Питома теплота згоряння деяких типів палива

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Речовина | 9>  МДж/кг | Речовина | 9>  МДж/кг | Речовина | 9>  МДж/кг |
| Торф | 8,1 | Сухе паливо | 30,0 | Гас | 43,0 |
| Дрова (березові, | 10,2 | Вугілля | 31,0 | Бензин | 44,0 |
| соснові) |  | деревне |  |  |  |
| Вугілля кам'яне | 29,3 | Мазут | 39,2 | Пропан | 47,54 |
| Спирт етиловий | 25,0 | Нафта | 41,0 | Метан | 50,1 |
| Умовне паливо | 29,31 | Дизельне | 42,7 | Водень | 120,9 |
|  |  | паливо |  |  |  |



ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

Від чого і як залежить кількість теплоти, яка виділяється при спа­люванні палива?

Що називають питомою теплотою згоряння палива?

Яке паливо — березові дрова чи кам'яне вугілля, у випадку спа­лювання однакової маси виділятиме більшу кількість теплоти?

§ 21. РОЗРАХУНОК КІЛЬКОСТІ ТЕПЛОТИ ВНАСЛІДОК ЗГОРЯННЯ ПАЛИВА

Аналізуючи дані таблиці питомої теплоти згоряння для різ­них типів палива, можна дійти такого висновку: найефектив­нішим паливом серед наведених є гази (пропан, метан, водень).

Зокрема, під час спалювання 1 кг природного газу метану ви­діляється майже у 5 разів більше теплової енергії, ніж під час спалювання 1 кг деревини.

|  |  |
| --- | --- |
| Яс | = 25 МДж , |
|  | кг |
| тв | = 2 кг, |
| ь = | = 25 °С, |
| \*2 = | = 50 °С, |
| Св | = 4200 кДж |
|  | кг • °С |
| тс | — ? |

Зрозуміло, що чим більша маса палива, тим більшу кіль­кість теплоти можна отримати внаслідок його спалювання. Якщо, спаливши 1 кг гасу, отримують 43 МДж теплоти, то при спалюванні 10 кг гасу можна отримати у 10 разів більшу кількість теплоти — 430 МДж.

Щоб визначити кількість теплоти, яка виділиться внаслідок спалювання будь-якої маси палива, необхідно питому теплоту згоряння палива помножити на його масу.

У вигляді формули це можна записати так:

Я = дт.

Часто потрібно з'ясувати, яку масу палива потрібно спалити, щоб одержати певну кількість теплоти, на скільки можна нагріти те чи ін­ше тіло унаслідок спалювання певної маси палива та ін.

Задача. Яку масу спирту тс потрібно спалити, щоб на­гріти 2 л води (тв = 2 кг) від 25° до 50 °С = 25 °С, г2 = = 50 °С), якщо вся теплота, яка виділяється внаслідок згорян­ня спирту, витрачається на нагрівання води? Питома теплота

\_\_ МДж

згоряння спирту = 2 5 .

кг

Р о з в ' я з у в а н н я. На нагрівання води потрібно таку кількість теплоти:

Я = свтв(і2 - І1) .

Цю кількість теплоти одержують унаслідок спалювання спирту: Я = дстс . Тому можна записати, що

Свтв(\*2 - І1) = Яото .

Звідси

4200 кДж • 2 кг • (50 - 25) °С

Свтв(\*2 - \*1>

Яс 25 000 000 Дж

кг

тс =

= 0,0084 кг = 8,4 г.



Отже, для нагрівання 2 л водн від 25 до 50 С потрібно спалити 8,4 г спирту.





В і д п о в і д ь: тс = 8,4 г.

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

ся на розігрівання їжі чи кип'ятіння води. Значна частина теплової енергії витрачається на нагрівання повітря в кім­наті, самої конфорки і плити та випромінюється в навко­лишнє середовище. Це стосується й інших нагрівників, які застосовують у народному господарстві.

Ефективність пристроїв для спалювання палива оціню­ють за коефіцієнтом їх корисної дії (ККД). Щоб знайти коефіцієнт корисної дії нагрівника, необхідно визначити, яку кількість теплоти від всієї одержаної внаслідок спа­лювання палива було витрачено за призначенням (на на­грівання води у котлі, приготування страв, плавлення ме­талу та ін.).

Кількість теплоти, отриману від нагрівника тілом, яке нагрівають, — корисну кількість теплоти, позначимо Qk, а всю кількість теплоти, що виділилася внаслідок згорян­ня палива (повну кількість теплоти), — Q. Тоді, щоб виз­начити, яку кількість теплоти від усієї отриманої під час спалювання палива становить корисна кількість тепло­ти, потрібно її значення поділити на значення повної кіль­кості теплоти. Це і буде коефіцієнт корисної дії нагрівни­ка. Зазвичай ККД нагрівника позначають грецькою літерою П. Згідно із введеними позначеннями коефіцієнт корисної дії нагрівника, виражений у процентах, можна обчислити за формулою

Q

п = • 100 %.

Q

Коефіцієнтом корисної дії нагрівника називають відношення кількості теплоти, яку можна використати корисно, до повної кількості теплоти, яка виділяється під час спалювання палива.

Так, конфорки сучасних побутових газових плит мають ККД близько 60 % [[6]](#footnote-6). Це означає, що лише 60 % теплової енергії, отриманої при спалюванні газу, можна використо­вувати для приготування страв. Решта тепла втрачаєть­ся на нагрівання навколишнього середовища. ККД нагрівни­ка значною мірою залежить і від того, як повно спалюєть­ся паливо, а також від розмірів і форми тіл, які нагріва­ються. Наприклад, якщо маленьку за розміром посудину на­грівати на великій конфорці газової плити, то Ті ККД може становити менше ніж 10 %.

Підвищення коефіцієнта корисної дії нагрівників різних типів — важлива науково-технічна, екологічна й економіч­на задача. Чим вищий коефіцієнт корисної дії пальника, тим менше палива потрібно спалити для отримання те­плової енергії, тим менші затрати коштів і меншим є заб­руднення атмосферного повітря й усього довкілля. До того ж деревина, нафта, газ та інші типи палива — це цінна сировина для виробництва різноманітних виробів.

^ і Газ широко використовують як природне паливо. Біль-

ї ї і-

І- шість людей в Україні користуються газовими плитами. Пито- ^ г му теплоту згоряння газу часто виражають як кількість тепло- 3 V ^ ти, що виділяється під час спалювання 1 м3 газу. Для природ­ного газу вона становить приблизно 50 кДж/м3. Якщо у вашій кварти­рі встановлено лічильник газу, ви можете легко визначити ККД конфо­рок своєї газової плити. Закип'ятіть воду на різних конфорках. З'ясуй­те, чи однаковий ККД у різних конфорок. Опишіть проведений вами експеримент. Пригадайте, масу води можна визначити за її об'ємом у чайнику чи іншій посудині.

§ 22. ПЕРЕТВОРЕННЯ ЕНЕРГІЇ В МЕХАНІЧНИХ І ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСАХ

Формулюючи закон збереження і перетворення енергії в механічних процесах, ми звертали увагу на те, що він викону­ється тоді, коли в замкненій системі діють лише сили тяжіння і сили пружності, а тертя відсутнє. Дія сил тертя і виконання роботи з їх подолання спричиняє нагрівання тіл, що взаємоді­ють. Унаслідок такої взаємодії механічний рух перетворюєть­ся на інший вид руху — тепловий рух частинок, із яких скла­даються тіла, що взаємодіють. Відповідно, зміна механічної енергії тіла може привести до зміни його внутрішньої енергії. Енергія — це загальна характеристика будь-яких рухів і взає­модій. Тому у фізиці зміни в одному виді руху і взаємодії, які зумовлюють зміни в інших видах руху і взаємодій, називають перетворенням одного виду енергії в інший.

Коли свинцева кулька падає на сталеву плиту, вона не від­скакує від неї, її швидкість відносно плити дорівнює нулю. Проте внаслідок взаємодії кульки з плитою нагріваються і кулька, і плита — змінюється їхня внутрішня енергія. Меха­нічна енергія кульки перетворюється на внутрішню енергію плити і кулі.



Механічна енергія може перетворюватися на внут­рішню (теплову) енергію.

Серед тих, хто сумнівався в існуванні теплецю, був і Бенджамін Румфорд (1753—1814 рр.). У 1798 р. він провів експеримент, який переконливо це дово­див.

Дослід полягав у наступному. На той час спосіб вигото­влення гармат був таким. Спочатку з металу виливали су­цільний гарматний ствол, а потім у ньому висвердлювали канал для ядер. Для цього використовували великі свердла. Свердла кріпили у спеціальному свердлильному станку, рух якому надавали коні, що ходили по колу (мал. 1.58). Рум­форд помітив, що під час свердління стволи дуже нагріва­ються. На його думку, причина нагрівання — сили тертя,



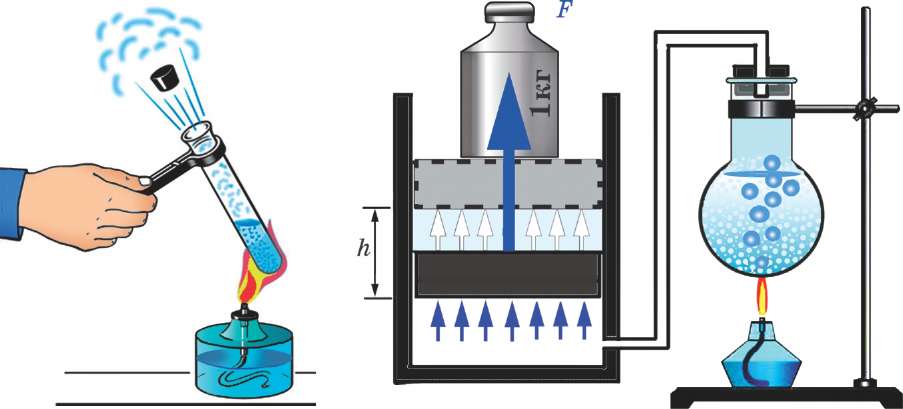
Мал. 1.58

які виникають під час обертання свердла, і, відповідно, ви­конання механічної роботи. Щоб під час свердління викона­ти більшу роботу, Румфорд використав тупе свердло, а ствол гармати помістив у діжку з водою. Його припущення підтвердилося: у процесі свердління тупим свердлом виді­лення теплоти виявилося настільки значним, що досить швидко вода у діжці закипіла. Це справило неабияке вра­ження на свідків, що спостерігали за проведенням досліду.

У XIX ст. англійський вчений Д. Джоуль (1818— 1889 рр.) на підставі низки експериментів довів, що певній кількості теплоти завжди відповідає певне значення вико­наної над тілом роботи, і встановив кількісне співвідношен­ня між теплотою і роботою.

Проте не тільки механічний рух може перетворюватися на тепловий, а енергія механічного руху — на внутрішню енергію. Виконаємо простий дослід. У пробірку наллємо воду і закриє­мо її корком (мал. 1.59). Якщо нагріти пробірку на спиртівці так, щоб вода закипіла, то через деякий час корок вилетить. Його виштовхує пара води, що утворилася під час кипіння. Те­плота, одержана внаслідок згоряння палива (спирту), витрача­ється на збільшення внутрішньої енергії води та перетворення її на пару. Внутрішня енергія нагрітої до 100 °С пари більша за внутрішню енергію води. Тиск пари у разі збільшення кіль­кості молекул, що вилітають із води під час кипіння, зростає. Нагріта пара виконує роботу, надаючи корку кінетичну енер­гію: внутрішня енергія пари перетворюється на кінетичну енергію корка.

За рахунок внутрішньої енергії пари можна виконати й ко­рисну роботу, наприклад, підняти вантаж на деяку висоту. Товстостінну колбу з водою закриємо корком із вставленою в нього трубкою і приєднаємо до циліндра з легко рухомим поршнем (мал. 1.60). Ця установка фактично нічим не відріз­няється від пробірки, закритої корком, тільки замість корка — поршень, на який можна покласти вантаж. Якщо нагрівати колбу, то вода кипітиме й утворюватиметься значна кількість пари. Чим довше кипить вода, тим більшою стають густина і тиск пари. Коли сила тиску яка діє на поршень, почне пе­ревищувати вагу його та покладеного на нього вантажу, пор-



Мал. 1.59 Мал. 1.60

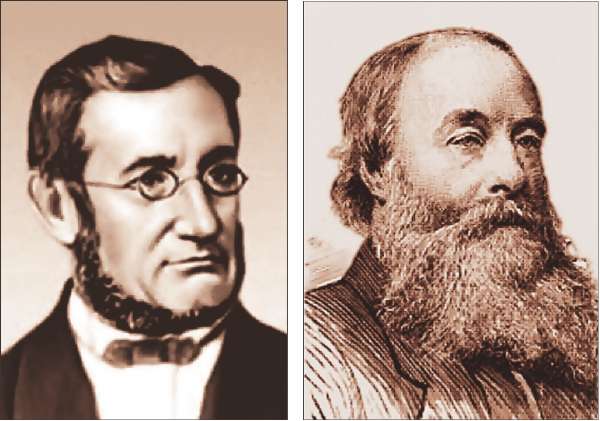
шень підніметься на деяку висоту К. Зміна внутрішньої енер­гії пари спричиняє зміну механічної енергії, і виконану робо­ту можна знайти так: А = ЕК.

Внутрішня енергія може перетворюватися на меха­нічну енергію.

У середині XIX ст. німецький вчений Ю. Майєр (1814— 1878 рр.) та англійський вчений Д. Джоуль на підставі аналі­зу результатів багатьох дослідів і спостережень відкрили закон збереження і перетворення енергії в механічних і теплових процесах. Найточніше цей закон сформулював німецький вче­ний Г. Гельмгольц (1821 —1894 рр.), який вперше математич­но його обґрунтував і показав всезагальність.

В ізольованій системі енергія може перетворюватися з однієї форми на іншу, але загальна її кількість не змінюється.

Оскільки енергія є кількісною характеристикою руху і взаємодії тіл та атомів і молекул, з яких вони складаються, закон збереження енергії можна сформулювати так: рух збері­гається і його не можна зупинити, він є найважливішою вла­стивістю матерії. Із закону збереження і перетворення енергії випливає, що існує багато видів руху, наприклад механічний, тепловий, "електричний" тощо, які можуть перетворюватися з



Юліус Роберт Джеймс Прескотт Герман Людвиг Ферди-

фон Майер Джоуль





одного на інший. Але за будь-яких із цих перетворень викону­ється принцип "еквівалентності", тобто рух нікуди не зникає і не виникає "з нічого".

Закон збереження енергії у багатьох випадках ніби суперечить нашому повсякденному досвіду. Часто здається, що рух припиняється і енергія тіла нібито зникає. М'яч, кинутий на підлогу, з часом припиняє підстрибувати і зупиняється. Потяг загальмував — його кінетична енергія зникла. Акумулятор вашого мобіль­ного телефона виснажився — більша частина його хімічної енергії зникла. Можна навести безліч прикладів, які нібито підтверджують зникнення енергії. Однак, якщо детально проаналізувати ці явища, можна переконатися, що при зникненні одного виду енергії завжди одночасно виникає щонайменше один інший вид енергії. Енергія не зникає, а пе­ретворюється на один або декілька інших видів енергії. Кі­нетична енергія м'яча здебільшого перетворюється на внут­рішню (теплову) енергію, потяга, що загальмував, — на те­плову, а хімічна енергія акумулятора мобільного телефона під час його роботи — в енергію радіохвиль, енергію світла і звуку.





Оскільки енергія характеризує рух тіла, рух і взаємодію атомів та молекул, з яких воно складається, то закон збе­реження енергії виражає найважливішу властивість мате­рії: збереження її руху. Існують різні види руху матерії, які можуть перетворюватися з одного в інший. У зв'язку із практичним використанням енергії зазвичай йдеться про втрату енергії з точки зору можливості її корисного вико­ристання. Проте така втрата енергії не суперечить зако­ну збереження енергії. Втрачена енергія не зникла: просто частина енергії перетворилася не в ту форму, яка нам на разі потрібна.

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

ху різним машинам і механізмам, а також для виконання ро­боти використовувалася мускульна сила людей і тварини. Піз­ніше люди навчилися застосовувати енергію вітру та падаючої води у вітряних і водяних млинах, що перемелювали зерно на борошно. Водяні колеса перекачували й піднімали воду, на­даючи руху різним механізмам. Проте вітер вщухає, вода за­мерзає, крім того, механічну енергію води можна використати тільки там, де є річка. Сили тварини та людини обмежені. То­му ще в давнину вчені й винахідники звернули увагу на мож­ливості використання теплової енергії — перетворення її на механічну роботу.

Пристрої, які перетворюють теплову енергію на механічну роботу або механічну роботу в теплоту, називають тепловими машинами.

Теплові машини, які перетворюють теплову енергію в механічну роботу, називають тепловими двигунами.

Розглядаючи перетворення внутрішньої енергії на механіч­ну (§ 21), ми з'ясували, що нагріта пара може виконати робо­ту — перемістити поршень, підняти вантаж. Це і є найпрості­ша теплова машина. Замість пари можна використати інший газ. Пару та газ, які виконують роботу у такій машині, назива­ють робочим тілом. Для виконання роботи робочому тілу необхідно передати певну кількість теплоти від нагрівника (мал. 1.61, а). Поршень не може переміщуватися як завгодно довго, проте це й не потрібно. Розширення триватиме доти, поки тиск газу в циліндрі не зрівняється із зовнішнім тиском. Частина внутрішньої енергії робочого тіла перетвориться на ме­ханічну — буде виконано роботу А з підняття гирі (мал. 1.61, б). Проте після зняття вантажу поршень залишиться у верхньому положенні (мал. 1.61, в). Щоб продовжити виконання роботи (підняти інший вантаж), поршень треба повернути у початкове положення. Для цього слід охолодити робоче тіло, що містить­ся в циліндрі, і зменшити його внутрішню енергію. Потрібен охолоджувач — холодильник, якому робоче тіло віддасть кіль­кість теплоти Я2 (мал. 1.61, г), що залишилася після виконан­ня роботи. Потім усе можна повторити спочатку. Отже,

1. тепловий двигун повинен працювати циклічно;
2. тепловий двигун повинен мати нагрівник, робоче тіло і холодильник.

Нагрівник

1 кг

Т

1 кг

Qi

у-

A

A

Qc

AQ1

Робоче тіло

Q2

Нагрівник Робота

б в Мал. 1.61

а

Холодильник І І

г

Холодильник Т

Мал. 1.62

Схематично принцип дії теплового двигуна можна зобрази­ти так, як показано на мал. 1.62. Від нагрівника робоче тіло одержує певну кількість теплоти, унаслідок чого його вну­трішня енергія зростає. Розширюючись, робоче тіло виконує роботу — його внутрішня енергія частково витрачається на виконання механічної роботи. Щоб двигун міг далі виконува­ти роботу, його необхідно повернути в початковий стан. Для цього залишок одержаної від нагрівника кількості теплоти потрібно передати холодильнику і зменшити внутрішню енер­гію робочого тіла до початкового значення.

Можна вважати, що виконана двигуном робота дорівнює різниці між кількістю теплоти, одержаної робочим тілом дви­гуна від нагрівника Q1, і кількістю теплоти, відданої холо­дильнику Q2, а саме: А = Q1 — Q2. Зрозуміло, що корисна робо­та буде ще меншою.

Важливим показником двигуна є його коефіцієнт корисної дії (ККД). ККД теплового двигуна показує, яка частина тепло­вої енергії, що виділилася під час згоряння палива у процесі роботи двигуна, може перетворитися на механічну роботу. ККД двигунів визначають у процентах.

Щоб знайти ККД теплового двигуна, необхідно корис­ну роботу, виконану двигуном, поділити на кількість теплоти, яка виділилася під час згоряння палива, і пом­ножити на 100 %:

Q

п = ■ 100 %.

Q





Теплові двигуни використовують у різних галузях народно­го господарства. Вони надають руху автомобілям, тракторам, кораблям, літакам, потягам, виводять на орбіту космічні кораб­лі та ін.

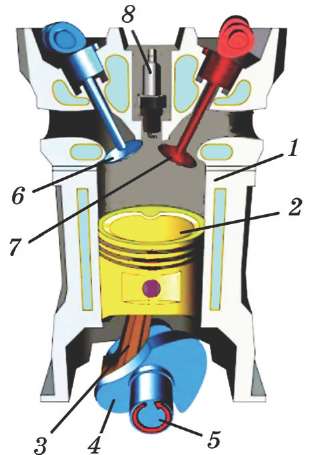
ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

верхній частині циліндра — кришці — розташовані впускний 6 і випускний 7 клапани та запалювальна свічка 8.

Такти роботи двигуна відображе­но на мал. 1.64. Для запуску двигуна його вал прокручують, і кривошипно- шатунний механізм спричинює рух поршня униз-угору. Хід поршня вгору або вниз називають тактом. Цикл роботи чотиритактного двигуна стано­вить 4 такти.

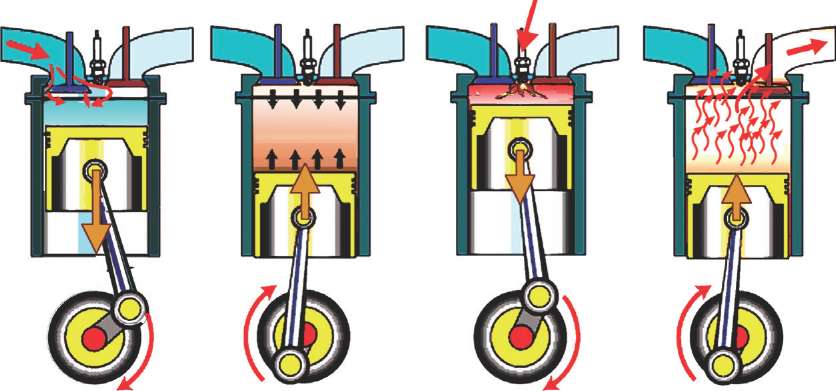
1. такт — всмоктування. Пор­шень рухається вниз, як наслідок у ци­ліндрі має місце розрідження. Одночас­но відкривається впускний клапан, і завдяки розрідженню у циліндр всмок­тується пальна суміш, яка створюється

спеціальним пристроєм — карбюратором і складається з пари бензину та повітря. Випускний клапан закритий. Впускний клапан закривається, коли поршень досягає крайнього нижньо­го положення. Це положення називають нижньою "мертвою точкою". Перший такт роботи двигуна завершується.



Мал. 1.63

1. такт — стиск. Впускний клапан закритий. Випускний клапан теж закритий. Поршень, досягнувши нижньої "мертвої



Відкрито впускний клапан

Обидва клапани закриті

Відкрито впускний клапан

Всмоктування Стиснення Робочий хід Випуск

а б в г

Мал. 1.64

точки", починає рухатися вгору і стискає пальну суміш. Коли поршень досягає верхнього положення — верхньої "мертвої точки" — у свічці проскакує електрична іскра, яка запалює суміш. Пальна суміш спалахує і згорає за тисячну частку секунди, її температура досягає майже 2000 °С.

1. такт — робочий хід. Гази, які утворилися під час зго­ряння палива, створюють величезний тиск на поршень і зму­шують його швидко рухатися до нижньої "мертвої точки". Кривошипно-шатунний механізм передає поступальний рух поршня валу двигуна, що спричиняє його обертання. Внутрішня енергія палива перетворюється на енергію поступального руху поршня і обертального руху колінчатого вала.
2. такт — випуск. Коли поршень досягає крайнього ниж­нього положення, відкривається випускний клапан. Вал дви­гуна продовжує обертатися, і поршень рухається вгору, виш­товхуючи гази, які утворилися після згоряння палива, в атмо­сферу.

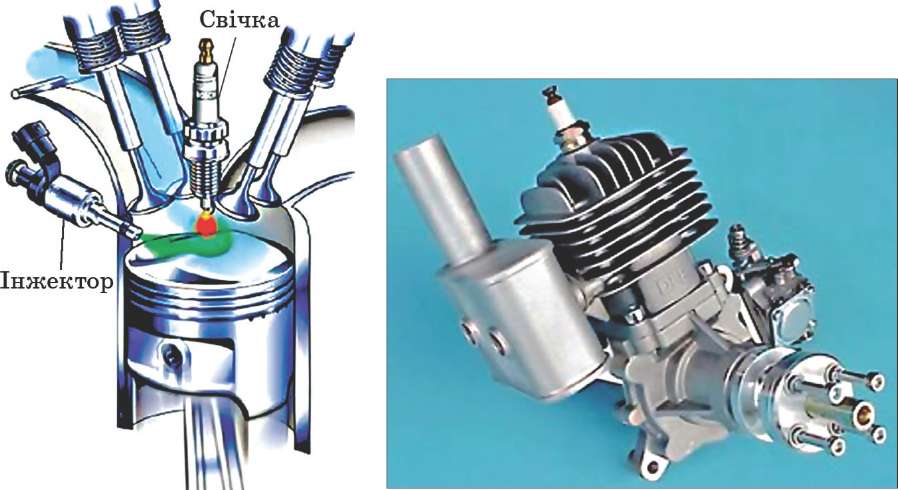
Як бачимо, лише один із чотирьох тактів роботи двигуна є робочим. Саме під час робочого ходу поршня (3-го такту) вну­трішня енергія палива перетворюється на механічну, забезпе­чуючи виконання корисної роботи і рух поршня двигуна про­тягом решти трьох тактів. Тому, щоб двигун почав працювати, його спочатку потрібно прокрутити принаймні на півоберта. Це здійснюють за допомогою спеціального малопотужного двигуна — стартера, або іншого пристрою.

Для забезпечення більш плавної роботи чотиритактних двигунів їх виготовляють з чотирма і більше циліндрами (зро­зуміло, що, як правило, це число кратне 2). Цикл роботи кож­ного з циліндрів у такому двигуні відстає (випереджає) на один такт від циклу роботи іншого циліндра. Тому колінчатий вал постійно одержує енергію від одного з чотирьох поршнів. Багатоциліндрові двигуни мають також більшу потужність.

Коефіцієнт корисної дії карбюраторного двигуна становить 20—30 %.

Крім карбюраторних поршневих двигунів є інжекторні та дизельні двигуни. У дизельних двигунах під час першого так­ту (всмоктування) у циліндр засмоктується повітря.

Унаслідок сильного і швидкого стиснення (другий такт) повітря у циліндрі нагрівається до 800—900 °С — це темпера­тура, за якої паливо самовільно займається. Тому в момент,



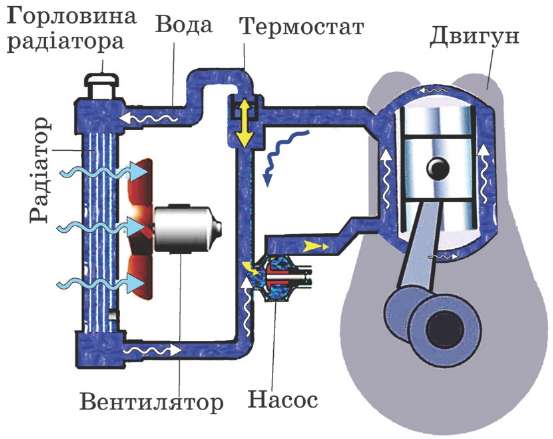
Мал. 1.65 Мал. 1.66

коли поршень дизельного двигуна проходить верхню "мертву точку", у циліндр за допомогою форсунки впорскується і роз­пиляється паливо, яке миттєво займається. Далі відбуваються такти "робочий хід" і "випуск". Для дизельних двигунів вико­ристовують дешевші типи палива: дизельне паливо, мазут.

ККД сучасних дизельних двигунів може досягати 50 %. Паливна суміш у дизельних двигунів утворюється безпосеред­ньо в циліндрі двигуна.

Інжекторні двигуни працюють на бензині й газі, як і кар­бюраторні. Але подібно до дизельних двигунів паливо у них розпилюється безпосередньо в циліндр у момент максимально­го стиснення і проскакування іскри у свічці (мал. 1.65). Ін­жекторні двигуни викидають в атмосферу менше шкідливих газів.

Під час роботи двигуни внутрішнього згоряння дуже нагрі­ваються і потребують охолодження. Охолодження може бути повітряним або водяним. Мотоцикли, бензопили та інші ма­шини, які використовують двигуни порівняно невеликої по­тужності чи умовами їхньої експлуатації передбачено обдуван­ня потоком повітря, мають повітряне охолодження (мал. 1.66). У циліндрах і головках таких двигунів є спеціальні виступи — ребра для забезпечення більшої площі поверхні й кращої пере­дачі теплоти повітрю.



Мал. 1.67

Двигуни, які встановлюють на автомобілях та інших по­тужних машинах, зазвичай, мають водяне охолодження. У во­ди велика теплоємність, вона добре поглинає тепло. Систему водяного охолодження зображено на мал. 1.67.



Воду в систему охолодження двигуна заливають через гор­ловину радіатора. Циліндри двигунів, де відбувається згорян­ня палива і де температура досягає понад 2000 °С, омиває во­да, циркуляцію якої забезпечує насос. Гаряча вода, рухаючись трубками радіатора, охолоджується потоком повітря, який утворюється внаслідок дії вентилятора та руху автомобіля.

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

1. Двигун мотоблока за годину роботи споживає 0,5 л дизельного палива, розвиваючи потужність 4,4 кВт. Який ККД двигуна мотоблока?
2. Двигун мотоцикла споживає 5 л бензину на 100 км шляху за швидкості 90 км/год. Яку потужність розвиває двигун мотоцикла, якщо його ККД становить 25 %?

§ 25. ПАРОВІ ТА ГАЗОВІ ТУРБІНИ

У поршневих двигунах поступальний рух поршня перетво­рюється на обертальний рух вала двигуна за допомогою криво­шипно-шатунного механізму. Тому такі двигуни працюють поштовхами, частина енергії, набутої поршнем, витрачається на подолання сил тертя між поршнем і циліндром та у криво­шипно-шатунному механізмі. Потужність і швидкість обертан­ня поршневих двигунів теж є обмеженими. Навіть у сучасних автомобільних двигунах частота обертання вала, як правило, не перевищує 6500 об/хв.

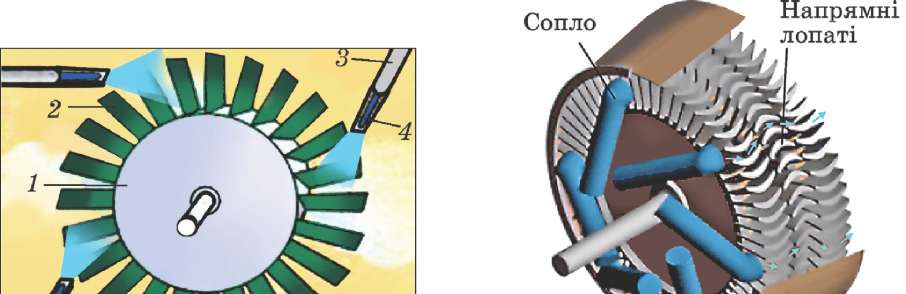
Розвиток промислового виробництва у кінці XIX ст. зумо­вив створення швидкісних потужних двигунів.

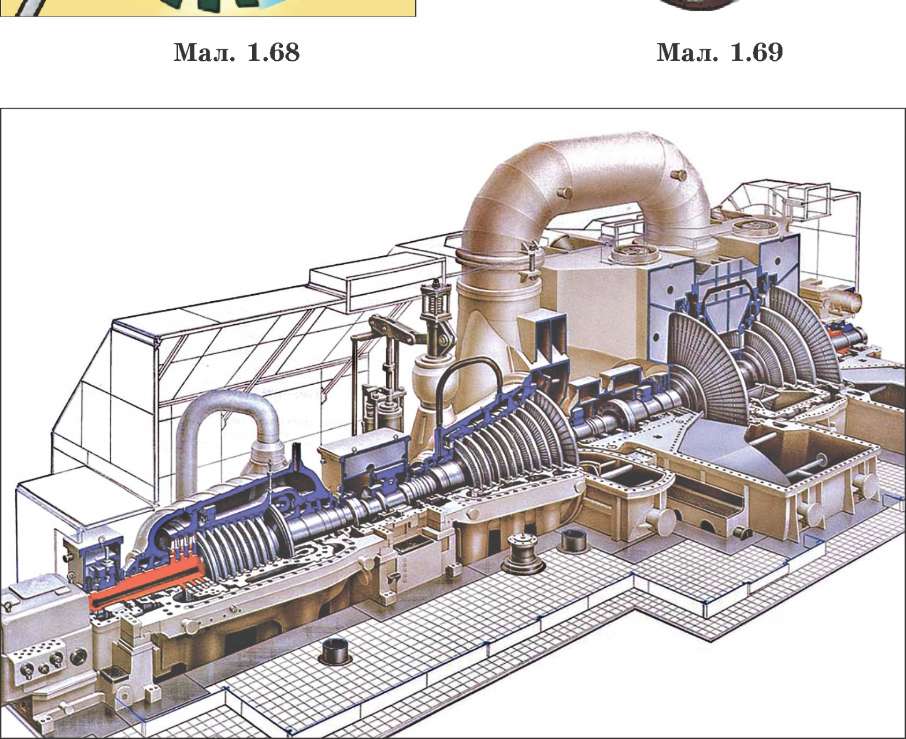
Парові турбіни. Шведський винахідник Густав де Лаваль (1845—1913 рр.) працював над конструкцією молочного сепа­ратора. Для забезпечення його роботи потрібен був новий швид­кісний двигун. Подолавши багато труднощів, Лаваль створив першу парову турбіну. Як робоче тіло він обрав пару, яка ши­роко використовувалася на той час у парових машинах. Пара, яку одержували в котлі, мала високі температуру та тиск. Про­те парові машини не могли забезпечити потрібну швидкість обертання. Турбіна Лаваля (мал. 1.68) являла собою легке ко­лесо 1 з особливо зігнутими лопатками — лопатями 2, до яких трубками 3, встановленими під кутом, від котла за допо­могою паропроводу підводилася пара. На кінцях трубок були звуження — так звані сопла 4. На виході із сопла утворював­ся струмінь пари, швидкість якого більша за швидкість звуку.

Потенціальна енергія стисненої пари при виході з сопла перетворювалася на кінетичну енергію її струменя. Цей стру­мінь, потрапляючи на лопаті турбіни, спричинював їй обертан­ня. Робоче колесо турбіни оберталося і виконувало механічну роботу. Колесо турбіни знаходилося в закритому корпусі.



Робоче колесо сучасних турбін — ротор — складається з кількох дисків із лопатями, між якими розміщують нерухомі





Мал. 1.70

направляючі лопаті (мал. 1.69). Всередині турбіни пара роз­ширюється, охолоджується і надходить по широкій трубі у конденсатор. У конденсаторі вона конденсується, і вода, яка утворилася з неї, перекачується в котел, де знову перетворю­ється на пару.

Під час роботи турбіни відсутні поштовхи, характерні для теплових двигунів, коли поршень рухається то в один, то в ін­ший бік. Потужність турбін, які встановлюють на теплових і атомних електричних станціях, становить сотні тисяч кіловат, а коефіцієнт корисної дії — приблизно 40 %. Переріз потуж­ної парової турбіни показано на мал. 1.70.

Парові турбіни успішно працюють там, де потрібні великі потужності, а розміри установок не мають особливого значен­ня: на теплових і атомних електростанціях, кораблях, у тому числі з атомними енергетичними установками.



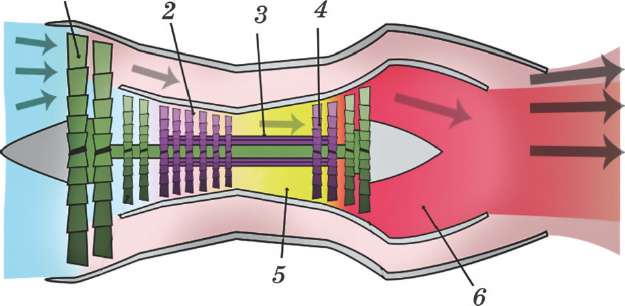
Робочим тілом у парових турбінах є пара, яка утворюється в парових котлах за рахунок спалювання палива або за допо­могою атомних реакторів і по трубах надходить до турбіни. Тому парові турбіни є двигунами зовнішнього згоряння. Такі двигуни неможливо розмістити на літаку або невеликому швид­кісному судні.

Українське підприємство "Турбоатом" — одна з провідних турбобудівних фірм світу. Воно спеціалі­зується на створенні та виробництві парових турбін для теплових електростанцій (ТЕС), атомних стан­цій (АЕС), гідравлічних турбін для гідроелектростанцій (ГЕС) і гідроакумулюючих електростанцій (ГАЕС), газових турбін для ТЕС і парогазових установок (ПГУ) та іншого енерге­тичного устаткування.

Газові турбіни. Газова турбіна працює подібно до парової, проте робочим тілом у ній є гази, які утворюються при зго­рянні палива в камері згоряння самої турбіни. Температура продуктів згоряння перевищує 1000 °С і у них високий тиск. З камери згоряння вони надходять до сопел турбіни. У соплах внутрішня енергія продуктів згоряння перетворюється на кіне­тичну енергію струменів газу, які діють на робочі лопаті дисків турбіни, надаючи їм обертання.

Газові турбіни широко використовують у сучасній авіації та інших швидкісних видах транспорту. Вони можуть розвивати значні потужності, маючи порівняно невеликі розміри і масу. Будову газотурбінного двигуна наведено на мал. 1.71. У перед­ній частині двигуна розташовано вентилятор 1 і компресор 2, які встановлено на одному валу 3 з турбіною 4. За допомогою

1



Мал. 1.71

вентилятора повітря засмоктується в двигун, стискається ком­пресором і надходить у камеру згоряння 5. Одночасно в камеру згоряння за допомогою форсунок розпилюється паливо (гас).



У продуктів згоряння палива високі температура і тиск. Прискорюючись у соплах, вони набувають великої кінетичної енергії і надають обертання турбіні. Витікаючи з великою швидкістю крізь спеціальний отвір двигуна — сопло 6, про­дукти згоряння створюють тягу (турбореактивні двигуни). Турбіна може приводити в рух гвинти або вентилятори у тур­богвинтових і турбовентиляторних двигунах, які встановлю­ють на літаки, та обертати гвинти швидкісних суден.

Й

Архип Михайлович Люль­ка (1908—1984)народився в с. Саварка, Богуславсько- го району Київської облас­ті. Український конструк­тор авіаційних двигунів. Розробив конструкцію першого у світі дво­контурного турбореактивного дви­гуна. Дослідив нові енергетичні речовини. Під його керівництвом створені потужні турбореактивні двигуни нового типу.

Архип Михайлович — піонер розробки турбореактивних двигу­нів для надзвукової авіації, перші

кроки у цьому напрямі він зробив ще в 1930-ті роки. 28 трав­ня 1947 року літак СУ-11 з двигуном ТР-1 конструкції Люльки розвинув швидкість 900 км/год.

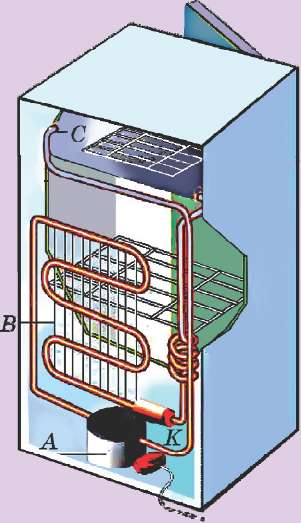


Українське підприємство "Мотор Січ" (місто Запоріж­жя) — одне з найбільших у світі виробників сучасних, на­дійних авіаційних двигунів для літаків і вертольотів. Виго­товлені на підприємстві двигуни експлуатуються більш ніж у ста двадцяти країнах світу. Посідає одне з провідних місць у світовому співтоваристві виробників авіаційної техніки. У 2007 році підприємство відзначило 100-річний ювілей з дня заснування заводу.

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

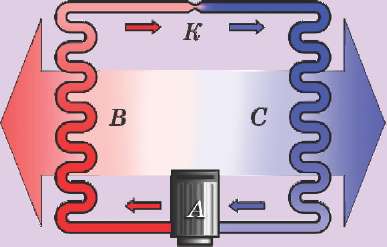
сора А стискають яку-небудь речовину, що легко переходить з газоподібного стану в рідкий, а з рідкого — в газоподіб­ний. Такими речовинами (у техніці їх називають холодиль­ними агентами) є аміак, фреони, сірчистий ангідрид та інші.

У компресорі внаслідок виконання роботи зі стиснення газів холодильний агент нагрівається і витискається в кон­денсатор (у побутових холодильниках це змійовик, який знаходиться зовні на задній стінці холодильника). Охоло­джуючись у конденсаторі, він конденсується: переходить з газоподібного стану в рідкий. Одночасно з цим компресор створює в змійовику-випарнику С (розташований всередині холодильної камери) розрідження. Через регулювальний клапан і тонку трубку К (капіляр) у випарник із конденса­тора просочується рідкий холодильний агент. Там він швид­ко випаровується й розширюється.

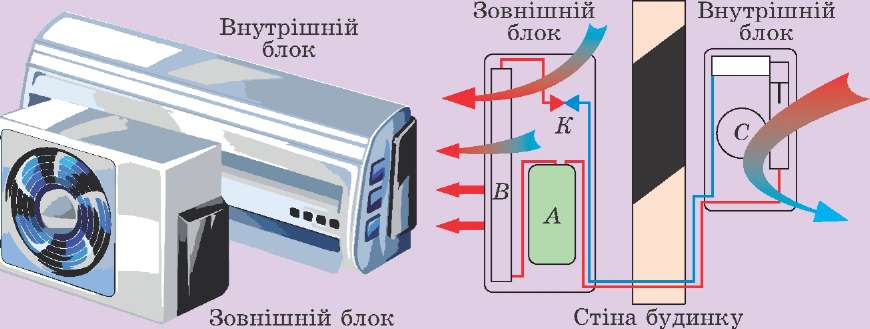


Випаровування і виконання роботи з розширення зумо­влюють охолодження холодильного агента і поглинання енергії від стінок змійовика С, від повітря, що з ним контак­тує, й від продуктів, які є у холодильній камері. Тому в хо­лодильній камері температура знижується і продукти охоло­джуються. Компресор приво­диться в дію електродвигуном.

Кондиціонер. Принцип робо­ти кондиціонера не відрізняєть­ся від принципу роботи холо­дильника (див. мал. 1.72). Проте найпоширеніші кондиціонери складаються з двох блоків — внутрішнього і зовнішнього



Мал. 1.72



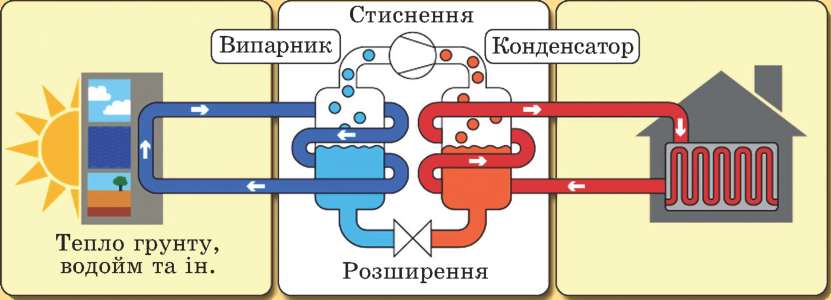
Мал. 1.73

(мал. 1.73) — і вентиляторів. Останні створюють потоки по­вітря, що обдувають випарник С і конденсатор В, а також забезпечують інтенсивніший теплообмін із навколишнім по­вітрям. Як і в холодильнику, компресор А стискає фреон і підтримує його рух по холодильному контуру. В конденса­торі В, розташованому в зовнішньому блоці (на вулиці), фреон конденсується з виділенням теплоти. Випарник С знаходиться у внутрішньому блоці. У випарнику фреон ви­паровується і поглинає теплоту. Терморегулювальний вен­тиль К знижує тиск фреону перед випарником.

Компресор, конденсатор, терморегулювальний вентиль і випарник з'єднані мідними трубками й утворять холодиль­ний контур, усередині якого циркулює суміш фреону і не­значної кількості компресорного масла.

У "теплих" кондиціонерах у холодильний контур додат­ково встановлюється спеціальний клапан, який дає змогу змінювати напрямок руху фреону. Тоді випарник стає кон­денсатором, а конденсатор — випарником, і внутрішній блок кондиціонера нагріває повітря в приміщенні.

Тепловий насос. Прикладом теплового насоса є звичай­ний побутовий холодильник. У ньому тепло з внутрішньої камери переноситься на радіатор. Ми користуємося холодом усередині холодильника, а його радіатор на його задній стінці завжди теплий. Тепловий насос — це холодильник "навпаки". Так само "теплий" кондиціонер — теж тепловий насос. Він переносить тепло з навколишнього середовища в будинок. Але кондиціонери за низьких температур узимку стають неефективними і перестають працювати.



Джерела тепла

Тепловий насос

Споживачі тепла

Мал. 1.74

Практичну теплонасосну систему під назвою "помножу­вач тепла" запропонував лорд Кельвін у 1852 р.

Тепловий насос бере тепло в одному місці, наприклад тепло землі, помножує його й переносить до будинку (мал. 1.74). (Взимку температура ґрунту на глибині кілька ме­трів, навіть за сильних морозів, завжди вища як 0 °С.) Те­плові насоси дають змогу значно економити на опаленні, одержувати гарячу воду та ін.

Головне в темі

"Згоряння палива. Теплові двигуни"

Процес горіння — це хімічна реакція окислення, внаслі­док якої продукти згоряння мають значно більшу внутрішню енергію, ніж речовини, що вступали в цю реакцію.

Енергія, якої набувають продукти згоряння палива, визна­чається кількістю теплоти, що виділяється під час згоряння палива.

Питома теплота згоряння палива чисельно дорівнює кількості теплоти, яка виділяється під час повного згоряння 1 кг палива.

Щоб визначити кількість теплоти, яка виділиться внаслі­док спалювання будь-якої маси палива, необхідно питому те­плоту згоряння палива помножити на його масу:

Q = дш.

В ізольованій системі енергія може перетворюватися з од­нієї форми в іншу, але загальна її кількість не змінюється.

Теплові машини, які перетворюють теплову енергію на ме­ханічну роботу, називають тепловими двигунами.

Щоб знайти ККД теплового двигуна, необхідно корисну ро­боту, виконану двигуном, поділити на кількість теплоти, яка виділилася під час згоряння палива, і помножити на 100 %:

П = ^к£ріоо%.

Я

ПЕРЕВІР СЕБЕ

1. За якою формулою можна ви­значити кількість теплоти, яка виділяється при повному згорян­ні деякої маси палива?

А) Я = гт; Б) Я = Хт; в) Я = Ст; Г) Я = дт.

1. Які величини визначають кількість теплоти, що виділяєть­ся під час згоряння палива?
   1. маса палива;

Б) теплоємність палива;

* 1. питома теплота згоряння палива;

Г) усі три, наведені вище, ве­личини.

1. Одиницею питомої теплоти згоряння палива є...
   1. Дж;

Б) Дж • кг;

* 1. Дж/кг; Г) Дж/К.

1. Яка кількість теплоти виді­литься унаслідок повного зго­ряння 1 л гасу?

А) 34,4 МДж; Б) 43,0 МДж;

В) 52,6 МДж;

Г) 86,0 МДж.

1. У випадку спалювання одна­кової маси соснових дров, чи де­ревного вугілля можна одержа­ти більшу кількість теплоти й у скільки разів?
   1. соснових дров — майже у 3 рази;

Б) деревного вугілля — май­же в 3 рази;

* 1. однакову;

Г) деревного вугілля — у 2 рази.

1. Яке з формулювань закону збереження і перетворення енер­гії в механічних і теплових про­цесах є найбільш повним?
   1. механічна енергія може перетворюватися на внутрішню (теплову) енергію;

Б) внутрішня енергія може перетворюватися на механічну енергію;

* 1. механічна робота може пе­ретворюватися на теплоту;

Г) в ізольованій системі енер­гія може перетворюватися з од­нієї форми в іншу, але загальна її кількість не змінюється.

1. Сталева куля у момент зіт­кнення з бетонною стіною мала швидкість 500 м/с. На скільки нагріється куля унаслідок уда­ру? Вважати, що вся кінетична енергія кулі перетворилася на її внутрішню енергію.
   1. 100 °С; Б) 250 °С
   2. 500 °С Г) 1000 °С.
2. Який з наведених пристроїв не може бути тепловим двигуном?
   1. парова турбіна; Б) дизельний двигун;
   2. карбюратор;

Г) реактивний двигун.

1. Тепловий двигун не може працювати за відсутності ...
   1. нагрівника;

Б) охолодника (холодильни­ка);

* 1. кривошипно-шатунного ме­ханізму;

Г) сопла.

1. ККД теплового двигуна мож­на визначити, знаючи кількість теплоти, виділену нагрівником, і корисну роботу, за формулою ...

я

Асор

Б) п =

В) п =

А) п = (я - А<0р >00%;

100 %;

Акор100 %; я

Г) П = (Акор - Я )100%.

1. Двигун бензопили розвиває потужність 3 кВт. Яку масу бен­зину витрачає бензопила за 5 хв роботи? Вважати, що ККД бен­зопили становить 20 %.

А) 100 г; Б) 200 г; в) 300 г; Г) 400 г.

1. Який такт у чотиритактному двигуні внутрішнього згоряння є робочим?
   1. перший; Б) другий;
   2. третій;

Г) четвертий.



Шг/

іШИИ



ЕЛЕКТРИЧНІ ЯВИЩАл|ІЙЯ

ЕЛЕКТРИЧНІ ЗАРЯДИ. ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ

Нині складно уявити своє життя без електричної енергії. Вже звично, тільки-но зайде Сонце за горизонт, ми натискаємо на вимикач і кімнату заливає світло електричної лампочки. Завдяки електроенергії ми можемо слухати радіо й дивитися телепередачі. Енергія електричного струму приводить у рух потяги метрополітену, трамваї і тролейбуси. Вона допомагає нам прибирати в кімнаті та прасувати білизну. Та хіба можна пере­лічити все, де сьогодні використовується електрична енергія?

Проте минуло багато часу, перш ніж люди навчилися отри­мувати електроенергію в достатній кількості й змусили її пра­цювати на свою користь. Адже спочатку потрібно було з'ясува­ти природу електричних явищ. Тут ви докладніше ознайомите­ся з електричними явищами, їхніми проявами в природі, вико­ристанням у техніці та повсякденному житті.

§ 1. ЕЛЕКТРИЗАЦІЯ ТІЛ. ЕЛЕКТРИЧНИЙ ЗАРЯД

Грецький філософ Фалес Мілетський з подивом спостері­гав, як натертий хутром шматочок бурштину[[7]](#footnote-7) притягує сухі соломинки, пір'їни, пух. Підносячи до натертого кінця палич­ки з бурштину палець, він помічав, що між нею і пальцем про­скакувала іскорка. Вчений тоді й гадки не мав, що між гріз­ним природним явищем — блискавкою і маленькою іскоркоює багато спільного. Адже бли­скавка — теж один із проявів спостережуваного ним явища.

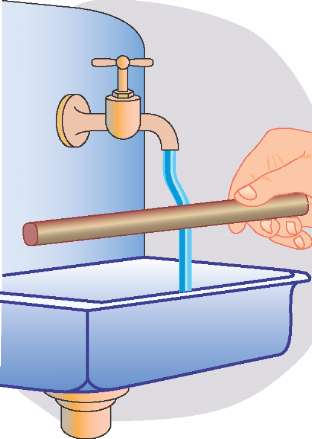
Грецька назва бурштину — "електрон" (мал. 2.1). Тому яви­ще, яке спостерігається під час натирання бурштину і внаслідок якого він набув властивості при­тягувати різні тіла, назвали електризацією. Виявилося, що не лише бурштин, а й багато ін­ших тіл у разі їх натирання набувають таких властивостей. Кажуть, що ці тіла стають наелектризованими або набули електричного заряду. Скло, потерте об шовк, сам шовк, ви­готовлена із сірки куля, яку натирають сухими долонями, та­кож електризуються. Електризація тіл відбувається не лише під час натирання, а й у всіх випадках тісного контактуван­ня різнорідних тіл. Коли тіла труть одне об одне, збільшу­ється площа їхнього стикання і вони краще електризуються. Якщо відрізком гумового шланга вдарити по сухій дошці, він також наелектризується. Папір можна наелектризувати, опро­мінюючи його лазером.

Явища електризації часто спостерігають у повсякденному житті. Знімаючи одяг, виготовлений із синтетичної тканини,

ми помічаємо, що він намагається прилипнути до тіла, чуємо потрі­скування. У темряві можна на­віть помітити іскорки, які про­скакують між ним і тілом люди­ни. Провівши по синтетичному килимку гребінцем, ми бачимо, що на нього налипли дрібні вор­синки. Якщо піднести потерту об папір пластмасову паличку до тонкого струменя води з під кра­на, він відхилиться в бік палич­ки (мал. 2.2). Все це є наслідком електризації.



Мал. 2.1

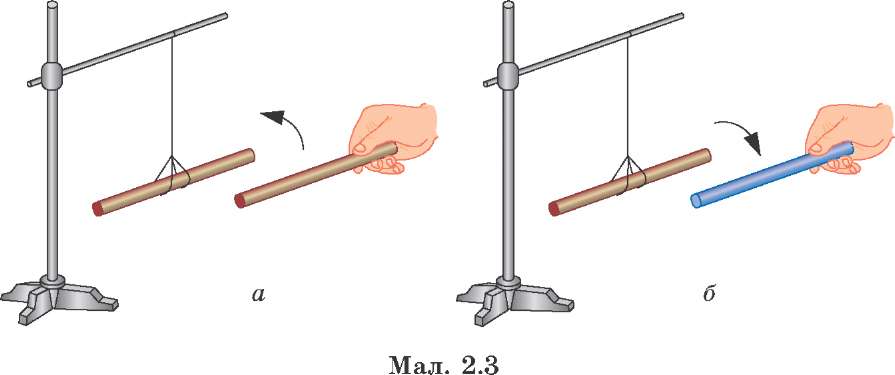


З дослідження електризації Мал. 2.2 почалося вивчення електричних



явищ. Спостереження явища електризації засвідчили, що внаслідок тісного контактування різнорідних тіл у них з'яв­ляється особлива властивість — здатність взаємодіяти з інши­ми наелектризованими тілами. Цю властивість, якої набувають тіла унаслідок електризації, назвали електричним зарядом. В електризації завжди беруть участь два тіла і обидва вони набу­вають електричних зарядів. Коли бурштин натирають шматоч­ком вовни, виникають електричні заряди і в бурштині, і у вовні.

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ



начили знаком "+" — плюс. Цей дослід легко повторити, на­приклад, із скляними та ебонітовими[[8]](#footnote-8) паличками (мал. 2.3, а, б). З'ясувалося, що одні тіла під час електризації набувають позитивного заряду, а інші — негативного.

Є два типи електричних зарядів — позитивні й негативні. Тіла, що мають однойменні заряди, під час взаємодії відштовхуються, а ті, що мають різнойменні заряди, — притягуються.

Електричний заряд можна передати від одного тіла до іншо­го. Якщо доторкнутися зарядженим тілом до незарядженого, то воно втратить частину свого заряду, а друге — його набуде.

Й

У 1733 р. французький фізик Шарль Франсуа Дю- фе (1698—1739 рр.) опублікував статті, в яких опи­сав результати своїх дослідів з електризації різних тіл. З численних експериментів він дійшов виснов­ку, що існують два види електрики. Одна електрика вини­кає при натиранні бурштину (викопної смоли), копалу (теж викопної смоли), воску, шовку і багатьох інших речовин. Ін­ша з'являється при натиранні скла, гірського кришталю, до-

рогоцінних каменів, вовни та ін. Тому першу з них Дюфе назвав смоляною, а другу — скляною електрикою. Тіло, що має кожний із двох видів електрики, притягує до себе легкі тіла (саме ця властивість ще з античних часів позначалася словом "електрика").

Різниця між двома видами електрики, як з'ясував Дюфе, полягає у тому, що тіла, заряджені однаковою (скляною чи смоляною) електрикою, відштовхуються, але якщо одне ті­ло заряджене скляною, а інше — смоляною електрикою, то вони взаємно притягаються.

Так були встановлені фундаментальні для науки про електрику факти: існування двох видів електрики й існу­вання електричних сил притягання і відштовхування.



а б

Мал. 2.4

Американський вчений Бенджамін Франклін (1706— 1790 рр.) інакше назвав ці два види електрики. За Франклі­ном у кожнім тілі є особлива електрична речовина (флюїд, як тоді казали), щось на зразок електричної рідини. Скля­ну електрику (вона притаманна тілам з надлишком елек­тричної рідини) він назвав позитивною, а смоляну (що у тіл з нестачею електричного флюїду) — негативною. Ці назви збереглися до наших днів, як і терміни заряд, розряд та ін., що їх увів в науку про електрику Б. Франклін.

Властивість однойменних зарядів відштовхуватися і те, що заряд можна передати іншому тілу, було використано для створення приладів — електроскопа (мал. 2.4, а) та електроме­тра (мал. 2.4, б). Ці прилади дають змогу виявляти наяв­ність у тіл зарядів і порівню­вати їх між собою.

Якщо доторкнутися до ме­талевої кульки електроскопа зарядженою паличкою, то за­ряд палички частково перейде до кульки стрижня і розташо­ваних на стрижні легеньких листочків. Отримавши одно­йменні заряди, листочки роз­ходяться. Так само відхилить­ся від стрижня, отримавши однойменний із ним заряд, стрілка електрометра.

Доторкнімося до стрижня електрометра кінцем заря­дженої ебонітової палички. Його стрілка відхилиться на деякий кут. Якщо прибиремо паличку, стрілка залишиться відхиленою. Це означає, що стрижень і стрілка електро­метра набули деякого заряду, що перейшов від палички. Ще раз потремо ебонітову па­личку хутром і знову доторк­немося до стрижня того самого електрометра. Стрілка відхи­литься на більший кут. Отже, електричні заряди можуть бу­ти більші та менші, і можна говорити про величину заряду (мал. 2.5, а, б)

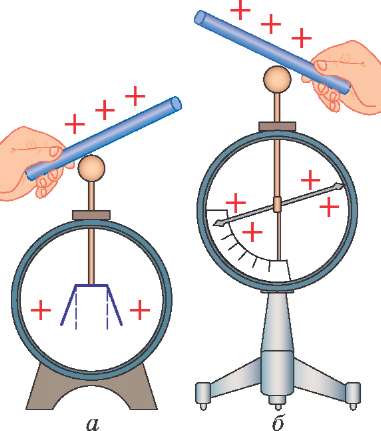
Чим більший заряд — тим більше відхиляється стрілка. У електрометра є шкала, тому за його допомогою можна кількіс­но порівнювати електричні заряди.



Для кількісної характеристики електричного заряду вико­ристовують фізичну величину, яку так само називають елек­тричний заряд і позначають латинською літерою д. Одини­цею заряду в СІ є кулон (Кл). 1 Кл — це дуже великий заряд. Два тіла з зарядами 1 Кл взаємодіяли б між собою (притягу­валися або відштовхувалися) із силою 9 мільярдів ньютонів (9 • 109 Н). З такою силою Земля притягує до себе тіло масою 9 000 000 000 кг (9 000 000 тонн).

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

1. Як можна виявити взаємодію заряджених тіл?
2. Як можна переконатися, що існує два типи зарядів?
3. За допомогою яких приладів можна встановити, що те чи інше тіло має електричний заряд?



Мал. 2.5

1. На чому ґрунтується дія електрометра і електроскопа?

5. Як за допомогою електроскопа, ебонітової палички та сукнини визначити знак заряду тіла?

1. Чому можна вважати електричний заряд фізичною величиною?
2. Пил на вулиці, піднімаючись у повітрі, зазвичай електризується так, що набуває позитивного заряду. Які електричні властивості повинні бути у фарби, щоб перешкоджати осіданню пилу на стіни будинків?

— г 1. Візьміть два аркуші паперу з учнівського зошита та при­, і і близно такого самого розміру дві поліетиленові плівки. Плівки ^ Г можна вирізати з пакетів або старої обгортки для зошита, щ Ь Піднесіть поліетиленові плівки одна до одної, тримаючи за ' 4 верхні краї або кінчики (вони мають вільно звисати), потріть одна об одну. Так само піднесіть один до одного листки паперу, потріть їх один об одний.

Повторіть ці досліди, але тепер поліетиленові плівки потріть об арку­ші паперу. Опишіть результати дослідів і зробіть висновки.

* 1. Знаючи, що на органічному склі, пластмасі, потертій об суху газе­ту, виникає позитивний заряд, спробуйте за допомогою лійки або косин­ця, виготовленого з цих матеріалів, визначити знаки зарядів на плівках і папері.

Проробіть подібні досліди з тілами, виготовленими з інших матеріа­лів: гумовими повітряними кульками, пінопластовими пластинками, нати­раючи їх газетним папером, іншими матеріалами. Які висновки можна зробити з цих дослідів?

* 1. Швабру (круглу довгу палку) зрівноважте так, щоб вона могла лег­ко обертатися, наприклад на верхній дерев'яній перекладинці спинки стільця. Потріть кінець пластмасової лінійки об клаптик газети й піднесіть до кінця ручки швабри, не доторкуючись до неї. Ви помітите, що швабра поволі повертається. Повторіть дослід, скориставшись кульковою ручкою чи фломастером. Про що свідчать ці досліди?

Сконструювати і виготовити електроскоп зовсім нескладно. Для захисного корпусу приладу скористаємося скляною банкою або пляшечкою місткістю 0,25—0,5 л з некольорового скла. Потрібен також відрізок алюмінієвого чи мідного дроту діаметром 1,5— 3 мм і довжиною 10—15 см; поліетиленова кришка, якщо використовуєть­ся скляна банка, або пробка (гумова, пластмасова, коркова); смужка алю­мінієвої фольги. Вирівняйте дротину й за допомогою плоскогубців або пінцета зігніть один її кінець так, як показано на мал. 2.6. До цього кінця будемо підвішувати дві станіолеві стрічки шириною приблизно 4 мм і дов­жиною 50—60 мм.



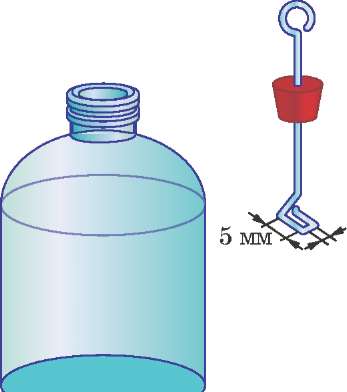
Прокрутіть шилом наскрізний отвір у пробці, пропустіть крізь нього ін­ший кінець дротини і зігніть його кільцем. Виріжте ножицями дві вузень-

C:\Users\NDU\AppData\Local\Temp\FineReader10\media\image125.jpeg

,1В

4 мм"Ч

Мал. 2.6



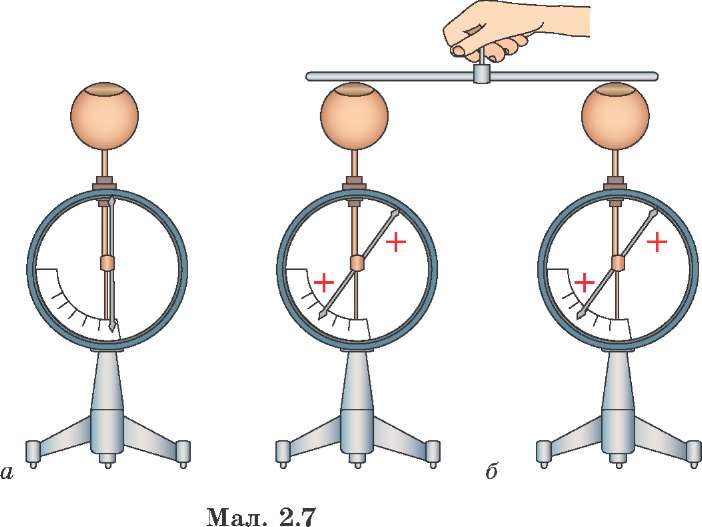
1 мм

кі станіолеві стрічки. Обігнувши один їхній кінець навколо горизонтальних осей на нижньому кінці дротини, підвісьте стрічки так, щоб вони вільно звисали. Опустіть стрічки у банку й зафіксуйте пробку (див. мал. 2.6 ).

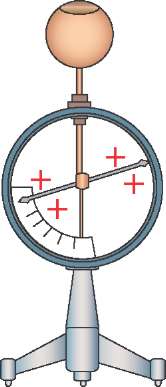
За допомогою електроскопа дослідіть виникнення зарядів на різних тілах унаслідок їх електризації та з'ясуйте їхні знаки. Враховуйте, що пластмасова лінійка, потерта об папір, набуває позитивного заряду.

§ 3. ПОДІЛЬНІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНИХ ЗАРЯДІВ

Розмістимо поряд два однакових електрометри із встано­вленими на них порожнистими металевими кулями. Зарядимо один з електрометрів, доторкнувшись до нього наелектризова­ною паличкою (наприклад, ебонітовою) (мал. 2.7, а). З'єднав­ши заряджений і не заряджений електрометри дротиною, три­маючи її за ручку, виготовлену з ебоніту або скла, виявимо, що заряд поділиться навпіл (мал. 2.7, б). Стрілка зарядженого електрометра дещо опаде, а незарядженого — відхилиться на такий самий кут. Заберемо дротину і, доторкнувшись пальцем до стрижня одного з електрометрів, розрядимо його. Знову з'єднавши електрометри, одержимо на них четверту частину початкового заряду. Можна дослід повторювати ще, щоразу залишаючи на одному з електрометрів дедалі менший заряд. Проте з'ясувалося, що нескінченно ділити заряд тіла немож­ливо.



Результати проведених вченими досліджень свідчать: існує найменший електричний заряд, який далі не ділиться. Такий найменший негативний заряд є в однієї з елементарних ча­стинок, яка входить до складу атома, — електрона. Було та­кож відкрито частинку, що має найменший позитивний за­ряд, — протон. Числове значення заряду протона таке саме, як і заряду електрона — 1,6 • 1019 Кл.



Коли з'єднують однакові заряджену і незаряджену кулі, то заряд ділиться навпіл. А як ділиться заряд, якщо тіла мають різні розміри? Це легко перевірити, встановивши на електро­метри кулі різного діаметра. Виявляється, якщо заряджену кулю малого діаметра з'єднати з кулею великого діаметра, то на останню перейде більша частина заряду. Чим більше тіло, якому передають заряд, тим більша частина заряду на нього переходить. За розмірами тіло людини значно більше, ніж ку­ля, встановлена на електрометрі. Тому доторкнувшись до неї пальцем, ми майже повністю її розряджаємо. Саме на цьому ґрунтується дія заземлення. Розміри будь-якого тіла на Землі значно менші, ніж Землі. Тому, якщо будь-яке тіло, що має заряд, з'єднати із Землею, воно практично повністю втратить заряд.

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

1. Як можна довести, що електричний заряд тіла можна ділити на частини?
2. Чи можна ділити електричний заряд тіла до нескінченності?
3. У якої частинки найменший негативний електричний заряд?
4. У якої частинки найменший позитивний електричний заряд?
5. На чому ґрунтується дія заземлення?
6. Чи може у деякої частинки бути заряд: а) що дорівнює подвійному заряду електрона; б) що у півтора рази перевищує заряд електрона;

1

в) що дорівнює — заряду електрона?

3

1. До підвішеної на шовковій нитці тонкої станіолевої гільзи піднесли заряджену скляну паличку. Гільза спочатку притягнулася до неї, а потім, після дотику, відхилилася від палички. Як це пояснити?

§ 4. ЗАКОН ЗБЕРЕЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ЗАРЯДУ

Виникає питання, як же з'являється у тіла той чи інший заряд? Яка природа електризації?

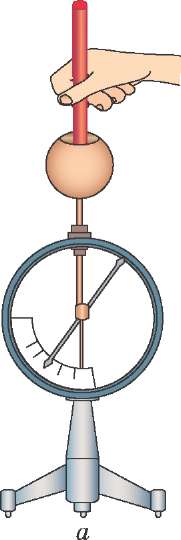
Спочатку доведемо, що у процесі електризації заряджають­ся обидва тіла. Скористаємося пластинкою з органічного скла і ебонітовою паличкою. Доторкнувшись ними по черзі до стриж­ня електрометра, переконаємося, що ні паличка, ні пластин­ка не мають електричного заряду. Встановимо на електрометр зрізану порожисту кулю-кондуктор. Потремо ебонітовою па­личкою пластинку з органічного скла, і по черзі вводитимемо їх у сферичний кондуктор. Кожного разу стрілка електрометра відхиляється на один і той самий кут (мал. 2.8, а, б). Внесемо в кондуктор паличку і пластинку одночасно. Стрілка електро­метра не відхиляється (мал. 2.8, в). Виймемо ебонітову палич­ку з кондуктора, залишивши пластинку органічного скла, — стрілка відхилиться. Внесемо паличку — стрілка опаде. Вий­мемо пластину органічного скла — стрілка електрометра зно­ву відхилиться.

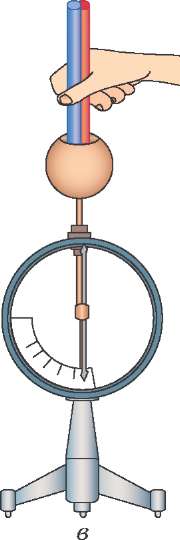


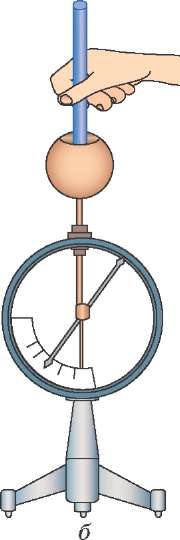
На підставі результатів цього досліду можна дійти таких висновків.

* 1. Унаслідок натирання одного тіла іншим обидва ті­ла електризуються.
  2. Заряди, що їх набувають тіла, мають однакові зна­чення, але протилежні за знаком.
  3. Алгебраїчна сума зарядів, що їх одержують обидва тіла внаслідок взаємодії, залишається сталою (нуль).

Явище електризації вчені пояснили в кінці XIX — на по­чатку XX ст., коли з'ясували будову атома. Ви вже знаєте, що атоми різних елементів мають масивне позитивно заряджене ядро. Воно складається з протонів і нейтронів. Позитивний заряд ядра дорівнює сумі зарядів протонів. Нейтрони не мають електричного заряду. Маси протонів і нейтронів майже одна­кові. Вони утримуються в ядрі завдяки дії особливих ядерних сил. Ядерні сили значно більші, ніж електричні сили відштов­хування однойменно заряджених протонів.



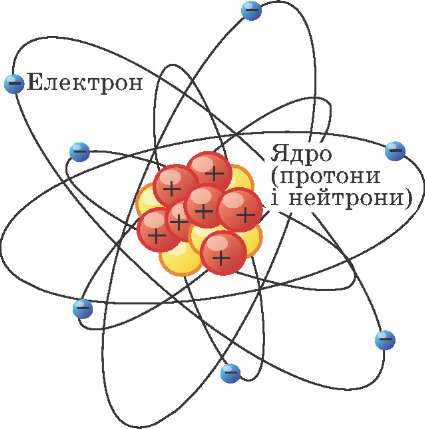




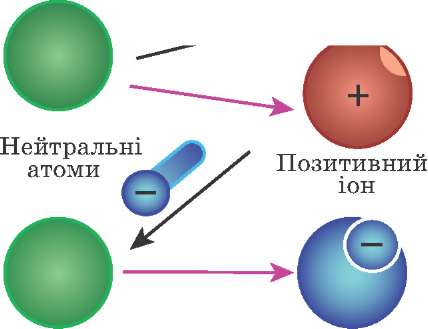
Мал. 2.8

Ядро оточене електронною оболонкою (мал. 2.9). Кількість електронів у електронній оболонці атома дорівнює кількості протонів. Електрони мають такі самі за значенням, як і прото­ни, але негативні заряди. Тому атом загалом не має електрич­ного заряду. У нього сумарний позитивний заряд протонівкомпенсується сумарним нега­тивним зарядом електронів.

Тіла складаються з атомів, і за звичайних умов вони ней­тральні — не мають електрич­ного заряду. Маса окремого електрона дуже мала, майже у 1840 разів менша за масу про­тона. Зменшення чи збільшен­ня маси тіла унаслідок втрати або приєднання ним навіть ба­гатьох електронів непомітне. Проте, якщо з якоїсь причини атом втратить один або кілька електронів, у ньому переважа­тиме позитивний заряд прото­нів і атом стане зарядженим позитивно. Атом, який втратив електрони, називають позитивним іоном. Атом може приєдну­вати електрони. Такий атом стає негативним іоном. Схематич­но процеси іонізації атома відображено на мал. 2.10.



Мал. 2.9



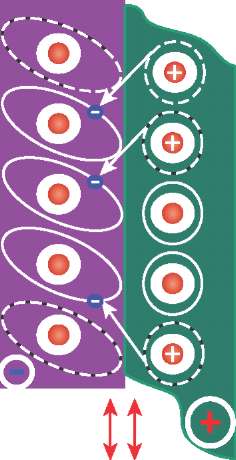
Електрон >0

Негативний іон

Мал. 2.10

Результати проведеного досліду з електризації тертям ебо­нітової палички та пластинки з органічного скла свідчать, що відбувається перерозподіл зарядів між тілами, які початково були нейтральними. Під час тісного контакту різнорідних тіл їхні атоми обмінюються електронами. В одних

Ебоніт Оргскло



Мал. 2.11

речовинах електрони не так сильно зв'язані із своїми атомами, як у інших. Тому частина електронів одного тіла переходить до іншого. Коли ми роз'єднуємо два різнорідні тіла, в одному із них, наприклад органічному склі, електронів залишаєть­ся менше, а в іншому (ебонітовій паличці) — більше. Заряд оргскла стає позитивним, а ебонітової палички — негативним. Схематично процес електризації можна зобразити так, як по­казано на мал. 2.11.

Тертя одного тіла об інше збільшує площу поверхонь, що дотикаються. Відповідно збільшується й кількість електронів, які можуть переміститися з одного тіла до іншого. Нові заря­джені частинки не виникають, а ті, що існували раніше, ніку­ди не зникають. Алгебраїчна сума зарядів, які виникли у про­цесі електризації, залишається незмінною і дорівнює нулю.

Якщо система тіл ізольована і не може обмінюватися елек­тричними зарядами з іншими тілами, що не входять до цієї системи, то вона вважається замкнутою. Для такої системи справджується закон збереження електричного заряду.



У замкнутій системі алгебраїчна сума зарядів, яких набувають тіла унаслідок будь-якого процесу, залишається сталою.

Зауважимо, що зарядів як таких у природі не існує. Термі­ни "заряд", "обмін зарядами", "перерозподіл зарядів" вжива­ють для спрощення. При цьому мають на увазі частинки (елек­трони, протони та ін.) з особливими властивостями, які ми й називаємо електричними зарядами. Негативний заряд тіла визначається надлишком електронів порівняно з кількістю протонів у ньому, позитивний — більшою кількістю протонів, ніж електронів.

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

* + 1. Як можна довести, що в процесі електризації заряду набувають обидва тіла, які беруть участь у цьому процесі?
    2. Пояснити процес електризації тіл на підставі уявлень про будову атомів, з яких вони складаються.
    3. Що таке іон? Як утворюються іони?
    4. У чому полягає закон збереження електричного заряду?
    5. Чи є електричні заряди в не наелектризованих тілах?
    6. Чи можна вважати правильним таке висловлювання: при натиран­ні одного тіла іншим створюються електричні заряди? Як це сказати точніше?
    7. Чи завжди одне й те саме тіло через тертя або тісний контакт з нейтральними предметами з інших речовин унаслідок електризації, набуває заряду одного й того ж самого знака?
    8. Дві краплини води, одна з яких мала позитивний заряд 10 нКл, а інша — негативний -20 нКл, злилися в одну краплю. Яким став заряд нової краплі?
    9. Дві однакові кульки мають заряди: одна 8 мкКл, друга



2 мкКл. Кульки з'єднали між собою і розвели. Який заряд у кожної з них після роз'єднання?

§ 5. ВЗАЄМОДІЯ ЗАРЯДЖЕНИХ ТІЛ. ЗАКОН КУЛОНА

Тривалий час дослідники лише описували, яких зарядів набувають тіла за тих чи інших умов, відкривали нові пари ре­човин, які електризуються, набуваючи того чи іншого заряду. Висувалися різні гіпотези щодо пояснення електричних явищ та особливостей їхньої взаємодії.

Результати досліджень взаємодії заряджених тіл свідчать, що сили взаємодії між ними істотно залежать від розмірів і форми тіл. Якщо розміри зарядже­них тіл дуже малі порівняно з від­станню між ним, то сили електрич­ної взаємодії можна описати досить просто. Заряджені тіла, розмірами яких можна знехтувати порівня­но з відстанню між ними, назива­ють точковими зарядами.

У 1785 р. французьким ученим Ш. Кулоном (1736—1806 рр.) експе­риментально встановлено закон взає­модії для двох точкових зарядів.



Він досліджував пружні власти­вості тіл і відкрив закон пружного кручення та винайш°в чутливі кру- Шарль Огюстен Кулонтильні терези, які давали змогу вимірювати малі сили. Ці тере­зи й були використані для дослідження взаємодії маленьких за­ряджених кульок, які можна було вважати точковими зарядами.

Унаслідок кропіткого експерименту Ш. Кулон встановив закон, який дав змогу розпочати кількісні дослідження елек­тричних явищ.

Сили, з якими взаємодіють два нерухомі точкові заряди, прямо пропорційні добутку значень цих зарядів і обернено пропорційні квадрату відстані між ними.

Якщо заряди тіл позначити відповідно і д2, а відстань між ними г, то закон Кулона можна записати у такому вигляді:

V =

г 2

Тут й — коефіцієнт пропорційності, який залежить від вибору системи одиниць і середовища, в якому знаходяться заряди.

У СІ одиницею заряду є кулон, а одиницею відстані — метр. Якщо заряд кожного з точкових тіл дорівнює 1 Кл, а відстань між ними — 1 м, то й можна легко визначити:

~Ег2 г2 1 м2 й = = V = V-

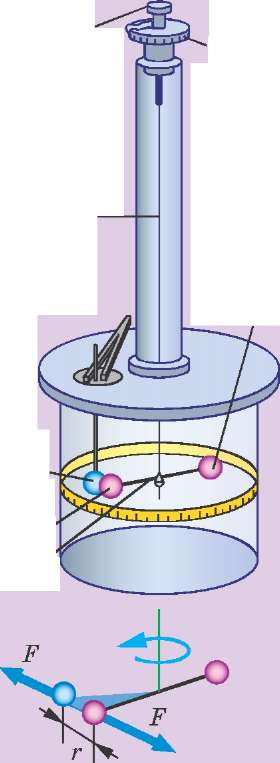
Ч1Ч2 Ч1Ч2 1 Кл • 1 Кл

Отже, й чисельно дорівнює силі, з якою взаємодіяли б два точ­кові тіла, що мають заряд 1 Кл кожне, розташовані на відста­ні 1 метр. Якщо точкові заряди розміщені у вакуумі, то сила взаємодії між ними дорівнює 9 000 000 000 Н = 9 • 109 Н. То­му в СІ й = 9 000 000 000 Н • м = 9 109 Н •м

Кл2 Кл2

Коли точкові заряди знаходяться у повітрі, взаємодія між ними практично не відрізняється від їхньої взаємодії у вакуумі. А от гас, трансформаторне масло, слюда, скло послаблюють взаємодію між точковими зарядами у кілька разів.





Голівка

Лімб

Тонка срібна дротина

Противага

Кулька на стрижні

Кулька на коромислі

Коромисло

Мал. 2.12

Ви, мабуть, помітили, що закон Кулона, який визначає сили взаємодії між тілами і частинками, які мають заряди, нагадує закон всесвітнього тяжіння. Сили всесвітнього тяжін­ня так само спричиняють взаємодію тіл, але завдяки іншій властивості — масі. Проте гравітаційна і електрична взаємо­дії істотно розрізняються. Заряджені тіла можуть як притя­гуватися, так і відштовхуватися залежно від знаків їхніх за­рядів. Гравітаційні сили — це завжди сили притягання. Сили електричної взаємодії значно більші, ніж гравітаційні. Помі­тити гравітаційну взаємодію між двома ебонітовими паличка­ми неможливо. Проте достатньо потерти ці палички, підвіше­ні на нитках, клаптиком вовняної тканини, і вони починають відштовхуватися.

Конструкція крутильних (їх ще називають торсій- ними) терезів, виготовлених Ш. Кулоном, зображена на мал. 2.12. На довгій тонкій срібній нитці під­вішене легеньке коромисло, на кінцях якого закріп­лені й урівноважені маленькі металеві кульки. У верхній частині корпусу приладу є отвір, через який уводилась, закріплена на металевому стрижні, така сама кулька, як і на коромислі. Куль­ку на стрижні заряджали. Кульки, дотикаючись одна до одної, набували однако­вих зарядів і відштовхува­лися одна від одної на дея­ку відстань.

Срібна дротина закручу­валася на деякий кут. За кутом повороту коромисла можна визначати сили пру­жності, які виникали в срібній дротині і, відповід­но, сили електричної взає­модії, що діяли на кульки при різних відстанях між ними. Виявилося, що сили їхньої взаємодії обернено пропорційні квадрату від­станей між ними: 1

\* ~ -2 • г

1. Які заряди називають точковими?
2. Сформулюйте закон Кулона.
3. Чому чисельно дорівнює коефіцієнт пропорційності в законі Кулона?
4. Чим розрізняються гравітаційна і електрична взаємодії?
5. Відстань між двома точковими зарядами збільшилася у два рази. Як змінилися сили взаємодії між ними?
6. Заряд кожного з точкових тіл збільшили в два рази, як змі­нилися сили взаємодії між ними?
7. З якою силою взаємодіють два електрони, якщо вони знаходяться на відстані 1 м один від одного у вакуумі?



Скориставшись тим, що заряд, якого набувають кульки, можна поділити у 2, 4 і т. д. разів (пригадайте, як ділився заряд на однакових електрометрах), Ш. Кулон встановив: сили, з яким взаємодіють два точкові заряджені тіла, пря­мо пропорційні добутку їхніх зарядів:

р ~ ?1?2.



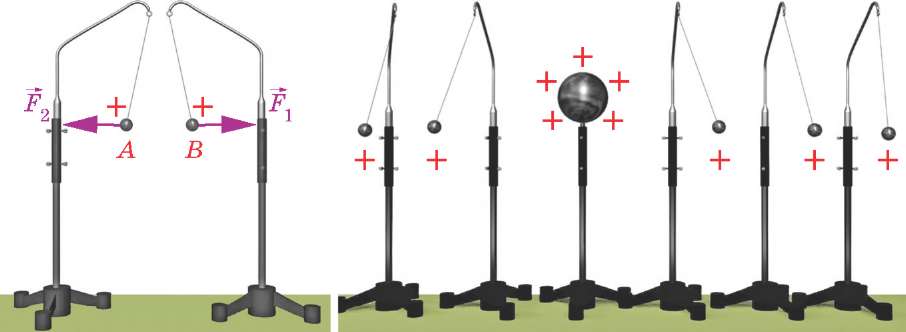
?

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

1. Два тіла, які мають заряди 4 • 10-9 Кл кожне, розташовані на від­стані 40 см одне від одного. Визначте електричні сили взаємодії між ци­ми тілами.
2. Дві однакові кульки, які можна вважати точковими, мають заряди = 4 • 108 Кл і ц2 = 8 • 108 Кл і розміщені на відстані 30 см одна від од­ної. Яка електрична сила діє на кожне з цих тіл? Які сили діятимуть між ними, якщо їх доторкнути одне до одного, а потім знову розвести на ту саму відстань?

§ 6. ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ

Ви вже помітили, що, як і у разі гравітаційної взаємодії, заряджені тіла можуть взаємодіяти на відстані. Про це свід­чить притягання й відштовхування заряджених паличок, ку­льок, підвішених на шовкових нитках (мал. 2.13). У цих ви­падках взаємодію наелектризованих тіл спричинює електрич­не поле — особливий вид матерії.



Мал. 2.13 Мал. 2.14

За сучасними уявленнями, кожне заряджене тіло або заряджена частинка змінює навколо себе властивості про­стору — створює особливий вид матерїі — електричне поле. Це поле проявляє себе тим, що на кожен вміщений у нього електричний заряд воно діє силою, яку називають електрич­ною силою. Поле заряду А діє силою Е1 на заряд В і, навпаки, поле заряду В діє силою на заряд А.

Силу, з якою поле одного точкового заряду діє на інший за­ряд, можна визначити за законом Кулона. Очевидно, дія поля залежить від значення заряду, який його створює, й відстані до цього заряду. Переконатися в цьому можна, скориставшись легенькими зарядженими кульками, підвішеними на шовко­вих нитках (мал. 2.14). Чим сильніше діє електричне поле на заряджену кульку, тим на більший від вертикалі кут відхи­ляється кулька на нитці.

Електричне поле виникає разом із зарядом і поширюється в просторі навколо нього з величезною, але певною швидкі­стю — швидкістю світла. Ця швидкість становить приблиз­но 300 000 км/с.

Діючи на заряджені частинки, сили електричного поля мо­жуть зумовлювати їхнє переміщення в просторі. Електричне поле, як і гравітаційне, володіє енергією і може виконувати роботу. Під дією сил електричного поля можуть переміщува­тися тіла і частинки, які мають заряди.

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

* 1. Чим відрізняється простір навколо зарядженого тіла від простору навколо незарядженого тіла?
  2. Що розуміють під поняттям "електричне поле"?
  3. Як можна виявити електричне поле?
  4. Як передається дія одного зарядженого тіла іншому?

§ 7. ПРОВІДНИКИ, НАПІВПРОВІДНИКИ, ДІЕЛЕКТРИКИ

Під час проведення досліду, що демонструє подільність електричного заряду, заряджений і незаряджений електроме­три з'єднували металевою дротиною, тримаючи її за ебонітову ручку. При цьому електричний заряд електрометра ділився навпіл. Частина заряду зарядженого електрометра переходила до іншого, незарядженого. Якщо замість дротини скористати­ся шовковою або капроновою ниткою, перерозподіл зарядів не відбуватиметься. Заряд по капроновій нитці не передається. Так само заряд не перейде від першого до другого електроме­тра, якщо їх з'єднати скляною трубкою.

Ви легко наелектризуєте пластмасову лінійку, якщо, три­маючи один її кінець в руці, інший потрете папером. Але на­електризувати у такий спосіб латунну трубку ви не зможете. Проте можна скористатися латунною трубкою, насадженою одним кінцем на ебонітову паличку. Тримаючи ебонітову ча­стину в руці, потріть латунну частину гумою. Піднісши труб­ку до електрометра, ви переконаєтесь у тому, що вона наелек­тризувалася.

Щоб розрядити електрометр або електроскоп, доторкніться до нього пальцем. Можна розрядити ці прилади, доторкнув­шись до них одним кінцем металевого стрижня, тримаючи другий кінець у руці. Проте розрядити у такий спосіб електро­метр, якщо замість металевого стрижня використати скляну паличку, не вдасться.



На підставі цих дослідів можна дійти висновку: є речови­ни, у яких електричні заряди можуть переміщуватися, а є та­кі, що у них заряди не переміщуються.

У 1729 р. англійські вчені Стівен Грей та Гренвіл Уілер виявили здатність деяких речовин проводити електричні заря­ди та першими вказали на те, що всі тіла можна поділити на провідники і непровідники електрики. Ви вже знаєте, що заряду самого по собі не існує. Є частинки з позитивними та негативними зарядами.

Речовини, в яких заряджені частинки можуть перемі­щуватися, називають провідниками.

Гарними провідниками є метали, особливо срібло, мідь, алю­міній, золото, розчини солей, лугів, кислот. Людське тіло, ґрунт теж є провідниками, хоч і гіршими порівняно з металами.

Речовини, в яких заряджені частинки не можуть пере­міщуватися, називають діелектриками або ізоляторами.

Хорошими ізоляторами є скло, деякі пластмаси, ебоніт, слюда, янтар (бурштин), фарфор та ін. Діелектричні властиво­сті притаманні повітрю та деяким рідинам.

Ми вже з'ясували, що заряд — це певна властивість еле­ментарних частинок, зокрема електронів і протонів. Протони містяться в ядрах атомів. Лише атом Гідрогену має ядро, що складається з одного протона, навколо якого рухається один електрон. Атом загалом нейтральний. Заряд мають іони, які утворюються з атомів унаслідок втрати або приєднання над­лишкових електронів. Коли йдеться про переміщення заряду, як правило, мають на увазі переміщення електронів і (або) іо­нів. У твердих кристалічних тілах атоми (іони) розміщені у вузлах кристалічної ґратки і переміщуватися не можуть. Тому перенесення зарядів відбувається унаслідок руху електронів. У провідниках — рідинах — відбувається переміщення позитив­них і негативних іонів.

Крім того, є речовини, які прийнято називати напівпровід­никами. Така їх назва свідчить про те, що вони займають про­міжне місце між провідниками і діелектриками. Особливістю напівпровідників є те, що їхні провідні властивості істотно залежать від зовнішніх умов: температури, освітленості та ін. За низьких температур, у темряві вони можуть бути ізолято­рами. З підвищенням температури, у разі опромінення їхня провідність значно краща. Саме це є головною ознакою, що від­різняє їх від провідників і діелектриків. До напівпровідників належать кремній (8і), германій (Ое), селен (8е), з'єднання ар­сенід галія та ін.



Напівпровідники широко використовують у сучасній елек­тронній апаратурі. Одним з визнаних у світі центрів дослід­ження напівпровідників є Інститут фізики напівпровідників імені В.Є. Лашкарьова НАН України.

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

* + 1. Які речовини належать до провідників?
    2. Які речовини вважаються діелектриками?
    3. Як можна пояснити різну провідність провідників і діелектриків?

3. Що таке напівпровідники?

* + - 1. Наведіть приклади речовин, які належать до провідників, діелек­триків.
      2. Чому можна легко наелектризувати ебонітову й скляну палички, а латунну трубку можна наелектризувати, тільки тримаючи за ебонітову ручку?
      3. Чому, коли проводять дослід з подільності зарядів, дротина, якою з'єднують електрометри, повинна мати ручку з діелектрика?

Головне в темі

"Електричний заряд. Електричне поле"

Явище, унаслідок якого тіла набувають здатності притягу­вати різні інші тіла, називають електризацією.

Властивість, якої набувають тіла унаслідок електризації, назвали електричним зарядом.

Електричним зарядом також називають фізичну величи­ну, яка чисельно характеризує електричний заряд. Її познача­ють літерою д.

Є два типи електричних зарядів — позитивні й негативні. Тіла з однойменними зарядами під час взаємодії відштовху­ються, а з різнойменними — притягуються.

Найменший негативний заряд має електрон, а найменший позитивний — протон.

У замкнутій системі алгебраїчна сума зарядів, яких набу­вають тіла унаслідок будь-якого процесу, залишається сталою.

Заряджені тіла, розмірами яких можна знехтувати порів­няно з відстанню між ними, називають точковими зарядами.

Сили, з якими взаємодіють два нерухомі точкові заряди, прямо пропорційні добутку значень цих зарядів і обернено про­порційні квадрату відстані між ними: ^ = Ь ^ ^[[9]](#footnote-9) .

г 2

Кожне тіло або частинка з електричним зарядом змінюють навколо себе властивості простору — створюють особливий вид матерії — електричне поле.

Електричне поле проявляє себе тим, що на кожен вміще­ний у нього електричний заряд воно діє силою, яку називають електричною силою. Поле одного заряду діє на інший заряд і навпаки.

Електричне поле виникає разом із зарядом і поширюється в просторі навколо нього з величезною, але певною швидкі­стю — швидкістю світла. Ця швидкість становить приблизно 300 000 км/с.

Залежно від властивості проводити електричні заряди всі речовини ділять на провідники, напівпровідники та діелек­трики (непровідники).

ПЕРЕВІР СЕБЕ

Г) унаслідок тертя одне об од­не на тілах виникають позитивні й негативні заряди.

* + - * 1. На якому явищі базується дія електроскопа?

відштовхування різно­йменних зарядів;

Б) притягання однойменних зарядів;

відштовхування одноймен­них зарядів;

Г) електризація дотиком.

* + - * 1. Як називається частинка з най­меншим (неподільним) від'єм­ним електричним зарядом?

А) діелектрик; Б) електрон;

В) протон; Г) електрометр. 5 Які речовини е провідниками?

атоми або молекули яких можуть вільно переміщуватися;

Б) які мають електричний за­ряд;

в яких е електрони та про­тони;

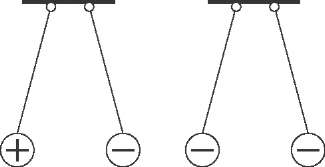
Г) в яких електрони або іони можуть вільно переміщуватися.

Які елементарні частинки вхо­дять до складу атома?

позитивно заряджене ядро і електрони;

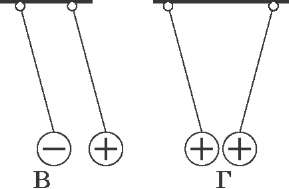
Б) іони і електрони;

протони і електрони; Г) нейтрони і протони.



А

Б



На якому з малюнків пра­вильно зображено взаємодію за­ряджених тіл?

8. Одиницею фізичної величини "заряд" є...

Дж; Б) Н;

Кл; Г) Вт.

Відстань між двома точковими зарядами збільшилася у 2 рази. Як змінилися сили взаємодії між ними?

збільшилися у 2 рази; Б) зменшилися у 2 рази;

збільшилися у 4 рази; Г) зменшилися у 4 рази.

<?1<?2 ;

Яка з формул виражає закон Кулона?

А) Е = к

2

г2 ;

Б) Е = О

В) Е = к^;

г

Г) Е = Ш.

Доповніть такий вислів: електричне поле — це вид мате­рії, якій властиво...

діяти на всі тіла;

Б) діяти на тіла, які мають електричні заряди;

діяти тільки на точкові за­ряди;

Г) діяти тільки на позитивні заряди.

Дві однакові кулі мають за­ряди Q1 = 16 мкКл і Q2 = 4 мкКл. Кулі доторкнули одна до одної, а потім розвели. Які заряди зали­шилися на кожній з куль?

= 4 мкКл

і Q2 = 16 мкКл; Б) = 6 мкКл і Q2 = 6 мкКл;

Q1 = 10 мкКл

і Q2 = 10 мкКл; Г) = 20 мкКл і Я2 = 20 мкКл.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ

§ 8. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ

Електричні явища відіграють велике значення в житті людей. Це зумовлене тим, що вчені винайшли способи керува­ти рухом електричних зарядів, навчилися одержувати і під­тримувати електричний струм.

Слова струм і струмінь в українській мові означають потік, переміщення рідини, газу, сипкої речовини, що відбувається у певному напрямку.

Що ж таке електричний струм? Що і завдяки чому може пе­реміщуватися у певному напрямку в дротах, по яких струм надходить від електростанцій до електричних лампочок, елек­тродвигунів та багатьох інших споживачів електричної енергії?

Електричним струмом називають напрямлений

(упорядкований) рух заряджених частинок.

Щоб виник струм, повинні виконуватися певні умови.

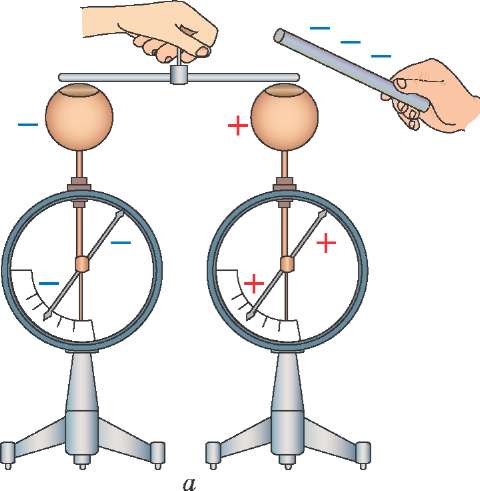
По-перше, струм може виникнути, якщо в середовищі є заряджені частинки, які можуть вільно рухатися і перехо­дити від одного тіла до іншого. Такі частинки є в провідни­ках електричного струму: металах, розчинах багатьох речо­вин, їх розплавах та ін.

По-друге, щоб рух частинок був упорядкований, на них у певному напрямку повинна діяти електрична сила.

Виконаємо такий дослід. Два незаряджені електрометри з порожнистими металевими кулями-кондукторами з'єднаємо, як і раніше, дротиною з ручкою, виготовленою з ізолятора. Дротина й кулі є провідниками. Натремо ебонітову паличку хутром і наблизимо до однієї з куль, не доторкуючись до неї. Стрілки обох електрометрів відхиляться (мал. 2.15, а). Отже, на них виник електричний заряд.

Приберемо з'єднувальну дротину, а потім і паличку. Обид­ва електрометри залишаються зарядженими (мал. 2.15, б).

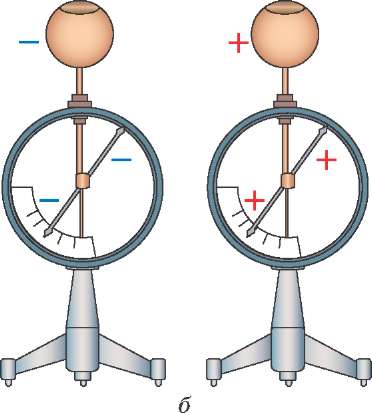
Одержати заряд від палички електрометри не могли. Ебо­нітова паличка не доторкалася до жодного з них. Згідно з законом збереження електричного заряду, в замкнутій системі двох незаряджених електрометрів сумарний заряд має зали-



Мал. 2.15

шатися незмінним і дорівнювати нулю. Тому заряди, які з'явилися на електрометрах, мають бути рівними за значенням і протилежними за знаком. Якщо це так, то після з'єднання електрометрів провідником (дротиною з ручкою) їхні стрілки повинні повернутися у вихідне положення — обидва електро­метри розрядяться. Легко переконатися, що все так і відбу­вається.

Пояснити це явище можна досить просто. У провідниках, якими є металеві кулі, дротина, стрижні й стрілки електроме­трів, є частинки з електричним зарядом, які можуть вільно переміщуватися. Наелектризована паличка утворює у просто­рі навколо себе електричне поле, яке діє на ці частинки елек­тричною силою і спричиняє їхнє переміщення.



Наелектризована ебонітова паличка має негативний заряд. Тому негативно заряджені частинки у полі, створеному палич­кою, зміщуються в провідниках у напрямку від палички, а позитивно заряджені частинки — до неї. Проте протони міс­тяться в ядрах атомів, які в твердому тілі переміщуватися не можуть. Вільні електрони під дією сил електричного поля руха­ються в напрямку до більш віддаленого від палички електро­метра. На його кулі, стрижні й стрілці виникає надлишок електронів порівняно з кількістю протонів. Тому більш відда­лений електрометр набуває негативного заряду, а ближчий допалички — такого самого, але позитивного заряду. Якщо заб­рати з'єднувальну дротину, такий розподіл залишиться.

Отже, електричне поле в провіднику зумовлює впорядко­ваний рух заряджених частинок, завдяки якому відбуваєть­ся перерозподіл зарядів і з'являється електричний струм. Що­правда, такий струм існує лише дуже короткий час.

Якщо прибрати паличку і знову з'єднати кулі електроме­трів дротиною, стрілки обох електрометрів опадуть. Сили, які діють на заряджені частинки в кулях і дротині, тепер зумовле­ні полями заряджених куль електрометрів. Поле позитивно за­рядженої кулі спричиняє притягання до неї негативних заря­дів і їхній рух у зворотному напрямку.

Електричні сили діють доти, поки існують поля куль. Про­тягом цього часу й існує струм у з'єднувальній дротині. Коли заряд кожного з електрометрів стає рівним нулю, струм зни­кає. Оскільки такий струм існує протягом дуже короткого про­міжку часу, використати його практично неможливо.



Щоб струм існував тривалий час, необхідно, щоб увесь цей час у провіднику існувало електричне поле.

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

1. Що називають електричним струмом?
2. Які передумови існування електричного струму?
3. Чому одна з умов існування струму в провіднику — це наявність у ньому електричного поля?
4. Чому в наведеному вище досліді з електрометрами струм корот­кочасний?
5. Що потрібно для того, щоб струм у провіднику існував тривалий час?

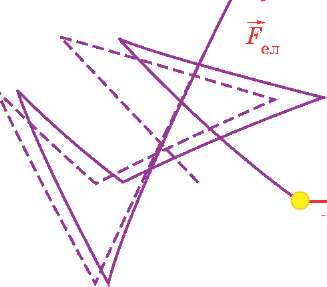
§ 9. СТРУМ У МЕТАЛАХ

Найчастіше як провідники використовують такі метали: мідь, алюміній, залізо. Гарна провідність струму металами по­яснюється особливістю їх кристалічної будови. У вузлах кри­сталічної ґратки металів знаходяться позитивні іони — атоми,

розділ 2. електричні явища

^ОсО^О

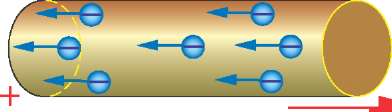
о о о ел



Рух електронів: — у разі впливу поля -- за відсутності поля б

Мал. 2.16

які втратили один або кілька електронів. Ці електрони стають спільними для всього металу і хаотично рухаються між його іонами, подібно до молекул газу, утворюючи своєрідний елек­тронний газ (мал. 2.16, а). Якщо вважати, що кожен з атомів металу втратив один електрон, то й у цьому випадку кількість електронів у одиниці об'єму в металі величезна. Кожен кубіч­ний сантиметр містить порядку 1023 електронів.



V

Напрямок струму

V

У разі виникнення в металевому провіднику електричного поля на позитивні іони й електрони, які мають негативний за­ряд, у протилежних напрямках діють електричні сили. Проте іони, що утворюють кристалічну ґратку, переміщуватися не можуть. А от вільні електрони (їх ще називають електрони провідності), які майже у 2000 разів легші за атом Гідрогену (найлегший атом), починають

усі разом зміщуватися — дрей­фувати у певному напрямку (мал. 2.16, б). Такий упорядко­ваний рух електронів і утво­рює електричний струм у ме­талевому провіднику.

Швидкість, з якою поши­рюється струм у провіднику, дорівнює швидкості поширен­ня в ньому електричного по­ля — майже 300 000 км/с.

Швидкість упорядкованого руху електронів ("дрейфу") набага­то менша — до 1 мм/с.



Історично так склалося, що за напрямок електричного струму прийнято напрямок руху позитивно заряджених частинок, протилежний до напрямку руху електронів, що утворюють струм у металах (мал. 2.17).

У 1899 р. німецький вчений Карл Рикке (1845— 1915 рр.) розпочав дослідження на трамвайній під­станції в Штуттгарті. У головний провід, що живив трамвайні лінії, він включив послідовно один за од­ним торцями три тісно притиснутих циліндри (мал. 2.18). Два крайніх з них були мідними, а середній — алюмініє­вим. Торці циліндрів були добре відполіровані і мали одна­кові діаметри.

123

До

досліду\* С

А1 І Си

Си і А1 Си

гі

д=3,5-10[[10]](#footnote-10) Кл 11

т'і т'2 т'3

Після досліду Д Си 1 А1

Си

т1=т1 т'„=т„ т'3=т3

112 2 3 3

Мал. 2.18



Понад рік через циліндри пропускали електричний струм. За цей час пройшов величезний заряд (близько 3,5 млн Кл). Ретельно проаналізувавши місце контакту ци­ліндрів, К. Рикке не виявив у міді атомів алюмінію, а в алю­мінії — атомів міді, тобто ди­фузія не відбулася. Зважуван­ня циліндрів свідчило про те, що їхня маса не змінилася. Так, К. Рікке експерименталь­но довів, що при проходженні по провіднику електричного струму іони не переміщують­ся. Переміщуються лише од­накові для усіх металів час­тинки — вільні електрони.

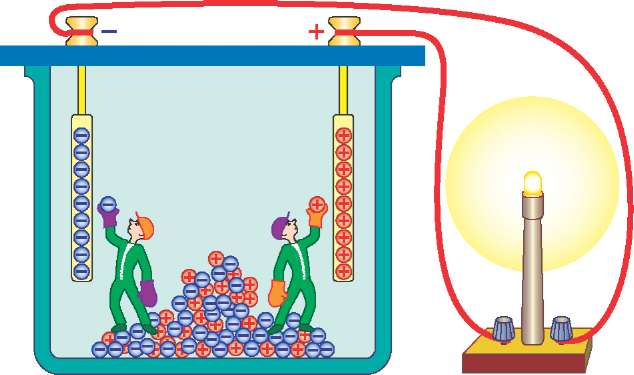
ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

1. Два різнойменно заряджені тіла з'єднайте металевим провідником. З'ясуйте: а) в якому напрямку почнуть переміщуватися електрони під дією електричного поля всередині провідника; б) чи буде в цьому випадку існувати тепловий (хаотичний) рух електронів; в) чому струм у цьому ви­падку швидко зникає?
2. Яку швидкість мають на увазі, коли йдеться про швидкість поши­рення струму в провіднику?

§ 10. ДЖЕРЕЛА ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ

Електричне освітлення, робота станків, електропотягів по­требує тривалого існування електричного струму, який над­ходить до різних споживачів. Для створення і тривалого під­тримування струму в провідниках використовують джерела електричного струму. У них відбувається розділення електрич­них зарядів і нагромадження їх на полюсах: на одному пози­тивних — позначається знаком "+", на іншому негативних — позначається "—". Оскільки різнойменні заряди притягуються, у джерелі повинна виконуватися робота з переміщення зарядів проти електричних сил притягання різнойменних зарядів (мал. 2.19).

Джерела струму розрізняються за природою сил, які вико­нують роботу з переміщення та розділення зарядів у джерелі, принципом дії, конструкцією, потужністю. Одні джерела ви­користовують для живлення кишенькових ліхтариків, мобіль­них телефонів, інші — забезпечують електроенергією житлові



квартали, заводи й фабрики, електротранспорт. У джерелах струму відбувається перетворення механічної, внутрішньої, хі­мічної або інших видів енергії на електричну енергію.





Мал. 2.20

Одні з перших пристроїв, які дали змогу тривалий час під­тримувати електричний струм, — джерела, в яких для вико­нання роботи з розділення зарядів використовували енергію хімічних реакцій. Ці джерела, відомі як гальванічні елемен­ти, й сьогодні широко використовуються для живлення ки­шенькових ліхтариків, радіоприймачів, плеєрів, мобільних телефонів, надання руху електрифікованим іграшкам та ін.

Італійський вчений А. Вольта (1745—1827 рр.) вия­вив наступне: якщо два диски з різних металів на­класти один на інший, то один диск набуває пози­тивного заряду, а інший — негативного. Він скон­струював першу електричну батарею, відому як "вольтів стовп" (мал. 2.20). Батарея складалася з мідних і цинкових дисків, між якими прокладалися диски, вирізані з повсті, просочені розчином сірчаної кислоти. Унаслідок енергії, що виділялася під час хімічної реакції, на цинковому диску ви­никав негативний заряд, а на мідному — позитивний. Свій винахід А. Вольта назвав на честь італійського дослідника Луїджі Гальвані (1737—1798 рр.) — гальванічний елемент. Це було перше джерело електричного струму, яке почали практично використовувати.



Александре Вольта

Вугільний стрижень



Цинковий стаканчик

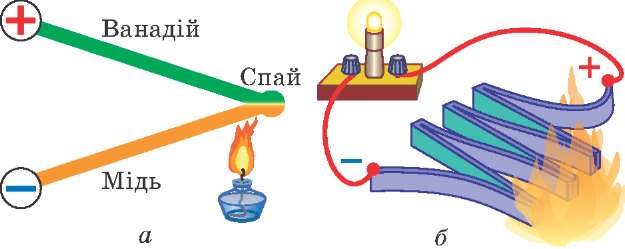
Мал. 2.21

Сучасний гальванічний елемент (мал. 2.21) складається з цинкового стаканчика та вугільного стрижня, простір між яким заповнюється пастою із суміші оксидів різних елементів, розчинів лугів, кислот, нашатирю та інших речовин. Корпус стаканчика — негативний полюс елемента, а пластинка, з'єд­нана з вугільним стрижнем, — позитивний полюс. Окремі еле­менти можна з'єднувати, утворюючи батареї елементів. Якщо з'єднати позитивний і негативний полюси гальванічного еле­мента провідником, то по ньому починає рухатися електрич­ний струм, який і забезпечує роботу різних споживачів.



Мал. 2.22

Джерелами, в яких робота з розділення електричних заря­дів виконується за рахунок енергії, що виділяється під час хі­мічних реакцій, є також акумулятори — накопичувачі. На відміну від гальванічних елементів акумулятори є джерелами багаторазового використання. Щоб акумулятор можна було використовувати як джерело струму, його спочатку потрібно зарядити. Для цього акумулятор приєднують до іншого джере­ла і пропускають через нього струм. У процесі заряджання в акумуляторі відбувається хімічна реакція. Зарядивши, його можна використовувати як звичайний гальванічний елемент. Залежно від речовин, які застосовують в їхніх конструкціях, розрізняють свинцеві (кислотні), лужні, срібно-цинкові, літіє­ві акумулятори та ін. (мал. 2.22). Типовий кислотний (свинце­вий) акумулятор — автомобільний акумулятор.



Мал. 2.23

У 1821 р. Томас Йоган Зеєбек (1770—1831 рр.) відкрив явище, яке назвали термоелектричний ефект (ефект Зеєбека). Він виявив, що при замиканні кінців кола, яке складалося з двох провідників із різних металів, у ньому виникає струм, якщо один із спаїв нагрівати. Так, з'явилися термоелементи, в яких розділення електричних зарядів відбувалося унаслідок нагрівання спаю різнорідних металевих дротин. Схематично термоелемент зображено на мал. 2.23, а. Термоелементи мож­на з'єднувати у батареї (мал. 2.23, б).

Батареї термоелементів застосовують скотарі для живлення радіоапаратури в гірських районах (мал. 2.24).

Останнім часом дедалі частіше використовують джерела струму, в яких розподіл зарядів відбувається за рахунок енер­гії сонячного випромінювання. Нині побудовано кілька достат­ньо потужних сонячних електростанцій. Напівпровідникові фотоелементи цих електростанцій перетворюють сонячну енер­гію на енергію електричного струму (мал. 2.25). Батареї з та-



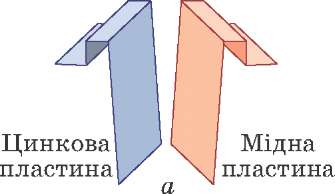
Мал. 2.24

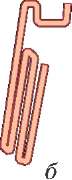
Мал. 2.25

ких фотоелементів широко застосовують для живлення елек­тричною енергією космічних апаратів.









На теплових і атомних електростанціях, а також гідроелек­тростанціях розділення зарядів здійснюється за допомогою генераторів. Генератор (від лат. generator — виробник) — це пристрій або машина, що використовується для вироблення електричної енергії або перетворення одного виду енергії в інший. З будовою та дією генераторів електричного струму ви познайомитесь пізніше.

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

1. Яка роль джерела струму в електричному колі?
2. Назвіть кілька типів джерел електричного струму.
3. Які перетворення енергії відбуваються в джерелах струму?
4. Наведіть приклади джерел струму, в яких на енергію електрично­го струму перетворюється хімічна енергія, енергія сонячного випроміню­вання.
5. У чому полягає різниця в дії гальванічних елементів і акумуляторів?

Найпростіше джерело живлення — сольовий гальванічний елемент — легко можна виготовити в домашніх умовах. Електро­дами ваших гальванічних елементів можуть слугувати смужки мі­ді та цинку (можна використати мідні дротини та обрізки оцинко­ваного заліза). Потрібні також пластикові стаканчики, вода та сіль.

Зачистіть поверхні смужок наждачним папером. Пробийте гвіздком отвір з одного краю кожної зі смужок. Вони потрібні для приєднання під­відних провідників і попарного з'єднання цинкових і мідних електродів. Зігніть смужки міді (мідну дротину) та цинку (смужку оцинкованого залі­за) так, щоб їх можна було підвісити на краї пластикового стаканчика (мал. 2.26, а). Якщо ви використовуєте мідну дротину, з неї необхідно

зняти ізоляційне покриття і зігну­ти приблизно так, як показано на мал. 2.26, б.

Зробіть концентрований роз­чин солі, розчинивши її в гарячій воді. Налийте розчин солі в стакан­чик і підвісьте на його краї смужки міді і цинку, так, щоб вони занури­лися в розчин, але не доторкалися



Мал. 2.27

одна до одної. Ваш гальванічний елемент готовий. Мідна пластина — по­зитивний полюс (+), а цинкова — негативний полюс (-) вашого елемента.

Потужність такого джерела струму невелика. Щоб світився, напри­клад, малопотужний світлодіод (можна скористатися світлодіодом від зламаної іграшки), потрібно приготувати 4-5 таких елементів і з'єднати їх в батарею протилежними полюсами (мал. 2.27). Світлодіод світитиметь­ся, якщо його виводи приєднано до відповідних полюсів джерела струму (коротший вивід до "-"). Якщо свічення немає, поміняйте полярність включення, перевірте надійність з'єднань.

Таке джерело забезпечить неперервне свічення світлодіода протягом кількох місяців. Спробуйте проекспериментувати. Використайте різні па­ри електродів (залізо—мідь, мідь—алюміній та ін.), змініть концентрацію розчину, відстані між електродами.

§11. ЕЛЕКТРИЧНЕ КОЛО ТА ЙОГО ОСНОВНІ ЕЛЕМЕНТИ

З винайденням джерел електричного струму з'явилися мо­жливості його використання на потреби людства: для освітлен­ня вулиць і приміщень, надання руху різноманітним машинам і механізмам, плавлення і зварювання металів та в інших цілях. Адже енергію електричного струму можна досить про­сто по дротах передавати на далекі відстані і перетворювати на інші види енергії.

Пристрої і прилади, які дають змогу використовувати енер­гію електричного струму, називають споживачами електрично­го струму (енергії електричного струму). У споживачах енергія електричного струму перетворюється на інші види енергії (ме­ханічну теплову, енергію світла). Споживачами можуть бути електричні лампочки, електродвигуни, які надають руху різним машинам і механізмам, телевізори, комп'ютери, кондиціонери, різноманітні пристрої і прилади побутової техніки та ін.

До споживача струм може надійти тільки по провідниках електричного струму. Такими провідниками є, наприклад, електричні дроти, виготовлені з міді, алюмінію або інших ме­талів. Щоб струм потрапив саме до конкретного споживача і не завдав шкоди, на провідники наносять ізоляційні матеріа­ли, які не проводять струм — діелектрики, або закріплюють їх на спеціальних ізоляторах. Останні виготовляють з матері­алів, які не проводять електричний струм (діелектриків): фар­фору, скла, пластмаси та ін.

Необхідно також керувати надходженням електричного струму до споживача. Так, електричну лампу необхідно увім­кнути, коли потрібно освітити приміщення, і вимкнути, якщо потреби в цьому немає. Для цього використовують спеціальні пристрої — вимикачі, які приєднують або від'єднують спожи­вача від джерела струму.

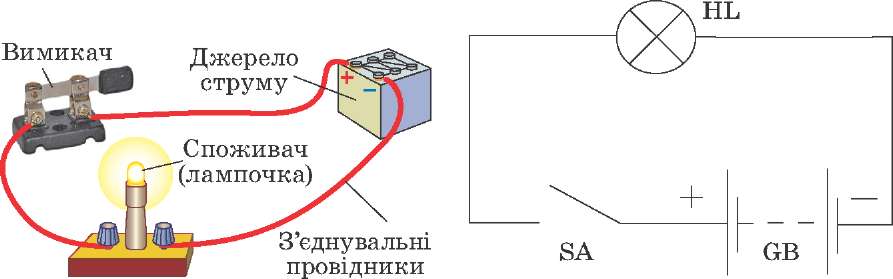
Сукупність джерел струму споживачів та провідни­ків, що їх з'єднують, називають електричним колом.

Окрім цих елементів у коло можуть входити вимикачі, запобіжні пристрої, контрольні та інші прилади. За допомогою електричних кіл здійснюються передача і перетворення енер­гії електричного струму на інші види енергії.

Струм у колі може існувати тільки тоді, коли воно замкну­те, тобто складається лише з провідників. Якщо провід розір­ваний, струму не буде, адже повітряний проміжок, який утво­рився, є ізолятором. Вимикачі використовують для того, щоб було зручно вмикати і вимикати струм у колі.

На мал. 2.28 зображено найпростіше електричне коло, яке складається з акумулятора, електричної лампочки та вимика­ча. Електричні кола можуть бути складними, включати в себе сотні й тисячі елементів. Для спрощення зображень електрич­них кіл використовують схеми, що є зображенням електрич­ного кола, на якому його реальні складові наведені у вигляді загальноприйнятих умовних позначень.

Графічні позначення на схемах, як правило, доповнюються буквеними і цифровими позначеннями. Цифри використову-



Мал. 2.28 Мал. 2.29

ють для нумерації, якщо в колі є кілька елементів одного ти­пу (наприклад, кілька лампочок). Схему електричного кола (див. мал. 2.28) показано на мал. 2.29. Така сама схема елек­тричного кола кишенькового ліхтарика.

Умовні позначення деяких складових електричних кіл наве­дено в табл. 2.1. Надалі ви ознайомитеся з умовними позначення­ми й інших елементів, використовуваних у електричних колах.

Таблиця 2.1. Умовні позначення деяких елементів електрич­них кіл

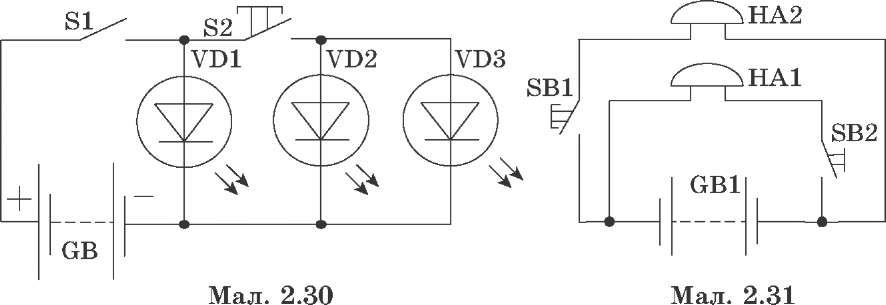
|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Назва елемента кола | Графічне позначення | Буквене позначення |
| Гальванічний елемент, акумулятор | "НЬ+ | а |
| Батарея гальванічних елементів, акумуляторів | Ч-чр | ав |
| Провідник |  |  |
| З'єднання провідників | -Ь |  |
| Перехрещення провідників (без з'єднання) |  |  |
| З'єднання провідників розбірне (клеми, затискачі) |  | X |

Закінчення табл. 2.1

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Назва елемента кола | Графічне позначення | Буквене позначення |
| З'єднання не розбірне (за допомогою спаювання) | — | X |
| Гніздо контактного з'єднання | < | хя |
| Штир контактного з'єднання | < | ХР |
| Вимикач розімкнутий |  | ЯА |
| Вимикач замкнутий |  |
| Перемикач |  |
| Вимикач натискний замикальний (кнопка) |  | ЯВ |
| Вимикач натискний розмикальний (кнопка) | |]ІР— |
| Лампочка розжарення освітлювальна, сигнальна |  | ЕЬ, НЬ |
| Світловипромінювальний діод |  | УБ |
| Електричний дзвоник |  | НА |
| Електродвигун | О | МА |
| Резистор | -1 1- | И |
| Запобіжник | ч—ь | ЯГ |
| Нагрівальний елемент | Ч 1 1 1 Ь | ЕК |
| Заземлення | 1 |  |

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

1. Назвіть основні елементи електричного кола.
2. За яких умов у електричному колі існує електричний струм?
3. Який напрямок струму в з'єднувальних проводах та лампочці, зо­браженій на мал. 2.28? Перемалюйте схему кола і позначте на ній стрі­лочками напрямок струму.
4. Який напрямок струму всередині гальванічного елемента або аку­мулятора?
5. Накресліть схему кола електричного дзвінка, що живиться від ба­тареї гальванічних елементів і вмикається кнопкою.
6. У продажу наявні кишенькові ліхтарики, освітлювач яких складаєть­ся з трьох випромінюючих при проходженні крізь них струму світлодіодів. З метою економії заряду акумулятора можна вмикати один світлодіод або одночасно усі три. На мал. 2.30 зображено можливу електричну схему та­кого ліхтарика. Поясніть за схемою, як увімкнути один світлодіод? Як увім­кнути усі три світлодіоди? У яких положеннях мають перебувати вимикачі? Який напрямок струму у свтлодіодах, коли вони увімкнені?



7. На мал. 2.31 показана схема дзвінкової сигналізації для кола зв'яз­ку між двома кімнатами. У разі натискання кнопки в одній кімнаті дзвінок лунає в іншій. Поясніть дію такого кола. В яких кімнатах мають знаходи­тися кнопки керування відповідними дзвінками?

(яЬ Електричне коло моделі автомобіля з електричним мікродви-



Ли^Ь гуном можна зібрати за схемою, наведеною на мал. 2.32. Ця схе- .»ЗЯТ^ ма свідчить, що моделлю можна керувати за допомогою вимика­ча ЭА1 та перемикача ЭА2, встановлених на пульті керування. З пульта виходять три провідники, кожен з яких має контактні штирі (ХР) для під'єднання до контактних гнізд (ХЭ) моделі. На моделі встановлено

мікроелектродвигун (М), дві лампочки (НИ, НЬ2), два світлодіоди (Уй1, Уй2) та гальванічну батарею (ОБ). За схемою можна пояснити, як працює ця модель. Після увімкнення вимикача вД1 засвітяться світлодіоди і Уй2, що імітують вогні зупинки. У разі перемикання БД2 відключаються світлодіоди і вмикаються мікродвигун та лампочки фар НИ і НЬ2. Модель зрушить з місця з увімкнутими фарами.

УБ2



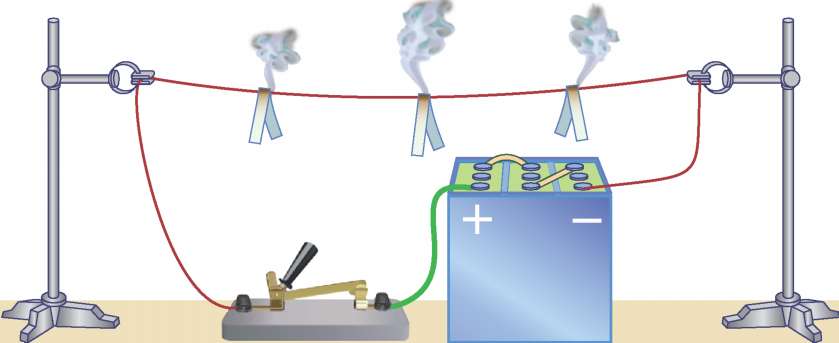
Мал. 2.32

Поміркуйте: 1) як потрібно змінити схему, щоб фари можна було вми­кати незалежно від увімкнення двигуна; 2) як напрямок обертання мікро- двигуна залежить від напрямку струму в ньому; 3) як слід змінити схему, щоб можна було змінювати напрямок обертання двигуна (вмикати задній хід моделі)?

§ 12. ДІЇ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ

Спостерігати електрони, іони або інші частинки, упорядко­ваний рух яких і є електричним струмом, ми не можемо. Про­те, натиснувши кнопку кишенькового ліхтарика або вимикача телевізора, одразу визначаємо, чи є струм у їхніх колах, чи ні. Про наявність струму в провідниках свідчать спричинені ними явища або, як кажуть у фізиці, — дії електричного струму. Розглянемо їх.

Теплова дія струму. Струм нагріває провідник, по якому він проходить. Переконатися в цьому можна на такому досліді. Закріпимо кінці дротини (відрізок тонкого ніхромового або ста­левого дроту) на двох штативах і приєднаємо їх до джерела струму, увімкнувши в коло вимикач (мал. 2.33). На дротину начепимо зігнуті вдвічі вузенькі смужки паперу. Увімкнувши

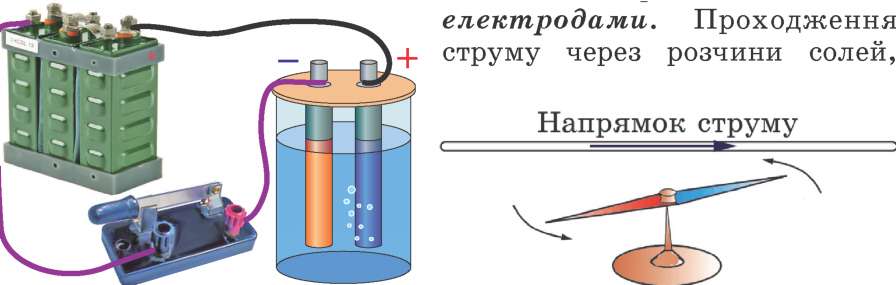


Мал. 2.33

вимикач, помітимо, що спочатку дротина провисає, потім чер­воніє, а паперові смужки починають тліти. Дротина унаслідок проходження струму нагрівається до високої температури.

Увімкнувши в розетку праску, електричний чайник, елек­тричну плитку, ми використовуємо саме теплову дію струму. Свічення лампочок розжарення — це також результат тепло­вої дії струму. їх вольфрамові спіралі розжарюються до більш як 2000 °С.

Хімічна дія струму. Хімічну дію струму відкрив у 1801 р. А. Вольта. Проведемо такий дослід. Візьмемо прозору склянку з розчином мідного купоросу (Си804). Два вугільні стрижні приєднаємо до джерела струму і зануримо в розчин так, щоб вони не дотикалися один до одного. Через деякий час поміти­мо, що стрижень, з'єднаний з негативним полюсом джерела струму, вкривається шаром чистої міді, а біля іншого стрижня виділяються пухирці газу (мал. 2.34). Стрижні, з'єднані з по­люсами джерела, називають



Мал. 2.34 Мал. 2.35

кислот, лугів спричиняє виділення на електродах речовин, які входять до їхнього складу.

Відкриття хімічної дії струму дало змогу використовувати його для одержання чистих металів, по­криття одних металів тонким ша­ром іншими (заліза — цинком, ні­келем, хромом), для збереження їх від корозії, надання більшої твердо­сті, для виготовлення статуй та ба­рельєфів.

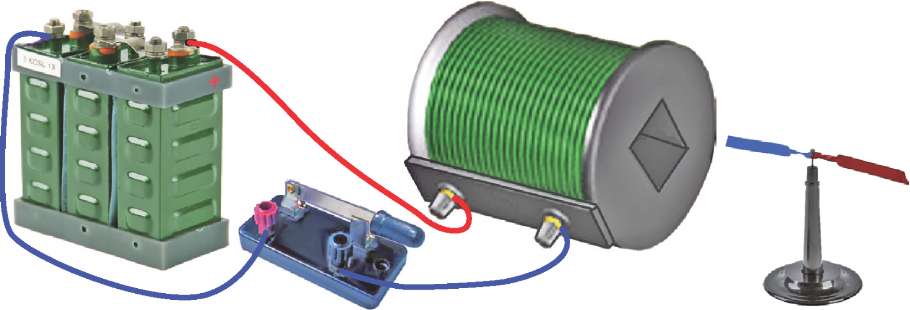
Магнітна дія струму. Важливе значення для вивчення властивос­тей електричного струму, його одер­жання й використання мало від­криття магнітної дії електричного струму. У 1820 р. датський фізик, дослідник явищ електромаг­нетизму Г. Ерстед (1777—1851 рр.) виявив, що навколо провід­ника зі струмом виникає магнітне поле, яке діє на магнітну стрілку і змінює її орієнтацію (мал. 2.35).

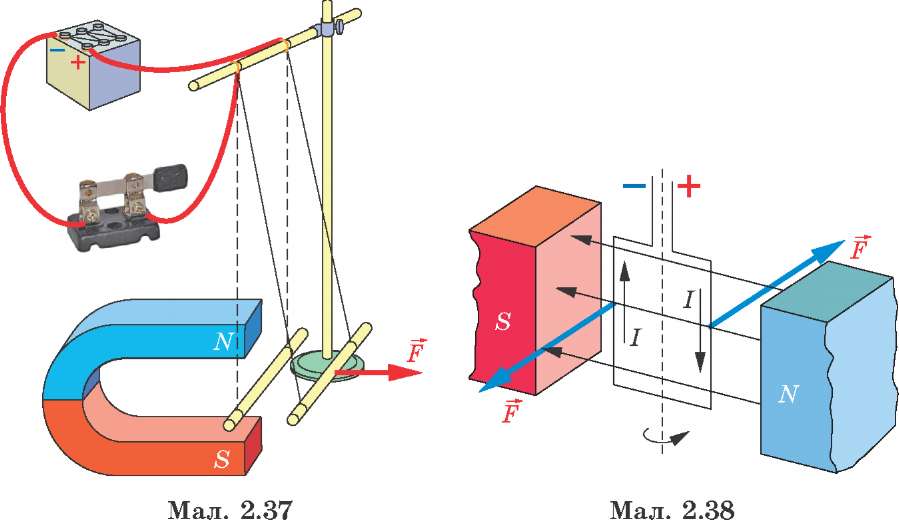
Якщо біля котушки, на яку намотано дріт, розташувати магнітну стрілку, то після під'єднання котушки до джере­ла струму стрілка орієнтуватиметься уздовж осі котушки (мал. 2.36). Котушка зі струмом притягує до себе невеликі за­лізні предмети — набуває магнітних властивостей.



Ганс Кристіан Ерстед

Як і за будь-якої взаємодії не тільки струм у провіднику діє на магнітну стрілку. Магніт (його поле) також діє на струм у



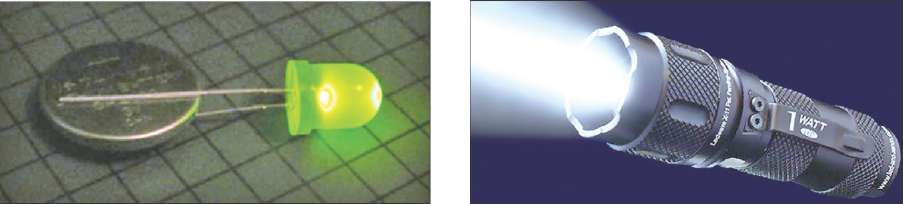


провіднику. Підвісимо мідний стрижень на тонких, гнучких провідниках між полюсами магніту і приєднаємо вільні кінці провідників до джерела струму. Увімкнувши вимикач, помі­тимо, що стрижень зі струмом відхиляється: виштовхується з-поміж полюсів магніту або втягується (мал. 2.37). Це за­лежить від напрямку струму в провіднику та розташування полюсів магніту.

Розташована між полюсами магніту рамка, в якій є струм, виконує повороти (мал. 2.38). Це явище використовують в електродвигунах, електровимірювальних приладах.

Світлова дія струму. Така дія струму виявляється, зокрема, під час його протікання в напівпровідникових приладах — світлодіодах (мал. 2.39). У них енергія електричного струму перетворюється на енергію світлового випромінювання. Остан­нім часом світлодіоди дедалі ширше використовують як дже­рела світла. Наприклад, кишенькові ліхтарики із світлодіода- ми (мал. 2.40) можуть світити яскравіше і набагато довше, ніж ліхтарики з лампочками розжарення.

Фізіологічна дія струму. Вивчаючи різні властивості струму, А. Вольта та інші вчені спостерігали його дію на людський ор­ганізм, використовуючи як вимірювальний прилад своє тіло. Адже окрім електроскопа ніяких інших приладів на той час не існувало. Виявилося, що струм спричиняє фізіологічну дію. Він впливає на живі організми і може бути дуже небезпечним.



Мал. 2.39

Мал. 2.40

Зверніть увагу!

Використовуючи прилади й інструменти, які живляться від різних джерел струму, дотримуйтесь правил безпеки!

Нагрівання провідників під час існування в них струму мо­же бути різним. За однакових струмів одні провідники можна нагрівати до високої температури, а інші так, що підвищення їхньої температури зовсім непомітне. Спіраль плитки, тепло- елемент праски, спіраль нитки розжарення лампочки нагріва­ються до високої температури, а підвідні дроти залишаються холодними. Теплова дія струму проявляється по-різному в різних провідниках.

Хімічна дія струму спостерігається не в усіх провідниках. У металах струм не викликає ніяких змін. У розчинах кухон­ної солі, мідного купоросу, сірчаної кислоти струм спричиняє виділення їх складових частин.



Магнітна дія струму проявляється завжди, коли струм існує в провідниках. Магнітна стрілка, яку розміщено біля прямолінійного провідника (твердого, рідкого, газоподібного), завжди намагається повернутися перпендикулярно до нього, як тільки в провіднику з'являється струм.

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

1. Які явища можуть спостерігатися, коли в електричному колі є струм?
2. Наведіть приклади проявів теплової дії струму?
3. Як можна спостерігати хімічну дію струму?
4. Які досліди дають змогу виявити магнітну дію струму?
5. Наведіть приклади використання різних дій струму в техніці, побуті.
6. Які дії електричного струму переважно виявляються під час робо­ти з комп'ютером, прасування, увімкнення електроплитки, світіння елек­тричної лампочки?

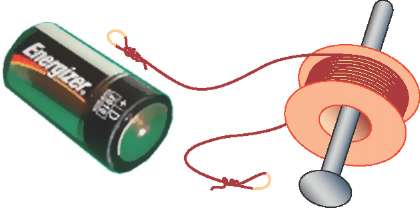


1. Чи завжди теплова дія струму є корисною? Наведіть приклади.

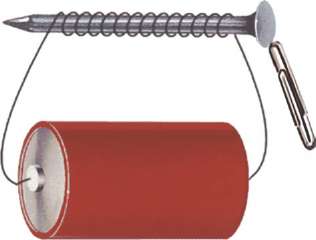
Магнітна дія струму використовується в електромагнітах. Ви­готовте найпростіший електромагніт. Для цього на залізний цвях, гвинт або стрижень довжиною 80—150 мм (він буде осердям електромагніту) намотайте виток до витка мідний ізольований дріт. Зачистіть кінці намотаного дроту від ізоляції та приєднайте їх до по­люсів гальванічного елемента (мал. 2.41). Перевірте дію електромагніту, підносячи його до дрібних залізних предметів (скріпок, гвинтів, маленьких цвяхів).

Якщо є можливість, перевірте, як залежать магнітні властивості елек­тромагніту від кількості витків та діаметра дроту, намотаного на цвях.

Ще краще, якщо дріт намотати не безпосередньо на цвях, а на якийсь неметалевий каркас: пластмасову чи дерев'яну котушку, паперову трубку та ін. Вставлене в котушку залізне осердя (цвях, гвинт) підсилить магнітну дію котушки (мал. 2.42).



Котушку з намотаним дротом можна використати не тільки для виго­товлення електромагніту, а й як прилад для виявлення струму в колі.



Мал. 2.41

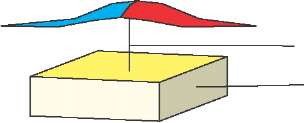
Мал. 2.42



Мал. 2.43

Обрізати

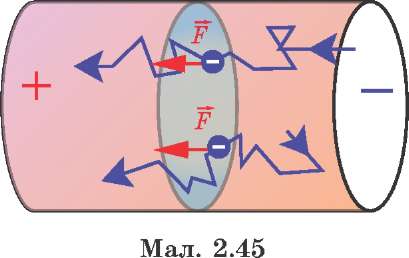
Зробити заглибину за допомогою цвяха



Шпилька - Гумка

Мал. 2.44

Якщо у вас є компас, то, не приєднуючи котушку до джерела струму, розмістіть його навпроти котушки з дротом так, щоб напрямок північ-пів- день був перпендикулярним до осі котушки (мал. 2.43). Приєднавши котушку до батарейки (без вставленого гвіздка або іншого осердя), ви по­бачите, що стрілка компаса повернулася і зорієнтувалася уздовж її осі.



Якщо компаса немає, нескладно виготовити магнітну стрілку: вирізати її з жерсті і намагнітити, приклавши до досить сильного магніту (мал. 2.44).

§13. СИЛА СТРУМУ

Ви, мабуть, помічали, що теплова, хімічна, магнітна, світ­лова дії, які спричиняють струми навіть у одному й тому са­мому провіднику, можуть розрізнятися за інтенсивністю. Ліх­тарик зі щойно вставленою новою батарейкою світить яскраво. Спіраль його лампочки розжарюється до білого кольору, що свідчить про її високу температуру. Якщо ж батарейка "висна­жена" — спіраль лампочки ледь жевріє червоним кольором. Так само з часом змінюється яскравість свічення світлодіодно- го ліхтарика.

Вугільні електроди, опущені в розчин мідного купоросу, можна приєднати до полюсів батареї акумуляторів, що скла­дається з трьох елементів, або до одного акумулятора. У першому випадку вже за лічені хвилини на негативному елек­троді з'являється помітний шар міді. Якщо ж використову­вати один елемент, відкладання речовини відбувається по­вільніше.

Струм у провіднику — це упорядкований рух частинок, що мають електричний заряд. Порівнювати дії різних струмів можна за кількістю частинок, що проходять через поперечний переріз провідників за одиницю часу. У розчинах, які прово­дять електричний струм, він утворюється рухом іонів. Оче­видно, чим більше іонів потра­пить на поверхню електрода за одну секунду, тим більше речо­вини виділиться на ньому. Ад­же іон — це атом речовини, в якому не вистачає одного або кількох електронів (позитив­ний іон) або є їх надлишок (нега­тивний іон). Так само результат те­плової дії струму в металевому про­віднику залежить від кількості електронів, що пройшли через по­перечний переріз дротини за одну секунду (мал. 2.45).

Кількість електронів або інших частинок, що створюють струм, по­рахувати практично неможливо. Проте можна визначити загальний заряд (кількість електрики), пере­несений ними через поперечний пе­реріз провідника за одну секунду. Для цього потрібно заряд q, що пройшов через поперечний переріз провідника, поділити на час і його проходження через цей самий переріз.

Фізичну величину, яка чисельно дорівнює відношенню заряду, що пройшов через поперечний переріз провідника, до часу його проходження називають силою струму.

Силу струму позначають літерою і. Якщо за час і сумарний заряд заряджених частинок, що перетнули поперечний переріз провідника, становив q, то силу струму в провіднику визнача-

т q ють так: I = — .

і

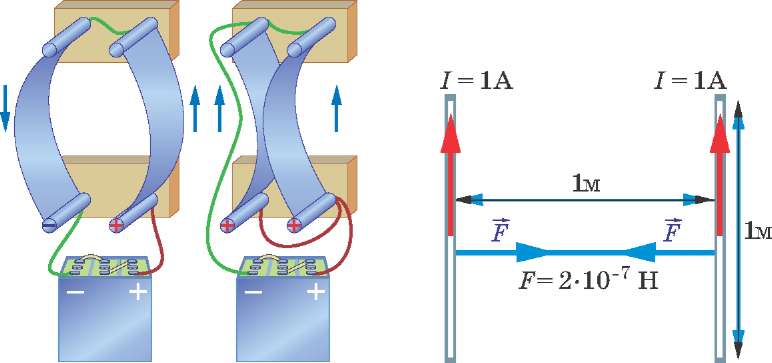
Чим більша сила струму, тим інтенсивніша його дія: за одиницю часу виділиться більше тепла в провіднику, більша маса речовини виділиться з розчину на електродах, сильнішою буде його магнітна дія.

Одиницею сили струму — однією з семи основних одиниць в СІ — є ампер (1А). Названа ця одиниця на честь відомого французького вченого А. Ампера (1775—1836 рр.), який розви­нув теорію електромагнетизму, що встановлювала взаємозв'яз­ки електричних і магнітних явищ.



Андре-Марі Ампер.

У 1948 р. на Міжнародній конференції мір і ваг було прий­нято покласти в основу визначання одиниці сили струму 1 А його магнітну дію. Досліджуючи магнітну взаємодію струмів, А. Ампер встановив закон взаємодії двох паралельних провід­ників зі струмом. Виявилося, що два довгі провідники, розмі-



Мал. 2.46 Мал. 2.47

щені паралельно, взаємодіють із силами, пропорційними до сил струмів у них. Залежно від напрямку струмів у паралель­них провідниках вони або притягуються, або відштовхуються (мал. 2.46).

Ампер — сила струму, який, проходячи по двох нескін­ченних тонких провідниках, розташованих у вакуумі на відстані 1 м, на кожній ділянці довжиною 1 м спричиняє їх взаємодію із силою 2 • 10-7 Н (0,000 000 2 Н) (мал. 2.47).

Заряд можна визначити через силу струму і час його проті­кання:

q = И.

Заряд q, що переноситься частинками в провіднику із стру­мом, часто називають кількістю електрики.

Оскільки в СІ одиниця часу — 1 с, а одиниця струму — 1 А, то одиницю заряду (кількості електрики) — кулон — виз­начають так: 1 Кл = 1А • 1 с = 1А • с.

Кулон дорівнює електричному заряду (кількості елек­трики), що переноситься через поперечний переріз провід­ника за 1 с за сили струму в ньому 1 А.

Заряд електрона — 1,6 • 1019 Кл. Заряд 1 Кл відповідає су­марному заряду 6,25 • 1018 = 6 250 000 000 000 000 000 елек­тронів. Така кількість електронів щосекунди перетинає попе­речний переріз провідника за сили струму 1 А.

Сила струму — важлива характеристика, що визначає ре­зультат дії струму в різних ділянках кола і різних споживачах. У лампочці кишенькового ліхтарика сила струму 0,2—0,3 А,у світлодіоді — близько 0,02 А, а в стартері під час запуску двигуна автомобіля може сягати кілька сотень ампер.

Узявшись руками за неізольовані провідники, затискачі (або навіть доторкнувшись до них ненароком), людина теж мо­же стати ланкою електричного кола — крізь неї пройде струм. Безпечною для організму людини вважається сила струму до 0,001 А.

Зверніть увагу!





Струм силою 0,1 А, що вражає організм людини, є смертельно небезпечним і може призвести до фатальних наслідків!

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

§ 14. АМПЕРМЕТР. ВИМІРЮВАННЯ СИЛИ СТРУМУ

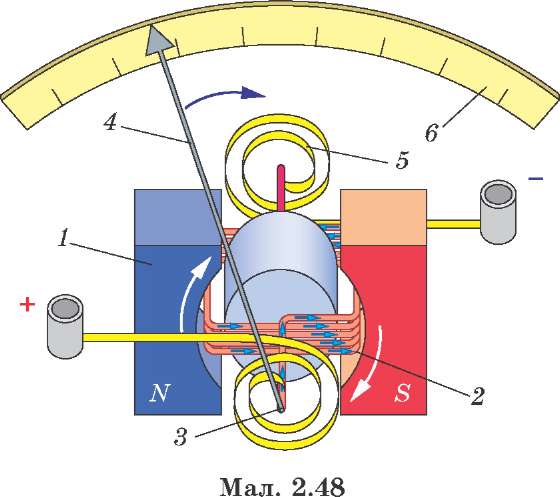
Сила струму — фізична величина, яка визначає наскільки помітною є його дія. Залежно від значення сили струму усі його дії виявляються по-різному. Тому для вимірювання сили струму можна використати будь-яку дію струму: теплову, хі­мічну, магнітну та ін.

Прилади для вимірювання сили струму називають ампер­метрами. Ця назва походить від назви одиниці сили стру­му (ампер) і слова метр (з грец. — вимірюю). Амперметр — прилад для вимірювання сили струму в амперах. Оскільки сили струму в різних електричних колах можуть значно роз­різнятися, то, як і для багатьох інших одиниць фізичних вели­чин, крім основної одиниці, використовують часткові й кратні одиниці: кілоампер (1 кА = 1000 А = 10[[11]](#footnote-11) А), міліампер (1 мА = = 0,001 А = 10-3 а), мікроампер (1мкА = 0,000 001 А = 10-6 А). Приладами для вимірювання сил струмів у таких одиницях є відповідно: кілоамперметр, міліамперметр, мікроамперметр.

Як будь-який вимірювальний прилад, амперметр відтворює значення сили струму за допомогою спеціального пристрою. Таким пристроєм може бути стрілка, яка показує значення сили струму на шкалі приладу, або цифровий дисплей.

Серед найпоширеніших приладів для вимірювання сили струму є прилади, в яких використовується магнітна дія стру­му. Є різні конструкції (системи) приладів для вимірювання сил струмів. На мал. 2.48 схематично зображено будову при­ладу магнітоелектричної системи. Він складається з постійно­го магніту 1 і легенької прямокутної рамки, виготовленої з алюмінію або цупкого паперу, на яку намотано дріт 2.

Рамку закріплено на осі 3. До неї прикріплено стрілку-по- кажчик 4. Коли у витках рамки є струм, виникає момент сил, що, діючи на рамку, повертає її. Прикріплені до осі спіральні пружинки 5 використовують для підведення струму і протидії повороту рамки. Чим більша сила струму в рамці, тим біль­ший момент сил діє на рамку і на більший кут вона поверта­ється. Стрілка відхиляється на такий самий кут і вказує зна­чення сили струму на шкалі 6 приладу. Шкали амперметрів градуюють, застосовуючи більш точні зразкові прилади. На шкалі амперметрів є позначка А.



Кожен вимірювальний прилад розрахований на певне най­більше значення вимірюваної величини. Найбільше значення сили струму, допустиме для даного амперметра, називають верхньою межею вимірювання. Оскільки сили струмів у різ­них колах можуть бути від мільйонних часток ампера до ти­сяч амперів, прилади виготовляють з різними межами вимі­рювання. Прилади, призначені для вимірювання сили струму в кілоамперах або мілі- та мікроамперах, мають відповідні позначки на шкалах: кА, шЛ, цА (мал. 2.49). Залежно від значень сил струмів, які вимірюють, обирають той чи інший прилад.



На мал. 2.50 зображено шкільний ла­бораторний амперметр, призначений для вимірювання сили струму від 0 (нижня межа вимірювання) до 2 А (верхня межа вимірювання).

Щоб виміряти силу струму в нерозга- луженому колі або в ділянці кола, ампер­метр вмикають у розрив електричного кола (ділянки кола). За такого увімкнен- Мал. 2.50 ня протягом одного й того самого часу че­

рез амперметр проходить такий самий за­ряд, як і через переріз будь-яких провідників, увімкнутих в цю ділянку кола. Тому сила струму в амперметрі така сама, як і в провідниках та споживачах, що включені в це коло.

Залежно від напрямку струму рамка приладу може повер­татися за годинниковою або проти годинникової стрілки. Як­що нульова позначка розташована посередині шкали, стрілка може відхилятися в обидва боки. У більшості приладів нульо­ва позначка знаходиться на початку шкали зліва, а стрілка має відхилятися вправо. Для правильного увімкнення прила­ду в коло на затискачі амперметрів нанесено позначки "+" і "—". Вони вказують, у напрямку до якого полюса джерела струму має бути приєднаний кожен із затискачів. Часто зати­скач, який має бути приєднаний до позитивного полюса ("+") джерела, фарбують у червоний колір (див. мал. 2.49, 2.50).

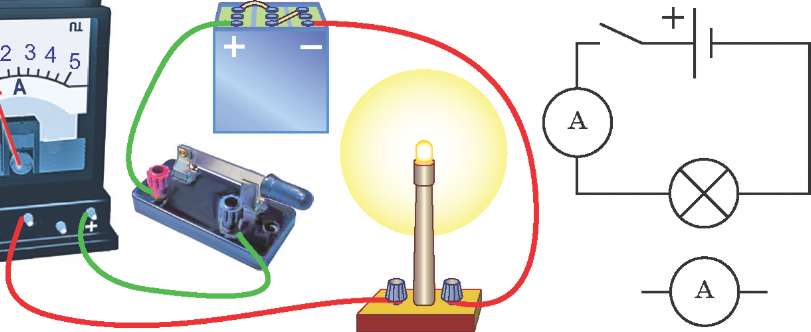
Щоб визначити ціну поділки амперметра (як і будь-якого іншого приладу), необхідно різницю значень біля двох сусідніх поділок із числовими позначками поділити на кількість поді­лок між ними. Так, ціна поділки лабораторного амперметра, зображеного на мал. 2.50, становить 0,05 А.

На електричних схемах амперметр позначають колом із лі­терою А. На мал. 2.51 показано електричне коло з амперме­тром та його електрична схема. Якщо усі провідники, з яких складається коло, увімкнуті так, що кінець одного провідника (у тому числі споживача струму) з'єднується з початком дру­гого, таке з'єднання називають послідовним.

Амперметр вмикають у коло послідовно.



Сила струму за такого з'єднання в усіх точках кола одна­кова. У розглядуваному випадку амперметр увімкнено в коло



Мал. 2.51

між вимикачем і лампочкою. Можна увімкнути амперметр між лампочкою і вимикачем, між лампочкою і негативним по­люсом джерела струму — значення сили струму залишиться тим самим.

Зверніть увагу!



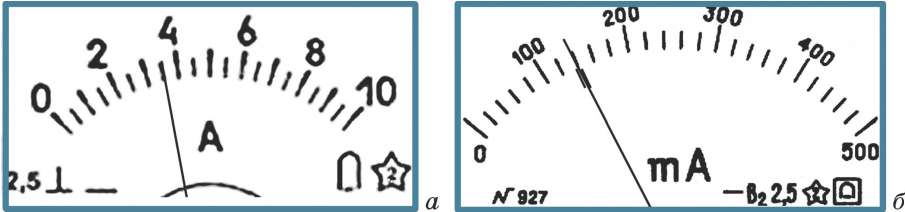


Забороняється приєднувати амперметр безпосередньо до зати­скачів (полюсів) джерела струму! Обов'язково послідовно з ним має бути увімкнутий у коло споживач.

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

1. Як називають прилад, за допомогою якого вимірюють силу струму?
2. Як вмикають амперметр у електричне коло для вимірювання сили струму?
3. Як позначають амперметр на схемах електричного кола?
4. Що таке верхня межа вимірювання амперметра?
5. Як визначити ціну поділки вимірювального приладу?
6. Як вмикають міліамперметр у коло для вимірювання сили струму? 7. На мап. 2.52, а, б зображені шкали двох амперметрів.

З'ясуйте: 1) які межі вимірювання сили струму в кожного з цих приладів; 2) яка ціна поділок приладів; 3) які сили струму пока­зують ці прилади; 4) який заряд проходить через кожний з цих приладів за 10 с?



Мал. 2.52

§ 15. ЕЛЕКТРИЧНА НАПРУГА

Упорядкований рух заряджених частинок можливий ли­ше за наявності електричного поля. Електричні сили, що ді­ють на кожну частинку, виконують роботу з їхнього перемі­щення уздовж провідника. Струм зумовлює нагрівання про­відника. У магнітному полі провідник із струмом переміщу­ється. Це означає, що робота електричного поля спричинює зміну енергії заряджених частинок і перетворення набутої ними енергії в інші види енергії: внутрішню, механічну, світ­лову та ін.

У з'єднувальних провідниках і спіралі лампочки сила стру­му однакова. Але провідники практично не нагріваються, а спіраль лампочки розжарюється, тобто за однакової сили стру­му на різних ділянках кола виконується різна робота.

Щоб характеризувати роботу електричного поля на різних ділянках електричних кіл, використовують фізичну величину, яку називають напруга.

Напруга на ділянці кола — це фізична величина, яка чисельно дорівнює роботі електричного поля з перенесен­ня заряду 1 Кл між кінцями цієі ділянки кола.

Напругу позначають латинською літерою и.

Щоб знайти напругу, необхідно роботу А, виконану полем на ділянці кола з перенесення заряду д, поділити на величину перенесеного заряду д:

и = —.

Я

Одиницею напруги у СІ є вольт (1 В).

1 В — це така напруга на ділянці кола, за якої під час перенесення заряду 1 Кл виконується робота 1 Дж:

1В=ІД^.

1 Кл

Для характеристики напруг зазвичай вживають терміни "висока" або "низька". Високі (великі) напруги вимірюють у кіловольтах (1 кВ = 1000 В) і мегавольтах (1 МВ = 1 000 000 В), а малі (низькі) — у мілівольтах (1 мВ = 0,001 В) і мікроволь­тах (1 мкВ = 0,000 001 В).

Якщо напруга на ділянці кола становить 5 В, це означає, що робота, виконувана електричним полем з перенесення за­ряду в 1 Кл, становить 5 Дж.

Для живлення світлодіода необхідна напруга (залежно від його типу) 2—4 В. Лампочка кишенькового ліхтарика розра­хована на напругу 2,5 або 3,5 В. Лампочки освітлювальної ме­режі живляться напругою 220 В. Відповідну напругу для спо­живачів забезпечують джерела живлення. Один гальванічний елемент батарейки має на полюсах напругу 1,5 В, один сольо­вий елемент з електродами з цинку і міді — 0,5—0,8 В. Гене­ратор і акумулятор автомобіля дають змогу одержати напругу

12 В. ?

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

* 1. Які процеси перетворення енергії відбуваються в замкнутому електричному колі?
  2. Чому сила струму не може визначати роботу струму на ділянці кола?
  3. Яку фізичну величину називають напругою на ділянці кола?
  4. Що прийнято за одиницю напруги в СІ? 5. Напруга на лампочці кишенькового ліхтарика становить





3,5 В. Яку роботу виконує електричне поле в спіралі лампочки за 1 с, якщо через неї щосекунди проходить заряд 0,3 Кл? Яка сила струму в лампочці?

§ 16. ВИМІРЮВАННЯ НАПРУГИ. ВОЛЬТМЕТР

Прилади, за допомогою яких вимірюють напругу, назива­ють вольтметрами. Відрізнити вольтметр від амперметра можна за літерою V на його шкалі. На схемах вольтметр зо­бражують у вигляді кола з літерою V в середині. Будова вольт­метрів майже така сама, як і амперметрів.

Вольтметри, призначені для вимірювання високих напруг у кіловольтах, мають позначку Позначки mV та V означа­ють, що числа на шкалі відповідають значенням напруги у мі­лівольтах або мікровольтах. На мал. 2.53 зображено кілька різних вольтметрів.

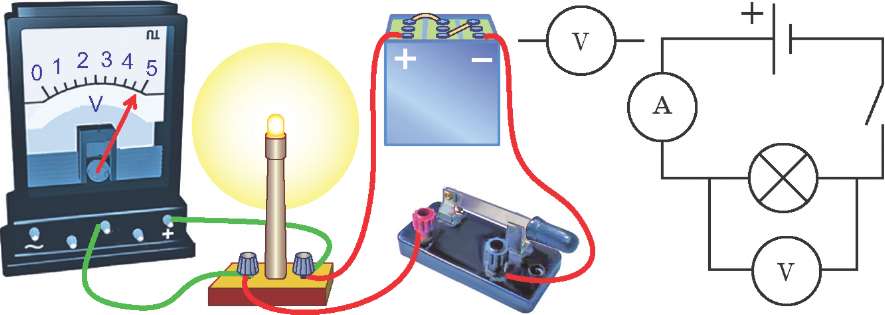
Як і амперметри, вольтметри показують значення вимірю­ваної напруги на цифровому дисплеї (цифрові вольтметри) або значення напруги на шкалі приладу вказує стрілка. Біля од­ного із затискачів для приєднання провідників є позначка "+" або його виділено червоним кольором. Другий затискач може мати позначки "—", "\*" або не позначається.

Прилад може призначатися для вимірювання напруг у різ­них межах. Тоді він може мати дві і більше шкал, один спіль­ний затискач (як правило, "—" і затискачі, на яких зазначено верхні межі вимірюваної величини).

Для вимірювання напруги на ділянці кола (споживачі, джерелі) затискачі вольтметра приєднують до кінців цієї ділян­ки: початок ділянки до одного затискача, кінець ділянки — до іншого. Таке з'єднання називають паралельним.

Приєднуючи вольтметр до ділянки кола, необхідно до­тримуватися, щоб до затискача, позначеного "+", був при­єднаний провідник, який виходить з позитивного полюса дже­рела струму, а затискач із "—" був з'єднаний з провідником,





Мал. 2.54

що виходить з негативного полюса джерела. На мал. 2.54 зо­бражено електричне коло, яке складається з джерела струму, лампочки, вимикача та вольтметра, яким вимірюється напруга на лампочці, його схема та умовне позначення вольтметра.





Вольтметром можна вимірювати напругу на джерелі стру­му. У цьому випадку вольтметр приєднують безпосередньо до полюсів джерела. Необхідно тільки пам'ятати: затискач "+" вольтметра повинен бути приєднаним до полюса джерела, що має позначку "+", а верхня межа вимірювання напруги вольт­метром має бути більшою за напругу на джерелі. Якщо напру­га невідома навіть приблизно, то спочатку користуються вольт­метром, розрахованим на найбільший діапазон вимірювань.

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

* + 1. Як називається прилад для вимірю­вання напруги на ділянці кола?
    2. Як має бути увімкнутий у коло вольтметр для вимірювання напруги на ді­лянці кола?
    3. За малюнком шкали вольтметра (мал. 2.55) визначте межі вимірюваної ним напруги, ціну поділки, напругу, яку він показує.

З курсу фізики 7 класу ви вже знаєте, що, користую­чись різними засобами вимірювання, не можна бути впевненим, що одержане значення фізичної величини є її істинним значенням. Це стосується й електро­вимірювальних приладів. Для них під час виготовлен­ня встановлюють межу допустимої похибки. Чим точніший прилад, тим меншою є його допустима похибка. Точність приладу характеризує "клас точності", який зазначається на його шкалі або (і) в паспорті. На мал. 2.56 наведено шкільні лабораторні амперметр і вольтметр. Серед інших позначок верхньому правому куту шкали в амперметра є позначка "2,5", а у вольтметра — "4". Це і є позначення класів точності приладів. Клас точності амперметра 2,5 означає, що його найбільша можлива абсолютна похибка не перевищує 2,5 % верхньої межі вимірювання 2 А і стано-

2 А • 2,5% ТТ

вить АА = = 0,05 А . Цю похибки часто назива-

А 100 %

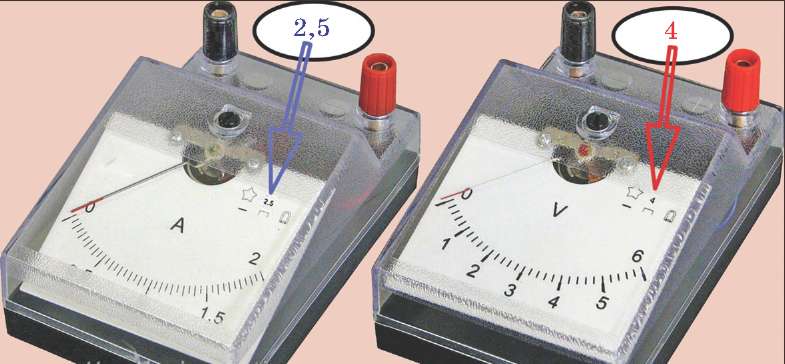
ють інструментальною похибкою. Як бачимо, вона узго­джена з ціною поділки амперметра (0,5 А).

Нехай, вимірюючи силу струму, ми одержали показання:

* + - 1. = 0,6 А, І2 = 1,6 А. Це означає гарантію прикладу, що іс­тинне значення сили струму у першому випадку знахо­диться в інтервалі значень І1 = (0,6 ± 0,05) А, тобто може мати будь-яке значення від 0,55 А до 0,65 А. Відповідно,



* + - 1. = (1,6 ± 0,05) А.



Мал. 2.56

Відносна похибка першого показання

є1г • 100% = 0,05 А • 100% = 8,3%. 11 І1 0,6 А

Відносна похибка для другого показання

Е • 100% = 0,05 А • 100% = 3,1%.

21 І2 1,6 А

Це означає, що значення вимірюваної величини, отрима­ні за допомогою приладу, будуть визначені точніше, якщо вони одержуються в другій половині шкали приладу.

Усе це так само стосується і вольтметра. Тільки клас його точності 4. Межа допустимої абсолютної похибки

= бВ-4% = 0,24В в 0,2В.

F 100 %

Відносна похибка одержаного значення напруги 1 В ста­новить 20 %, а значення напруги 4 В — лише 5 %.

Якщо клас точності приладу не відомий, за інструмен­тальну похибку приймають половину ціни поділки шкали приладу.

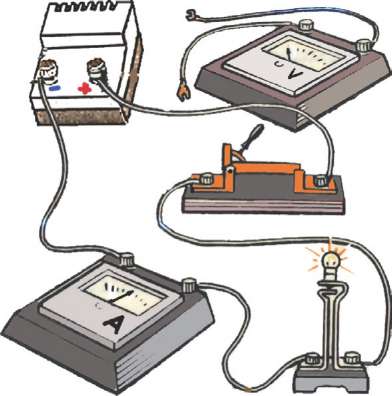
Похибка разового вимірювання складається з інстру­ментальної похибки (похибки приладу, визначеної за кла­сом точності) і похибки відліку показань. Як правило, приймають, що похибка відліку дорівнює половині ціни по­ділки шкали приладу. Фактично, прилади мають меншу ін­струментальну похибку, ніж допустима похибка, визначе­на за класом точності приладу. Тому при технічних вимі­рюваннях і в шкільному експерименті цілком виправдано вважати, що сумарна похибка одноразового вимірювання не перевищує ціну поділки приладу, яким вимірюється фізична

величина[[12]](#footnote-12).

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

Вимірювання сили струму та електричної напруги

Завдання. Скласти електричне коло та визначити сили стру­мів у різних його ділянках, а також напругу на їхніх кінцях.



Обладнання: електрична лампочка або (і) дротяна спіраль на колодочці; вимикач; з'єднувальні провідники; амперметр; вольтметр, джерело струму.

Підготовка до проведення експерименту 1. Підготуйте таблицю для характеристик приладів і ре­зультатів вимірювань:

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Вимірю­вальний прилад | Характеристики приладу | | | | Виміряні величини | | |
| Вимірю­вана ве­личина | Межі вимірю­вання | Ціна поділки | Похибка вимірю­вання | 1 | 2 | 3 |
| Амперметр Вольтметр | І, А и, В |  |  |  |  |  |  |

2. Уважно огляньте вимірювальні прилади, джерело стру­му. Знайдіть позначки полярності полюсів джерела та затиска­чів приладів.

* + - * 1. Пригадайте правила увім­кнення амперметра і вольтметра для вимірювання сили струму і напруги.
        2. Накресліть схему з послі­довно з'єднаних джерела струму, вимикача, лампочки або (і) дро­тяної спіралі на колодочці та ам­перметра (варіант кола з лампоч­кою зображено на мал. 2.57).
        3. Визначте межі вимірюван­ня приладів та ціну поділок і за-



Мал. 2.57 несіть їх до таблиці.

6. Визначте похибки вимірювань, використовуючи запро­поновані вам амперметр і вольтметр.

Для визначення похибки можна скористатися такими пра­вилами. Ціна поділки приладу, як правило, узгоджується з йо­го максимальною допустимою похибкою[[13]](#footnote-13). Тому можна вважа­ти, що похибка вимірювання дорівнює ціні поділки приладу.

Щоб підвищити точність вимірювання, потрібно підбирати такі значення сил струмів і напруг, щоб значення вимірюваної величини було не меншим за половину значення верхньої ме­жі вимірювання.

Пам'ятайте!

Перед тим як вносити зміни в електричні кола або розбирати їх, необхідно переконатися, що коло відімкнуте від джерела струму.

Не залишайте коло увімкнутим без потреби. Закінчивши вимі­рювання, розімкніть коло вимикачем, вимкніть джерело живлення з розетки.

Проведення експерименту

Складіть електричне коло за накресленою вами схемою.

Складаючи коло, дотримуйтесь такої послідовності дій:

1) зберіть частину кола із споживачів, вимикача та вимірю­вальних приладів; 2) вимикач встановіть у положення "вимк­нутий"; 3) приєднайте ділянку кола до джерела струму.

Вимірювання сили струму

Увімкніть струм, перевівши вимикач у положення "увім­кнуто". Визначте значення сили струму та запишіть його в таблицю.

Виміряйте силу струму, увімкнувши амперметр ще в два інші місця кола. Визначте силу струму в цих ділянках і зане­сіть одержані результати до таблиці.

Вимірювання напруги на різних ділянках кола

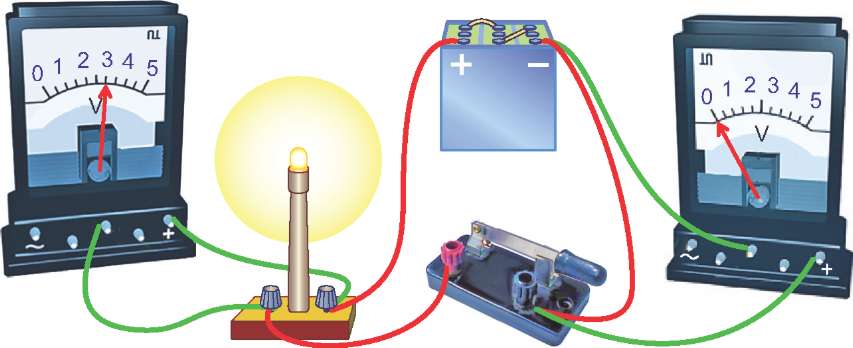
Скориставшись вольтметром, виміряйте напругу на різ­них ділянках кола: затискачах лапочки, затискачах вимика­ча, коли він замкнутий і розімкнутий, на затискачах джерела струму. (Амперметр можна не від'єднувати.)

Накресліть схеми з'єднання елементів кола та вольтме­тра для кожного з цих випадків вимірювання напруги.

Зробіть висновки щодо значень сил струмів у різних ді­лянках кола при такому з'єднанні провідників і напруг на кін­цях різних його ділянок.

§ 17. ЕЛЕКТРИЧНИЙ ОПІР

Ми вже зауважували, що дії електричного струму на різ­них ділянках кола виявляються по-різному і характеризують­ся одночасно силою струму і напругою. У спіралі лампочки те­плова дія струму виявляється значно більше, ніж у підвідних дротах, які з'єднують її з джерелом. Вимірявши напругу на лампочці, одержимо, що вона дорівнює 3 В. Якщо вимірювати напруги на кожному із з'єднувальних провідників, то стрілка вольтметра залишається на позначці 0 (мал. 2.58). Отже, щоб перемістити заряд 1 Кл по спіралі лампочки, електричне поле має виконати роботу 3 Дж.





Мал. 2.59

Переміщуючи 1 Кл електрики по дротині, яка з'єднує лам­почку з джерелом струму, електричне поле роботи не виконує. Точніше, в з'єднувальних провідниках вона така маленька, що вольтметр не може її виявити. Це означає, що різні провідни­ки мають різні провідні властивості й по-різному впливають на струм у них.

Візьмемо три різні за розмірами дротини, закріплені на ізо­лювальних панелях, які виготовлені зі спеціального сплаву і скручені у вигляді спіралей. Кінці спіралей закріплено на за­тискачах, щоб їх можна було легко увімкнути в коло.

Скористаємось джерелом струму, яке дає змогу одержува­ти різні постійні напруги на його затискачах (клемах). Таким джерелом є, наприклад, прилад, що перетворює змінну[[14]](#footnote-14) напру­гу мережі 220 В у постійну напругу до 24 В. Приєднаємо до джерела струму за допомогою з'єднувальних провідників ви­микач, спіраль з позначкою Ш та амперметр. До кінців спіра­лі (паралельно) приєднаємо вольтметр, який показуватиме на­пругу на спіралі, коли в ній є струм (мал. 2.59).

Увімкнемо вимикач і встановимо напругу на спіралі 1 В. Виявиться, що сила струму в колі 1 А. За напруги 1,5 В сила струму в колі і спіралі зростає до 1,5 А. Збільшимо напругу до

В. Сила струму в колі теж збільшиться до 2 А. За напруги

В сила струму в ній становить 3 А. Отже, для такого провід­ника відношення напруги до сили струму не змінюється і чи­сельно дорівнює

\_ 1В \_ 1,5 В \_ 2В \_ 3В \_ 1В

~ IX \_ 1,5 А \_ 2Х \_ зХ \_ А.

Замінимо спіраль на іншу, з позначкою 2^ . Встановлюва­тимемо за допомогою регулятора джерела на цій спіралі на­пруги 1, 2, 3, 4 В. Показання амперметра — відповідно 0,5, 1, 1,5, 2 А. Для другого провідника відношення напруги до сили струму становить

и2 \_ 1В \_ 2В \_ зв \_£В \_2в

\_ 0,5А \_ 1А \_ 1,5А \_ 2А \_ А .

Провівши експеримент із третьою спіраллю ( 3£2), одержи­мо такі результати:

15В 24В 3 В 6 В

из \_ 1,5В \_ 2,4В \_ 3В \_ 6В ПВ

І3 0,5 А 0,8 А 1А 2 А А

Результати проведених досліджень свідчать, що відношен­ня напруги до сили струму для одного й того самого про­відника не залежить від напруги і є сталим. Водночас для різних провідників це відношення різне.

Зверніть увагу!

За однакової напруги в різних провідниках сила струму різна. Це означає, що різна кількість електронів проходить через переріз про­відника за одиницю часу.

Властивість провідників впливати на силу струму в елек­тричному колі характеризують фізичною величиною, яку на­зивають опором.

Опір провідника позначають літерою И.

Щоб визначити опір провідника, потрібно напругу на його кінцях поділити на силу струму в ньому:

и = и. і

З двох провідників опір буде більший у того провідника, в якому за однакової напруги на їхніх кінцях сила струму буде меншою.

Одиницею опору в СІ є Ом (1 Ом).

1 Ом — це опір такого провідника, в якому за напруги 1 В на його кінцях сила струму дорівнює 1 А:

1 Ом =і® . 1 А

На практиці використовують й інші одиниці опору — мілі- ом (1 мОм), кілоом (1 кОм), мегом (1 МОм):

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

Ви вже здогадалися, що використані нами провідники у ви­гляді спіралей мають опори 1, 2 і 3 Ом. Для зазначення опору спеціально виготовлених провідників певного опору (їх нази­вають резисторами) використовують міжнародне позначен­ня — літеру грецького алфавіту (омега).



Для вимірювання опору можуть застосовуватися прилади, які називаються омметрами.

У наш час широкого розповсюдження набули ком­біновані прилади, які дають змогу вимірювати різ­ні електричні величини: силу струму, напругу, опір та ін. Такі прилади називаються мультиметрами (від англ. multimeter) або тестерами (від англ. test — випро­бування). Вони можуть бути як стрілкові (мал. 2.60), так і цифрові (мал. 2.61). За позначками на панелі перемикачів можна обрати потрібну вимірювану величину та діапазон (межі) її вимірювання.



Як можна на досліді показати, що різні провідники по-різному впливають на струм у колі?

Що називають опором провідника?

Як можна визначити опір провідника?

Яку одиницю приймають за одиницю опору?

Чи залежить опір провідника від сили струму, напруги?

Опір якого провідника вважають таким, що дорівнює 1 Ом?

За сили струму в провіднику 0,5 А напруга на його кінцях становить 5 В. Який опір цього провідника?

Як змінився опір провідника, якщо за сталої напруги на його кінцях сила струму в ньому зменшилася в 2 рази?

На лампочці для кишенькового ліхтарика написано: 3,5 В, 0,3 А. Який опір цієї лампочки?



Визначте та порівняйте опори двох провідників, якщо за напруги 4 В сила струму в них 0,5 А, а за напруги 8 В — 0,2 А.

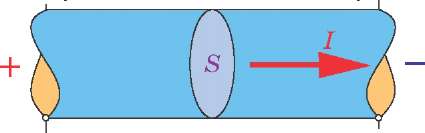
§ 18. ЗАЛЕЖНІСТЬ ОПОРУ ПРОВІДНИКА ВІД ЙОГО ДОВЖИНИ, ПЛОЩІ ПЕРЕРІЗУ ТА МАТЕРІАЛУ

З'ясуємо, від чого і як залежить опір провідника. Провід­ники, які використовують в електричних колах, розрізняють­ся довжиною І, площею поперечного перерізу 5, та матеріа­лом — речовиною, з якої вони виготовлені (мал. 2.62).

У досліді, описаному в § 17, мідні дротини, якими з'єднува­ли ніхромові спіралі з джерелом струму, мають дуже малий опір. Опір вольфрамової спіралі в десятки разів більший. Тому можна припустити, що опір залежить від матеріалу провідника.

Для перевірки цього припущення проведемо кілька дослідів.

У колах, зображених на мал. 2.63, використано прилад, що є панеллю із закріпленими між затискачами провідниками. Три з них (дротини) мають однакову довжину І = 1 м і одна­кову площу перерізу 5 = 0,3 мм2, але виготовлені з різних ма­теріалів: міді, заліза й ніхрому. Четвертий провідник зробле­ний з ніхрому, площа його перерізу 0,6 мм2. Ці провідники можна по черзі вмикати в коло. Тоді за однакової напруги на кінцях кола можна з'ясувати, як змінюватиметься сила стру­му в ньому залежно від речовини, з якої виготовлені провідни­ки. Про зміну сили струму свідчитиме зміна яскравості свічен­ня лампочки і зміна показань амперметра. Чим більший опір, тим менша сила струму і меншою буде яскравість свічення лампочки.



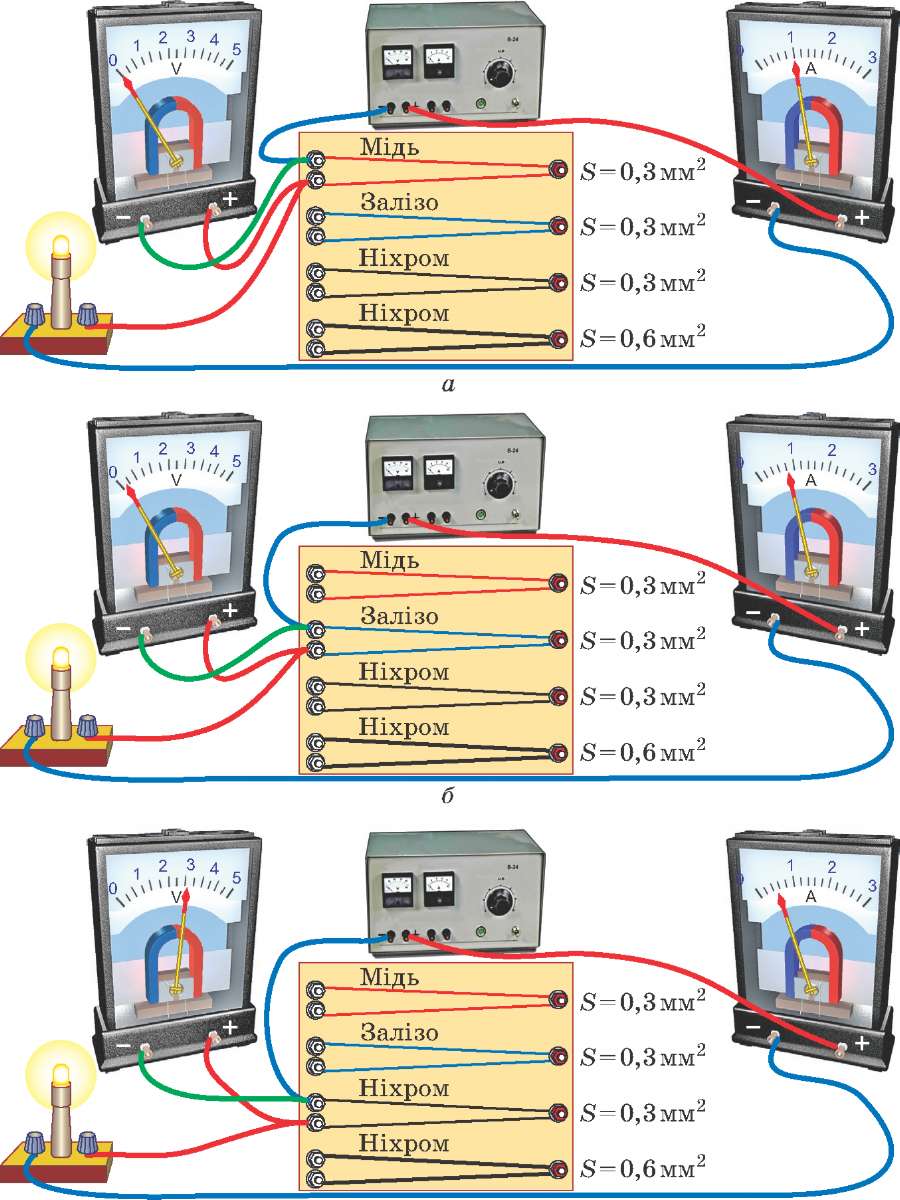
Я

Додамо в коло мідний провідник. Увімкнемо джерело жи­влення й відрегулюємо напругу на полюсах джерела так, щоб лампочка яскраво світилася. Амперметр джерела показує си­лу струму 1 А, а вольтметр — напругу на полюсах джерела 6 В. Стрілка демонстраційного вольтметра, приєднаного до кінців мідної дротини, ледь відхилилася від позначки 0. Ам­перметр, увімкнутий послі­довно із лампочкою в коло, і

показує теж силу струму 1 А (мал. 2.63, а).

Замінимо мідну дротину на залізну. За тієї самої напруги на джерелі помічаємо, що лампочка світить дещо слабкі-

розділ 2. електричні явища



ше, а амперметр показує силу струму 0,8 А. Стрілка вольтме­тра, приєднаного до його кінців, дещо відхилилася і показує напругу приблизно 0,2 В. Отже, опір залізного провідника, од­накового за розмірами з мідним, більший (мал. 2.63, б).

Вимкнувши залізний провідник і приєднавши ніхромовий, помічаємо, що лампочка ледь жевріє, сила струму в колі змен­шилася до 0,5 А, а напруга на кінцях ніхромового провідника збільшилася майже до 3 В. Опір ніхромового провідника ще більший, ніж залізного.

На підставі досліду можемо зробити висновок, що опір про­відника залежить від матеріалу, з якого він виготовлений.

Для порівняння властивостей провідників, виготовлених з різних матеріалів, чинити опір електричному струму, порівню­ють опори провідників з різних матеріалів однакової довжини 1 м і однакової площі поперечного перерізу 1 м2. Опір таких провідників характеризує властивості матеріалу (речовини) чинити опір струму. Його називають питомим опором провід­ника і позначають грецькою літерою р (ро).

Питомий опір чисельно дорівнює опору виготовлено­го з даного матеріалу провідника довжиною 1м і площею поперечного перерізу 1 м2.

Дослідимо як залежить опір провідника від його довжини. Для цього один з'єднувальний провідник від'єднаємо від чор­ного затискача ніхромової дротини і приєднаємо до червоної клеми. Так ми увімкнемо в коло лише половину довжини ніх­ромової дротини. Сила струму в колі одразу збільшується, і лампочка світить яскравіше. Зменшуючи увімкнуту в коло частину ніхромової дротини, можна переконатися, що сила струму в колі зростає. Отже, опір провідника залежить від його довжини: чим більша довжина провідника, тим біль­ший його опір і навпаки.

Увімкнемо в коло ніхромовий провідник такої самої довжи­ни, але більшого поперечного перерізу — 0,6 мм2 (мал. 2.64). Сила струму в колі значно збільшується. Опір провідника з більшим перерізом є меншим. Отже, опір провідника зале­жить від площі поперечного перерізу: чим більша площа по­перечного перерізу, тим менший опір провідника.

Таким чином, на підставі багатьох досліджень було встано­влено наступне.

Опір провідника залежить від матеріалу, з якого він ви­готовлений (питомого опору), прямо пропорційний довжи­ні й обернено пропорційний його площі поперечного перерізу.

За відомим опором матеріалу, довжиною й поперечним пе­рерізом провідника можна визначити його опір.

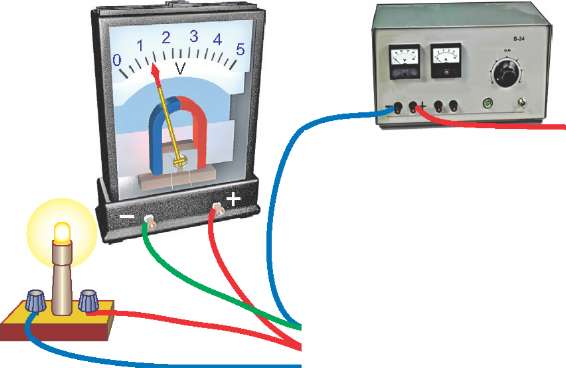
Оскільки питомий опір провідника — це опір провідника площею перерізу 1 мм2 і довжиною 1 м, то, щоб знайти опір провідника довжиною І і площею поперечного перерізу Б, необхідно питомий опір помножити на довжину провідника і поділити на площу його поперечного перерізу:

Я = р -.

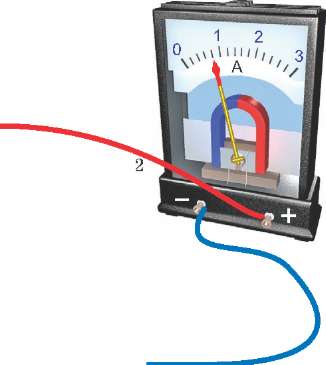
І навпаки, якщо відомо опір провідника, його довжину та площу поперечного перерізу, то питомий опір провідника мож-

Я5

на легко визначити: р = .



Мал. 2.64



5 = 0,3мм 5 = 0,3мм2 5 = 0,3мм2 5 = 0,6мм2

|  |  |
| --- | --- |
| Мідь ,, | |
| ІХ> | |
| Залізо © — | —Ж |
| ©  © Ніхром |  |
| ©  Ніхром | =© |

-

= 1 Ом • м.

Оскільки в СІ опір вимірюють у омах, довжину у метрах, а площу в квадратних метрах, то одиницею питомого опору в СІ є

1 Ом • 1 м2 1 м

Провідники, площа поперечного перерізу яких досягає квад­ратних метрів, майже ніде не використовують. Тому на прак­тиці частіше користуються іншою одиницею питомого опо-

Таблиця 2.2. Питомий електричний опір деяких речовин

при 20 °С

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Речовина | Питомий опір, Ом•мм[[15]](#footnote-15)м | Речовина | Питомий опір, Ом • мм2 м |
| Срібло  Мідь  Золото  АлюмініИ  Вольфрам  Латунь | 0,016 0,017 0,023 0,028 0,055 0,043—0,108 | Залізо, сталь Нікелін (сплав) Манганін (сплав) Константан (сплав) Ніхром (сплав) Хромель (сплав) | 0,10—0,13 0,40—0,45 0,42—0,48 0,44—0,52 1,00—1,10 1,30—1,50 |

Ом • \_ ч

ру — 1 (10 [[16]](#footnote-16) Ом • м), приимаючи за значення питомо-

м

го опору опір провідника довжиною 1 м і площею поперечно­го перерізу 1 мм2. Зрозуміло, що опір провідника площею по­перечного перерізу 1 м2 буде у стільки само разів меншиИ за опір провідника перерізом 1 мм[[17]](#footnote-17), у скільки разів 1 м[[18]](#footnote-18) більшиИ за 1 мм2, тобто у 1 000 000 = 106 разів.

ПитомиИ опір деяких речовин наведениИ у табл. 2.2

Ом • мм2

Наприклад, питомиИ опір міді Р си = 0, 01 7 озна-

м

чає, що мідниИ провідник довжиною 1 м і перерізом 1 мм2 чи­нить струму опір 0,017 Ом. ТакиИ самиИ за розмірами ніхро- мовиИ провідник чинить опір 1 Ом, що у 59 разів більше.

Формулу, що встановлює залежність опору провідника від Иого довжини, площі поперечного перерізу та матеріалу (пито­мого опору), широко застосовують для розрахунків властиво- стеИ провідників.

І = 50 м, й = 0,8 мм,

Ом • мм2

р = 0,028

м

Задача. ЯкиИ електричниИ опір у алюмінієвого дроту довжиною 50 м діаметром 0,8 мм?

Р о з в ' я з у в а н н я. В умові задачі наведено не всі дані. Частину їх потрібно буде знаИти в довідникових матеріалах (за таблицею питомих опорів матеріалів знаИ- демо рА1). Щоб визначити опір провідника,

Площу поперечного перерізу дроту знайдемо за відомим діамет­ром: 8 = п~ • Тоді

= 2,8 ом

Я = р — = р- 5

3,14 • 0,64 ММ2

4 • 50 м

= рД\_ = 0,028°МіММ

пй М

п-

4

Отже, опір алюмінієвого дроту довжиною 50 м і діаметром 0,8 мм становить близько 2,8 Ом.

В і д п о в і д ь: Н = 2,8 Ом.

Знаючи питомий опір провідника, площу його перерізу, можна легко визначити, якої довжини повинен бути провід­ник, щоб він мав потрібний опір.

Задача. Ніхромова спіраль для нагрівника електроплит­ки повинна мати електричний опір Н = 48 Ом. Якої довжини має бути ніхромовий дріт, площею перерізу 8 = 0,2 мм[[19]](#footnote-19), щоб виготовити таку спіраль?

Р о з в ' я з у в а н н я. Визначити довжину провідника можна, скориставшись формулою за­лежності опору провідника від його властиво­- о 1 1 ■ 7 Д8 стей: Н = р — . Звідси І = .

Я = 48 ом, 8 = 0,2 мм2,

Ом • мм

Р = 1

М

І — ?

в р Підставивши відповідні дані з умови задачі, одержимо

, 48 Ом • 0,2 мм2 „ „ І = = 9,6 м.

Ом • мм

1

М



Отже, для виготовлення спіралі нагрівника опором 48 Ом потрібно 9,6 м ніхромового дроту перерізом 0,2 мм2. В і д п о в і д ь: І ~ 9,6 м.

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

1. Що таке питомий опір провідника?
2. Запишіть формулу для визначення опору провідника.
3. Опір якого з провідників, сталевого чи нікелінового, біль­ший і у скільки разів, якщо у них однакові довжина і площа по­перечного перерізу?
4. Є два провідника з однакового матеріалу й однакового пе­рерізу. Довжина одного 20 см, а другого 2 м. Опір якого з провідників більший і у скільки разів?
5. Два провідники виготовлені з однакового матеріалу. Один з них у ві­сім разів довший за інший, а в другого площа поперечного перерізу удвічі більша, ніж першого. В якого з провідників більший опір і у скільки разів?
6. Ділянка кола між точками А і В тт.

. а Ніхром в А В

є ніхромовим провідником (мал. \_

2.65, а) Провідник склали удвічі й а б

увімкнули між точками А і В так, як Мал. 2.65

показано на мал. 2.65, б. Як змінився

опір ділянки кола між цими точками? Як змінилася сила струму в колі?

1. Довжина лінії електропередачі становить 2 км. Дроти лінії вигото­влено з алюмінієвих провідників із загальною площею перерізу 1 см2. Який опір у кожного з дротів цієї лінії?

10\*. Два відрізки сталевого дроту мають однакову масу. Довжина од­ного з них у десять разів більша за довжину другого. В якого з відрізків більший опір і у скільки разів?

11\*. Щоб визначити довжину мотка мідного дроту, його спочатку зва­жили і виміряли діаметр. Потім до його кінців приєднали вольтметр і при­єднали до джерела струму, увімкнувши послідовно амперметр. Результа­ти вимірювань такі: маса дроту т = 445 г, діаметр б = 0,8 мм, за сили струму I = 1 А напруга на кінцях мотка становить и = 3,5 В. Яка довжина дроту в мотку?

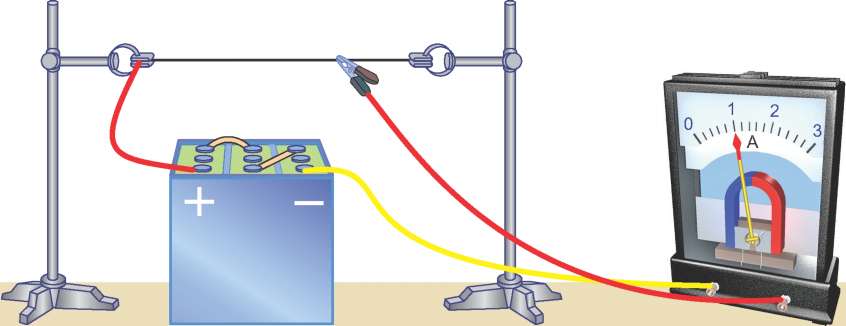
§19. РЕОСТАТИ

Досить часто виникає потреба змінювати сили струмів і на­пруги в електричних колах. Для плавного запуску електродви­гунів трамваїв і тролейбусів, для зміни яскравості освітлення в кінотеатрах і зміни швидкості обертання двигунів, також у багатьох інших випадках для регулювання струмів і напруг використовують змінні резистори, які називаються реостати.

Реостат — електричний прилад, яким змінюють опір електричного кола, регулюють силу струму або напругу.



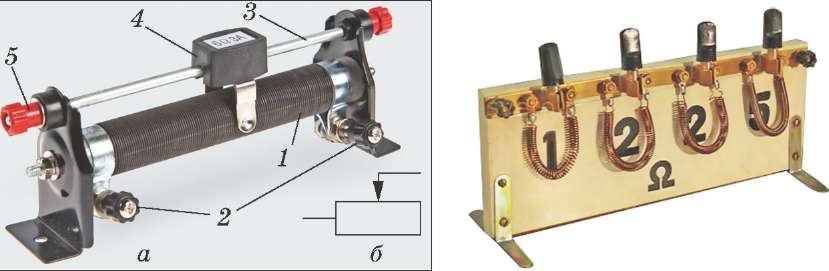
Реостат складається з провідника або набору провідників та пристрою регулювання електричного опору. Опір реостата можна змінювати плавно або східчасто.



Мал. 2.66

Як ви вже знаєте, опір провідника залежить від матеріалу, з якого він виготовлений, площі його поперечного перерізу та довжини. Щоб змінити опір, найпростіше змінити довжину провідника. Натягнемо дріт, у якого великий питомий опір, наприклад ніхромовий, між двома штативами. Один його кі­нець під'єднаємо до джерела з'єднувальним провідником, який чинить незначний опір. До іншого полюса джерела при­єднаємо амперметр, а до нього — з'єднувальний провідник із затискачем на іншому кінці. Затискач встановимо на середині ніхромової дротини і використовуватимемо як рухомий кон­такт (мал. 2.66). Замкнемо коло. Пересування рухомого кон­такту (затискача) уздовж дротини вправо збільшує довжину увімкнутої в коло частини провідника. Опір кола збільшуєть­ся, а сила струму в ньому відповідно зменшується. Навпаки, унаслідок переміщення рухомого контакту вліво опір змен­шиться, а сила струму збільшиться. Якщо додатково увімкну­ти в коло електричну лампочку, то, пересуваючи рухомий кон­такт уздовж дротини, можна плавно змінювати яскравість її свічення.

Цей спосіб зміни опору і регулювання сили струму в колі застосовують у реостатах з ковзним контактом (мал. 2.67, а). Зазвичай для виготовлення реостатів використовують дріт, що має великий питомий опір. Щоб зменшити розміри реостата і щоб ним було зручніше користуватися, дріт щільно (виток до витка) в один ряд намотують на керамічний циліндр 1. Дріт попередньо спеціально обробляють: вкривають тонким шаром окалини, яка є ізолятором. Тому витки дроту ізольовані один



Мал. 2.67

Мал. 2.68

від одного. Кінці дроту закріплюють на керамічному циліндрі і з'єднують із затискачами 2. Над обмоткою розташовано металевий стрижень 3, по якому уздовж обмотки рухається ковзний контакт — повзун 4. На кінцях стрижня теж встано­влюють затискачі 5. Контакти повзуна під час руху притиска­ються до витків обмотки і стирають окалину. Для регулюван­ня сили струму реостат вмикають у коло за допомогою зати­скача, з'єднаного з одним кінцем обмотки 2, та затискача 5, встановленого на стрижні. Переміщуючи повзун уздовж на­прямного стрижня, у коло вмикають більше або менше витків обмотки реостата і відповідно зменшують або збільшують включений у коло опір.

На кожному реостаті завжди зазначають опір його обмотки та допустиму силу струму. Перевищення допустимого значен­ня сили струму спричиняє нагрівання реостата і, як наслідок, його руйнування. На електричних схемах реостат зображають як на мал. 2.67, б.

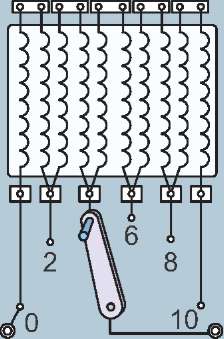


Реостати можуть мати й іншу конструкцію. На мал. 2.68 зображено найпростіший штепсельний реостат, або "магазин опорів". За його допомогою можна одержувати фіксовані зна­чення опору від 1 до 10 Ом.

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

1. Накресліть схему електричного кола, що складається з джерела струму, лампочки вими­кача та реостата, за допомогою якого можна бу­ло б змінювати яскравість свічення лампочки.
2. На мал. 2.69 зображено ступінчастий ре­остат. Поясніть його будову і принцип дії.

7. Необхідно виготовити повзунко­вий реостат, максимальний опір якого становить 6 Ом. Є ніхромовий дріт діа­метром 0,5 мм. Яка має бути довжина дроту, намотаного на реостат?



В/ ^е

Мал. 2.69



8\*. Скільки витків нікелінового дроту площею перерізу 0,8 мм[[20]](#footnote-20) потрібно намотати на кераміч­ний циліндр для виготовлення реостата опором 30 Ом? Діаметр керамічного циліндра 7 см. Якою має бути його довжина?

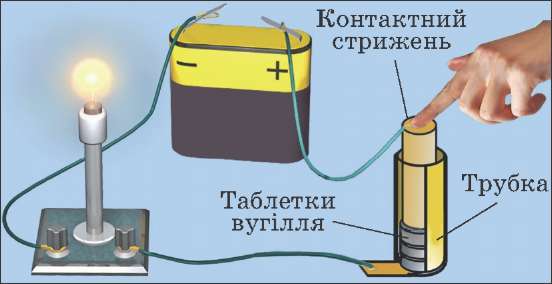
Опір провідників і напівпровідників залежить від температури та інших зовнішніх впливів: тиску, опромінення та ін.

Якщо на провідник діють сили, вони спричиняють його де­формацію (розтяг, стиск) і, відповідно, зміну довжини й площі по­перечного перерізу. Унаслідок цього опір провідника теж змінюється. Змі­ну опору твердих провідників і напівпровідників, спричинену їхньою де­формацією, називають тензорезистивним ефектом, або тензоефек- том. Це явище широко використовується в чутливих деформаційних дат­чиках, електронних динамометрах та терезах.

Тензодатчики ваги дають змогу вимірювати масу від 1 г і працюють у широкому діапазоні температур. їх використовують як вимірювальний еле­мент у автомобільних, бункерних та кранових терезах, у дозаторах. Ши­роко застосовують тензодатчики у випробувальному обладнанні для дос­лідження деформацій різних деталей та будівельних конструкцій, а також в обладнанні для наукових досліджень.



Простий тензодатчик можна виготовити самостійно. У багатьох з вас удома є таблетки активованого вугілля, які можна використати як тензо- елемент датчика. Склейте з двох-трьох шарів паперу трубку довжиною 5— 6 см. Для цього стрічку паперу намотайте на олівець або інший стрижень, діаметр якого трохи більший за діаметр таблетки, і проклейте. Можна ско­ристатися відрізком пластмасової трубки відповідного діаметру. В одне денце трубки вклейте контакт, вирізаний із жерсті. Вкладіть 2-3 таблетки в трубку, помістіть на них металеву шайбу і вставте металевий стрижень. Складіть коло, увімкнувши послідовно джерело струму (1,5—4,5 В), лам­почку (1—3,5 В) та виготовлений вами тензодатчик. Кількість таблеток ву­гілля підберіть експериментально. Лампочка повинна ледь жевріти. Якщо



Мал. 2.70

на стрижень тензодатчика натиснути пальцем (мал. 2.70), лампочка світи­тиме яскравіше. Чим більша сила тиску, тим менший опір таблеток і яс­кравіше світить лампочка.

Запропонуйте модель електричних терезів або іншого пристрою з ви­користанням такого тензодатчика.

РЕЗИСТОРИ

Виготовляючи різноманітні електронні прилади, використовують спеціальні провідники з певними опорами — резистори (від лат. гєбібіо — опираюся). За допомогою резисторів встановлюють потрібні значення сил струмів у різних ділянках електричних кіл.

Резистори виготовляють зі спеціальних матеріалів. Щоб розрізняти резистори, їх маркують. Значення опорів нано­сять на поверхню резисторів як написи або кольорові смуж­ки. Є й інші способи маркування резисторів. За зовнішнім виглядом і маркуванням можна визначити опір резистора, на які сили струмів він розрахований, його конструктивні особливості. На мал. 2.71 зображено резистори, що застосо­вують у радіоприймачах, блоках комп'ютерів та інших електронних приладах. Це постійні резистори, опір яких майже не змінюється з часом. На електричних схемах рези­стори позначають прямокутниками та літерою И. Поруч із літерою ставиться цифра — номер резистора в даній схемі та значення його опору.



Для регулювання гучності в радіоприймачах, магнітофо­нах, звукових колонках, під час налагодження електронних пристроїв використовують змінні резистори (мал. 2.72).



Мал. 2.71 Мал. 2.72

Поворотом ручки або пересуванням важіля змінюють опір резистора і силу струму в колі. Змінні резистори мають провідний шар з великим питомим опором (резистивний шар). Є дротяні змінні резистори. У них на каркас намота­но дріт з великим питомим опором, по якому рухається ковзний контакт. У коло резистор вмикають за допомогою виводів 1 і 2 провідного шару та виводу 3, з'єднаного з ков­зним контактом. Чим на більший кут повертають ручку змінного резистора, тим більшу частину провідного шару буде увімкнуто в коло. Змінні резистори, як і реостати, зо­бражають прямокутниками зі стрілкою, що позначає ков­зний контакт.

У сучасній електронній техніці використовують й інші принципи зміни опору. Є резистори, опір яких змінюється зі зміною напруги. їх називають варісторами. Резистори, опір яких залежить від температури, називають термісто­рами або термоопорами. Фоторезистори змінюють свій опір унаслідок опромінення світлом.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4 Вимірювання опору провідника за допомогою амперметра й вольтметра

Завдання. Визначити опір запропонованих провідників (ре­зисторів), використавши амперметр і вольтметр.

Обладнання: джерело струму; з'єднувальні провідники; провідник (резистор), опір якого необхідно виміряти; реостат; амперметр; вольтметр; вимикач.

Підготовка до проведення експерименту

1. Запишіть формулу для визначення опору провідника.
2. Пригадайте правила увімкнення амперметра і вольтме­тра в електричне коло для вимірювання сил струмів і напруг.
3. Накресліть схему електричного кола з послідовно увім­кнутих джерела струму, провідника (резистора), опір якого необхідно виміряти, амперметра для вимірювання сили стру­му в провіднику, вольтметра для вимірювання напруги на ньо­му та реостата для зміни сили струму в колі (мал. 2.73).



§19. Реостати

1. Підготуйте таблицю для занесення результатів вимірю­вань і обчислень.

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Номер досліду | Сила струму І, А | Напруга  и, В | Опір Д, Ом |
| 1 |  |  |  |
| 2 |  |  |  |
| 3 |  |  |  |

Джерело струму о\_ + о-

Мал. 2.73

Проведення експерименту

* 1. Складіть електричне коло за накресленою схемою, увім­кнувши послідовно джерело струму, реостат, досліджуваний провідник (резистор), амперметр, ключ.
  2. Виміряйте силу струму в колі, результат занесіть до таблиці.
  3. Приєднайте вольтметр до кінців досліджуваного провід­ника і виміряйте напругу на ньому.
  4. Змініть за допомогою реостата опір кола і повторіть ви­мірювання сили струму і напруги на його кінцях в досліджу­ваному провіднику.
  5. За результатами вимірювань сил струмів і напруг виз­начте опори провідників в кожному випадку.
  6. Результати вимірювань і обчислень занесіть до таблиці.



* 1. Зробіть висновок щодо залежності опору провідника від сили струму і напруги.

§ 20. ЗАКОН ОМА ДЛЯ ДІЛЯНКИ КОЛА

Вимірюючи напругу на кінцях ділянки кола і силу струму в провідниках цієї ділянки, ми переконалися, що чим більша напруга на кінцях ділянки, тим більша сила струму в ній (§ 17). Окрім того, сила струму в колі залежить і від опору

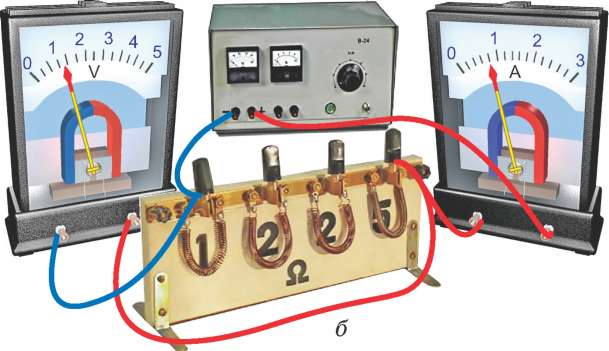
провідника.

У 1827 р. німецький вчений Г. Ом (1789—1854 рр.) уперше сформулював і обґрунтував закон, який встановлює взаємозв'язок між силою струму, напругою і опором у електричному колі. Цей закон було названо його ім'ям.

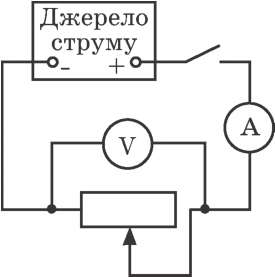
Складемо електричне коло за схемою, зображеною на мал. 2.74, а. Загальний вигляд кола наведено на мал. 2.74, б. Використовуване нами джерело струму дає змогу змінювати напругу, в нього вмонто- Георг Симон Ом вано вимикач. Тому на мал. 2.74, б

вимикач не зображено. За допомо­гою магазину опорів (штепсельного реостата) можна змінюва­ти опір ділянки кола.

Дослідимо спочатку залежність сили струму, який протікає через магазин опорів, від напруги на ньому. Встановимо на ма­газині опорів значення Я = 2 Ом і дослідимо, як змінювати­меться сила струму в провідниках магазину опорів унаслідок зміни напруги. Послідовно встановлюючи напругу на зати­скачах магазину опорів 1, 2, 3 В, можна переконатися, що ам­перметр при цьому показує силу струму 0,5, 1,0, 1,5 А. Якщо встановити опір 4 Ом, то значення сили струму за напруг 2, 4, 6, 8 В будуть становити відповідно 0,5, 1, 1,5 2 А. Результати дослідів наведено нижче.



Мал. 2.74



На підставі результатів дослідів можна дійти такого вис­новку: сила струму на ділянці кола прямо пропорційна на­прузі на кінцях ділянки.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметр | Значення | | | | | | |
| Я = 2 Ом | | | Я = 4 Ом | | | |
| Напруга, В Сила струму, А | 1  0,5 | 2 1 | 4 2 | 2  0,5 | 4 1 | 6  1,5 | 8 2 |

Залежність сили струму в провіднику від прикладе­ної до його кінців напруги називають вольтамперною ха­рактеристикою провідника.

Вольтамперні характерис­тики провідників можна пода­ти у вигляді графіків залеж­ності сили струму від напруги (мал. 2.75). Зверніть увагу, вольтамперна характеристика (графік залежності сили стру­му від напруги) для провідни­ка опором 4 Ом мас менший кут нахилу до осі напруги, ніж вольтамперна характеристика для провідника опором 2 Ом.

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  | / |  |  |  |  |
|  |  | / |  |  |  |  |  |
|  | / |  |  |  |  |  |  |
| / |  |  |  |  |  |  |  |

Я=2Ом

Я = 4 Ом

1

2-

0

6 7 и,В

2 3 4 5 Мал. 2.75

З'ясуємо, як залежить сила струму в провіднику (ділянці кола) від опору провідника, якщо на кінцях ділянки напруга не змінюється. Для цього встановимо початковий опір магази­ну опорів 1 Ом і напругу на ньому 2 В. Виявиться, що сила струму становить 2 А. Підтримуючи напругу на затискачах магазину опорів 2В, збільшуватимемо його опір. Результати дослідів наведено нижче.

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Параметр | Значення | | | | | |
| и=2 В | | | и =4 В | | |
| Опір, Ом | 1 | 2 | 4 | 2 | 4 | 8 |
| Сила струму, А | 2 | 1 | 0,5 | 2 | 1 | 0,5 |

І,А За опору 2 Ом сила струму

2 ги= 4в—і становить 1 А, за опору 4 Ом —

0,5 А. Можна підтримувати на ділянці кола напругу 4 В. Тоді за опорів ділянки 2, 4, 8 Ом си­ла струму також становитиме відповідно 2, 1, 0,5 А. Отже, за постійної напруги на кінцях ді­лянки кола сила струму зміню­ється обернено пропорційно до опору провідників цієї ділянки. Графіки залежності сили струму від опору провідників для на­пруг 2 і 4 В наведено на мал. 2.76.

На підставі результатів багатьох дослідів було встановлено закон Ома для ділянки кола.

Сила струму в провідниках ділянки кола прямо пропорційна напрузі на кінцях цієї ділянки і обернено пропорційна її опору.

Запишемо його у вигляді формули

І = и,

я

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | и | = 4 | в |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
| и | =21 | зЧ |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |

1 2 3 4 5 6 7 Я,Ом Мал. 2.76

1

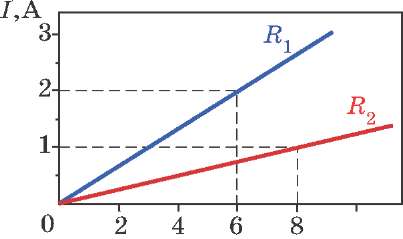
0

де І — сила струму в ділянці кола; и — напруга на кінцях ці­єї ділянки; Я — опір ділянки кола.

Закон Ома широко застосовують для розрахунків різних електричних кіл. Скориставшись ним, можна визначити на­пругу на кінцях ділянки кола, якщо відомі її опір і сила стру­му в ній: и = ІЯ, або опір ділянки за відомими напругою і си­лою струму: Я = и .







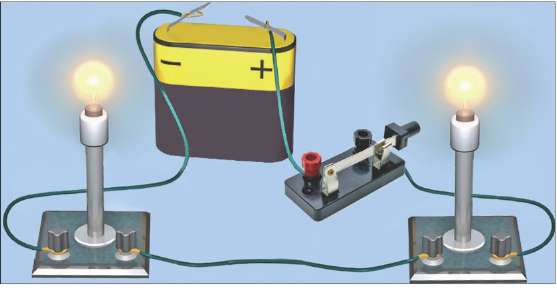
и,в

Закон Ома для ділянки кола не виконується, якщо ділян­ка кола не однорідна, змінюється температура або тиск. Адже у таких випадках опір провідників теж змінюється.

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

Розділ 2. ЕЛЕКТРИЧНІ ЯВИЩА

1. Розрахуйте силу струму, що проходить через реостат, виготовле­ний з нікелінового дроту довжиною 50 м і площею поперечного перерізу 1 мм[[21]](#footnote-21), якщо напруга на затискачах реостата 45 В.



+

/

1. У нагрівальному елементі електричного чайника сила струму 4 А за напруги 120 В. Знайдіть опір елемента і питомий опір матеріалу, з яко­го зроблено його спіраль, якщо площа поперечного перерізу дроту 0,24 мм2, а довжина 18 м.

§ 21. ПОСЛІДОВНЕ З'ЄДНАННЯ ПРОВІДНИКІВ

Якщо в електричне коло вмикають кілька споживачів, їх можна з'єднувати по-різному. Електрична гірлянда новорічної ялинки складається з багатьох лампочок. Вони з'єднані так, що струм від позитивного полюса джерела послідовно через кожну лампочку проходить до негативного полюса. Якщо од­на лампочка перегорає, струм зникає в усіх лампочках — електричне коло виявляється розімкнутим.

З'єднання, за якого кінець одного провідника з'єдну­ється з початком наступного, називають послідовним з'єднанням провідників.

Приклад кола з послідовним з'єднанням двох лампочок на­ведено на мал. 2.78.

З'ясуємо, як пов'язані між собою, напруги, опори і сили струмів в колах з послідовним з'єднанням провідників.

Через поперечний переріз будь якого провідника за один і той самий час при їхньому послідовному з'єднанні проходить однаковий заряд, тому I = I = І2.

У разі послідовного з'єднання провідників сила струму в будь-яких провідниках кола однакова.

Електричне поле, створюване джерелом, виконує роботу з переміщення заряджених частинок у кожному провіднику ко­ла. Тому загальна робота А, яка виконується під час протікан­ня струму в колі, дорівнює сумі робіт, виконуваних полем у кожному з провідників. Для двох послідовно з'єднаних провід­ників її визначають так: А = А1 + А2. Ви вже знаєте, що робо­ту поля можна знайти як добуток напруги на кінцях ділянки на перенесений по ній заряд. Оскільки за однаковий час через поперечний переріз провідника проходить один і той самий за­ряд, можна записати А = ид, А1 = ихд, А2 = и2д. Отже, ид = = ид + Ц2д. Поділивши праву і ліву частини рівності на д одержимо и = иі + и2.

Загальна напруга на послідовно з'єднаних провідниках дорівнює сумі напруг на кожному з провідників.

Загальну напругу на всій ділянці з послідовним з'єднанням провідників можна визначити, скориставшись законом Ома. Для цього потрібно силу струму в ділянці І помножити на загальний опір Я послідовно з'єднаних провідників: и = ІЯ. Так само можна визначити й напруги на кожному з провідни­ків ділянки: иі = ІЯХ, и2 = ІД2. Оскільки загальна напруга на ділянці з послідовним з'єднанням дорівнює сумі напруг на кожному провіднику ділянки, а сили струму однакові, то ІЯ = ІЯ1 + ІД2, або

Я = Яі + Д2.

Загальний опір ділянки кола з послідовним з'єднанням провідників дорівнює сумі опорів окремих провідників.

Зрозуміло, якщо в коло увімкнуто послідовно не два, а біль­ше провідників, то з'ясовані нами закономірності будуть спра­ведливі для будь-якої їх кількості. Якщо ви увімкнете в коло декілька провідників (наприклад, резисторів) з однаковим опо­ром, то загальний опір такої ділянки простіше знайти, помно­живши значення опору одного провідника на їхню кількість.

Розділ 2. ЕЛЕКТРИЧНІ ЯВИЩА

Амперметр для вимірювання сили струму вмикають у коло послідовно. Фактично амперметр показує значення сили стру­му, що проходить через нього. Щоб включення в коло ампер­метра не впливало на загальний опір кола і не спричиняло змі­ни сили струму в ньому, опір амперметра має бути якомога меншим. У ідеального амперметра його власний опір має до­рівнювати нулю.

Перевірити усі ці закономірності послідовного з'єднання ви зможете, виконавши лабораторну роботу з дослідження послі­довного з'єднання провідників.

Задача. Ділянка кола складається з двох резисторів з опорами Я1 = 2 Ом і Я2 = 4 Ом, які увімкнуто послідовно. ді д2 Вольтметр, приєднаний до кінців ділянки,

|  |  |
| --- | --- |
| Я1 = | 2 Ом, |
| Я2 = | 4 Ом, |
| и = | 9 В |
| Я — | ? |
| І — | ? |
| и - | \_ ? |
| и 2 - | \_ ? |

показав напругу и = 6 В. Визначте загаль­ний опір ділянки з послідовним з'єднанням цих провідників, силу струму в ділянці та Мал 2 79 напругу на кожному з резисторів.

Р о з в ' я з у в а н н я. Зобразимо схему ділян­ки, як на мал. 2.79, і запишемо скорочено умову задачі. Загальний опір ділянки у цьому випадку визначимо як

Я = Я1 + Я2 = 2 Ом + 4 Ом = 6 Ом.

Згідно з законом Ома сила струму на ділянці ста­новить

= 1,5 А

9 В

І = и =

Я 6 Ом

Такими самими будуть і струми в кожному резисторі:

Іі = І2 = І = 1,5 А. Розрахуємо напругу на першому резисторі:

и1 = І1Я1 = 1,5 А • 2 Ом = 3 В; на другому резисторі:

и2 = І2Я2 = 1,5 А • 4 Ом = 6 В. Цю напругу можна визначити й інакше: віднявши від за­гальної напруги на ділянці напругу на першому резисторі:

и2 = и - и1 = 9 В - 3 В = 6 В.

§ 21. Послідовне з'єднання провідників

Отже, загальний опір ділянки кола Я = 6 Ом, сила струму в ділянці І = 1,5 А, напруги на резисторах: иі = 3 В, и 2 = 6 В.

Відповідь: Я = 6 Ом, І = 1,5 А, иі = 3 В, и2 = 6 В.

Те, що при послідовному з'єднанні провідників напруга на з'єднанні дорівнює сумі напруг на окремих резисторах, вико­ристовують у подільниках напруги.

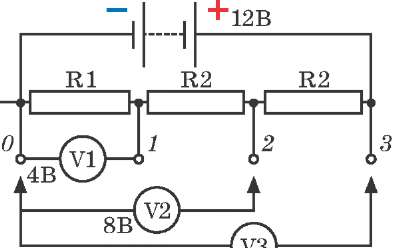
Задача. Є джерело струму, напруга на клемах якого ста­новить 12 В, і три резистори з опорами по 8 Ом кожний. Які напруги можна одержати при їхньому послідовному з'єднанні?

Р о з в ' я з у в а н н я. З'єднаємо усі три резистори послідовно і приєднаємо до джерела струму напругою 12 В (мал. 2.80). Оскільки загальна напруга на цих резисто­рах дорівнює сумі напруг, можна знайти напруги и1 — на першому резисторі, и1 + и2 + и12 — на двох резисторах і и1 + и2 + из = и123 — загальну напругу на всій ділянці.

Загальний опір ділянки кола дорівнює сумі опорів усіх трьох резисторів:

Я = Я1 + Я2 + Я3 = 24 Ом.

Силу струму в ділянці і в кожному резисторі у разі послідов­ного з'єднання визначимо за законом Ома для ділянки кола:



12В Мал. 2.80

І \_ и \_ 12 В \_ Я ~ 24 Ом

\_ 0,5 А.

Напруга на кожному з резисторів буде однаковою і стано­витиме: и1= ІЯ1 = 0,5 А • 8 Ом = 4 В, и1 = и2 = из = 4 В.

Тому вольтметр У1, приєднаний до затискачів 0—1, покаже напругу и1 = 4 В; вольтметр У2, приєднаний до затискачів 0—

2, покаже напругу и2 = 8 В, а вольтметр У3, увімкнутий між затискачами 0—3, показуватиме напругу из = 12 В — таку, як і на джерелі. У цьому випадку від джерела напругою 12 В поділь­ник напруги дає змогу одержати три значення напруги: 4, 8 і 12 В.

|  |  |
| --- | --- |
| и = 12 В, |  |
| Я1 = Я2 = Я3 | = 8 Ом |
| и1, и 12, и 123 | ? |

Відповідь: и1 = 4 В, и 12 - 8 В, и 12з - 12 В.

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

1. Яке з'єднання провідників називають послідовним?
2. Що можна сказати про значення сил струмів у різних провідниках, якщо вони з'єднані послідовно?
3. Як можна визначити напругу на ділянці кола, яка складається з кіль­кох провідників, якщо напруга на кожному окремому провіднику відома?
4. Чому дорівнює загальний опір ділянки кола, яка складаєть­ся з двох провідників з опорами 5 Ом і 9 Ом?
5. Ділянка кола, напруга на кінцях якої 5 В, складається з двох послідовно з'єднаних резисторів опорами 4 і 6 Ом. Яка си­ла струму в ділянці та напруга на кожному з резисторів?
6. Напруга в освітлювальній мережі становить 220 В. Яку мінімальну кількість лампочок, розрахованих кожна на напругу 6 В, необхідно мати і як їх увімкнути, щоб виготовити ялинкову гірлянду?
7. Ділянка кола складається з трьох послідовно з'єднаних провідників опорами 2, 4, 6 Ом. Сила струму в ділянці становить 1,5 А. Який опір ді­лянки кола? Яка напруга на всій ділянці та на кожному з провідників?
8. Яким буде опір ділянки кола, утвореної десятьма послідовно увім­кнутими резисторами з опорами 2 Ом кожний?
9. Коли перемикач знаходиться в положенні 1, амперметр показує си­лу струму 0,5 А, а в положенні 2 — силу струму 2 А (мал. 2.81). Знайдіть опір кожного резистора, якщо напруга на затискачах кола становить 12 В.





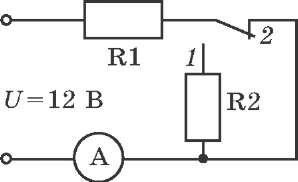
10\*. Для плавного регулювання напруги від 0 до максимального зна­чення, яке можна одержати за допомогою джерела, використовують реостат з трьома виводами. Його вмикають так, як показано на мал. 2.82. Поясніть, чому за такого увімкнення реостата можна плавно регулювати напругу. В якому положенні має знаходитися повзун реостата, щоб на­пруга між його затискачами 1 і 3 становила 0? За якого положення пов­зуна реостата значення напруги між затискачами 1 і 3 дорівнює полови­ні значення напруги на джерелі, напрузі на джерелі?

+

н н

>

4+



-с

Мал. 2.82

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5 Дослідження електричного кола з послідовним з'єднанням провідників

Завдання. Експериментально перевірити закономірності по­слідовного з'єднання провідників.

Обладнання: джерело струму; з'єднувальні провідники; ам­перметр; вольтметр; реостат; два дротяні резистори (ніхромові спіралі на колодочках); вимикач.

Підготовка до проведення експерименту

* 1. Пригадайте основні закономірності послідовного з'єднан­ня провідників.
  2. Пригадайте правила увімкнення амперметра для вимі­рювання сил струмів на різних ділянках кола та вольтметра для вимірювання напруг на різних ділянках кола.
  3. Накресліть схему кола з послідовно увімкнутими джере­лом струму, двома дротяними резисторами, вимикачем та ам­перметром.
  4. Визначте ціну поділок амперметра і вольтметра.
  5. Підготуйте таблицю для занесення результатів вимірю­вань та обчислень.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Сила струму на різних ділянках кола | | | Напруга на окремих резисторах і И2 та на всій ділянці кола | | | Опір окремих резисторів і И2 та усієї ділянки кола Д | | |
| її, А | І2, А |  | иї, В | и2, В | и, В | Я1, Ом | Д2, Ом | Д, Ом |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Проведення експерименту

* + 1. Складіть електричне коло. Увімкніть амперметр на різ­них ділянках кола, виміряйте сили струмів та запишіть зна­чення сил струмів у таблицю.
    2. Виміряйте напругу на окремих резисторах і всій ділян­ці, яка складається з двох резисторів.
    3. Визначте за результатами вимірювань опір усієї ділянки з двох резисторів та окремих резисторів.
    4. Змініть силу струму в колі за допомогою реостата та пов­торіть дослід.



* + 1. Проаналізуйте одержані результати. Зробіть висновки.

§ 22. ПАРАЛЕЛЬНЕ З'ЄДНАННЯ ПРОВІДНИКІВ

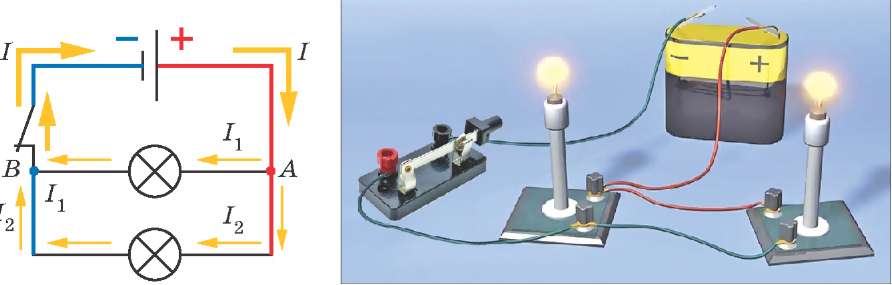
Приклад простого кола з паралельним з'єднанням двох лампочок показаний на мал. 2.83. На схемі кольором виділе­но відповідні з'єднувальні провідники.

Паралельним називають таке з'єднання провідників (резисторів, споживачів та інших елементів кола), за якого початок одного провідника з'єднують з початком іншого й так само з'єднують кінці провідників.

Паралельне з'єднання провідників використовується, зокре­ма, в електромережі наших квартир і будинків. За допомогою вимикачів можна увімкнути чи вимкнути світильник, одну чи кілька ламп у люстрі, телевізор або інший прилад. За такого з'єд­нання від'єднання від мережі чи увімкнення одного або кількох приладів практично не впливає на роботу інших приладів.

У точці з'єднання провідників А (див мал. 2.83) струм, що надходить від джерела, розгалужується й далі поширюється в різних ділянках. У точці з'єднання В струми окремих ділянок ніби зливаються. Моделлю-аналогом такого з'єднання може бути розгалуження у трубах водяного опалення в будинках. Потік води підводиться до будинку по одній трубі, потім роз­галужується по трубах, що постачають тепло в окремі кварти­ри. Пройшовши по батареях опалення в різних квартирах, во­да надходить до спільної труби й повертається до котельні.

Позначимо силу струму в одній лампочці Іх, а в другій — І2 Електричний заряд не може накопичуватися. Із закону збе­реження заряду випливає, що сила струму до розгалуження повинна дорівнювати силі струму в точці, де сходяться провід-



ники (В). Тому сила струму І до і після розгалуження дорів­нює сумі сил струмів у кожному з провідників: І = І1 + І2.

У разі паралельного з'єднання провідників сила струму до (і після) розгалуження дорівнює сумі сил струмів у кожному з провідників.

Точки А і В є спільними для усіх паралельно з'єднаних провідників. Тому напруга на ділянці між цими точками роз­галуження і на кожному з паралельно з'єднаних провідників однакова. У нашому випадку — з'єднання двох провідників (лампочок): — = —1 = —2.

Напруга на ділянці з паралельно з'єднаними провідниками дорівнює напрузі на кожному з провідників.

Позначимо опори паралельно з'єднаних провідників Я1 та Я2. Згідно з законом Ома можна записати: и = ІЯ = І1Я1 = І2Я2.

Звідси — = -Я- . Це означає, що у випадку паралельного з'єд- І2 Я1

провідників сили струму в окремих провідниках обер­нено пропорційні до їх опорів. Чим більший опір провідника, тим менша сила струму в ньому.

За законом Ома сила струму на ділянці кола дорівнює на­прузі, поділеній на загальний опір ділянки: І = —. Силу стру­Я

му в кожному з паралельно з'єднаних провідників можна знайти, поділивши напругу на його кінцях на опір провідника.

Тоді І1 = —- = — , І2 = и2 = и~. Оскільки сила струму на ді-

Яі Яі Я2 Я2

лянці з паралельним з'єднанням дорівнює сумі сил струмів у

кожному з провідників ділянки, маємо І = І1 + І2, І = —— + -— =

[—+—^ Я1 Я2

[ 1 + ± ^ Я1 Я2

, або и = и Я

= и

Я1 Я2

111

Звідси — = 1 .

Я Яі Я2

У разі паралельного з'єднання провідників величина, обернена до загального опору ділянки кола, дорівнює сумі величин, обернених до опорів кожного з провідників.

Задача. Нехай ділянка кола складається з трьох пара­лельно з'єднаних резисторів однакового опору по 3 Ом кож­ний. Який загальний опір цієї ділянки?

Р о з в ' я з у в а н н я. Згідно з вста­новленою для паралельного з'єднання за­Д ? кономірністю

1 1 + 1 + 1 д 1 Я3 + Д Дз +

Я Я^ Дз Д ^1^2 Дз

Підставивши значення опорів, одержимо

11113 1

Яг = Я2 = Я3 = 6 Ом

Я 6 Ом 6 Ом 6 Ом 6 Ом 2 Ом Отже, Я = 2 Ом.

Опір паралельного з'єднання трьох резисторів, опорами 6 Ом кожний, становить 2 Ом. В і д п о в і д ь: Я = 2 Ом.

Як бачимо, загальний опір з'єднання трьох однакових па­ралельно з'єднаних резисторів виявився в три рази меншим за опір кожного окремого резистора.

Якщо провідники однакового опору з'єднуються паралельно, то загальний опір з'єднання дорівнює опору одного провідника, поділеному на кількість провідників.

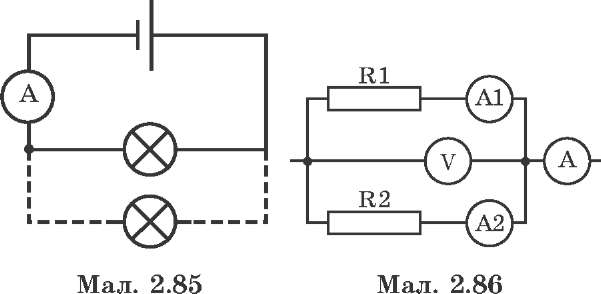
Зазначимо, що у разі паралельного з'єднання загальний опір ділянки завжди буде меншим за опір провідника з най­меншим опором.



Щоб вольтметр показував напругу на кінцях ділянки кола, через нього має проходити струм. Фактично, вольтметр пока­зує напругу на самому собі. Щоб включення вольтметра не вносило змін у електричне коло, його опір має бути якомога більшим, а сила струму в ньому — мінімальною. Ідеальним вольтметром є такий, опір якого безмежно великий.

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

1. Яке з'єднання провідників називається паралельним?
2. Яка електрична величина однакова для всіх провідників у разі їх­нього паралельного з'єднання?



1. Як співвідноситься сила струму в колі до розгалуження із силами струму в окремих гілках розгалуження?
2. Як визначити опір ділянки з кількома паралельно з'єднаними рези­сторами?
3. Учень удома приєднав лампочки до мережі так, як показано на мал. 2.84. Як вони будуть світитися у разі положення вимикача "увімкну­то" і "вимкнуто"? Відповіді пояснити.
4. Є 10 резисторів, опір кожного із яких 50 Ом. Яким буде опір ділянки кола, утвореної цими резисторами, у разі паралель­ного з'єднання?
5. Амперметр, увімкнутий у коло, яке складається з лампоч­ки і джерела струму, показує силу струму, 0,2 А. Якими стануть

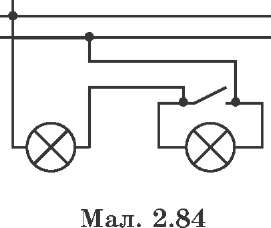
показання амперметра, якщо паралельно увімкнути ще одну таку саму лампочку (мал. 2.85)?

1. Яким буде опір ділянки кола, що складається з трьох паралельно з'єднаних резисторів опорами 6, 9 і 18 Ом?
2. Відрізок дроту опором 80 Ом розрізали на чотири частини, які з'єд­нали паралельно. Який опір з'єднаного таким чином дроту?
3. Напруга в мережі становить 120 В. Дві лампи, опорами по 240 Ом кожна, з'єднали паралельно і увімкнули в мережу. Яка сила струму в кож­ній з них? Яка загальна сила струму в колі до розгалуження?

11\*. Амперметр А показує силу струму 1,6 А, вольтметр V показує на­пругу 120 В, резистор Я1 має опір Я1 = 100 Ом. Визначте опір Я2 резисто­ра Я2 і сили струмів І1 та /2, які показують амперметри А1 та А2 (мал. 2.86).

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

Дослідження електричного кола з паралельним з'єд­нанням провідників







Завдання. Експериментально перевірити закономірності паралельного з'єднання провідників.

Обладнання: джерело струму; з'єднувальні провідники; амперметр; вольтметр; реостат; два дротяні резистори (ніхро­мові спіралі на колодочках); вимикач.

Підготовка до проведення експерименту

* 1. Пригадайте основні закономірності паралельного з'єд­нання провідників.
  2. Пригадайте правила увімкнення амперметра для вимі­рювання сил струмів у різних ділянках кола та вольтметра для вимірювання напруг на різних ділянках кола.
  3. Накресліть схему кола з двома паралельно увімкнутими дротяними резисторами струму, вимикачем та амперметром.
  4. Визначте ціни поділок амперметра і вольтметра.
  5. Підготуйте таблицю для занесення результатів вимірю­вань та обчислень.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Напруга на окремих резисторах і И2 та на всій ділянці кола | | | Сила струму до розга­луження та у пара­лельних гілках | | | Опір окремих рези­сторів і И2 та усієї ділянки кола Я | | |
| и1, В | и2, В | и, В | Іі, А | І2, А | І, А | Я1, Ом | Я2, Ом | Я, Ом |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |

Проведення експерименту

* + 1. Складіть електричне коло. Виміряйте напругу на окре­мих резисторах і на всій ділянці, яка складається з двох пара­лельно увімкнутих резисторів.
    2. Увімкніть амперметр до розгалуження та в кожну з па­ралельних гілок. Виміряйте сили струмів та запишіть їхнє значення у таблицю.
    3. Визначте за результатами вимірювань опір усієї ділянки з двох резисторів та окремих резисторів. Перевірте формулу визначення опору ділянки з паралельним з'єднанням провід­ників.
    4. Повторіть дослід за іншого положення повзунка реостата.
    5. Проаналізуйте одержані результати. Зробіть висновки.

Головне в темі "Електричний струм"

Електричним струмом називають напрямлений (упорядко­ваний) рух заряджених частинок.

Щоб струм існував тривалий час, необхідно, щоб увесь цей час у провіднику існувало електричне поле.

За напрямок електричного струму прийнято напрямок руху позитивно заряджених частинок.

У джерелах електричного струму відбувається розділен­ня позитивних і негативних електричних зарядів і їхнє нагро­мадження на полюсах.

Сукупність джерел струму, споживачів та провідників, що їх з'єднують, називають електричним колом.

Електричний струм виявляється в діях: тепловій, хімічній, магнітній, світловій, фізіологічній.

Фізичну величину, яка чисельно дорівнює відношенню за­ряду, що пройшов через поперечний переріз провідника, до часу його проходження, називають силою струму:

І = 1 .

г

Одиницю сили струму, одну з семи основних одиниць СІ, названо ампер (1 А).

Заряд можна визначити через силу струму і час його проті­кання:

д = Іг.

Прилади для вимірювання сили струму називають ампер­метрами.

Напруга на ділянці кола — це фізична величина, яка чи­сельно дорівнює роботі електричного поля з перенесення за­ряду 1 Кл між кінцями цієї ділянки кола.

Напругу позначають латинською літерою —:

— = ^. д

Одиницею напруги у СІ є вольт (1 В).

Прилади, за допомогою яких вимірюють напругу, назива­ють вольтметрами.

Фізичну величину, яка чисельно характеризує властивість провідника впливати на силу струму в електричному колі і до­рівнює відношенню напруги на провіднику до сили струму в ньому, називають опором провідника.

Опір провідника позначають літерою Д. Щоб визначити опір провідника, потрібно напругу на його кінцях поділити на силу струму в ньому:

Д = и. і

Одиницею опору в СІ є ом (1 Ом).

Опір провідника залежить від матеріалу, з якого він виго­товлений (питомого опору), прямо пропорційний довжині й обернено пропорційний його площі поперечного перерізу.

Щоб знайти опір провідника довжиною І і площею попереч­ного перерізу 5, необхідно питомий опір помножити на довжи­ну провідника і поділити на площу його поперечного перерізу:

Д = Р -.

Я

Закон Ома. Сила струму в провідниках ділянки кола пря­мо пропорційна напрузі на кінцях цієї ділянки і обернено про­порційна її опору:

I = и.

Д

З'єднання, за якого кінець одного провідника з'єднується з початком наступного, називають послідовним з'єднанням провідників.

При послідовному з'єднанні провідників сила струму в будь-яких провідниках кола однакова: I = І1 = І2.

Загальна напруга на послідовно з'єднаних провідниках до­рівнює сумі напруг на кожному з провідників: и = и1 + и2.

Загальний опір ділянки кола з послідовним з'єднанням провідників дорівнює сумі опорів окремих провідників: Д = Д1 + Д2.

Паралельним називають таке з'єднання провідників (рези­сторів, споживачів та інших елементів кола), за якого початок одного провідника з'єднують з початком іншого й так само з'єднують кінці провідників.

У разі паралельного з'єднання провідників сила струму до (і після) розгалуження дорівнює сумі сил струмів у кожному з провідників: І = І1 + І2.

Напруга на ділянці з паралельно з'єднаними провідниками дорівнює напрузі на кожному з провідників: и = иі = и2.

У випадку паралельного з'єднання провідників сили стру­му в окремих провідниках обернено пропорційні до їх опорів:

=

І2 Д

У разі паралельного з'єднання провідників величина, обер­нена до загального опору ділянки кола, дорівнює сумі вели­чин, обернених опорам кожного з провідників:

— = — + —

ПЕРЕВІР СЕБЕ

1. Електричний струм це ...
   1. електричні заряди, що е в провідниках;

Б) упорядкований рух части­нок, що мають електричний за­ряд;

* 1. електричне поле, що ви­никає навколо полюсів джерела струму;

Г) будь-який рух частинок, що мають електричний заряд.

1. Які частинки, що мають за­ряд, є носіями струму в металах?
   1. протони;

Б) позитивні іони;

* 1. негативні іони; Г) електрони.

1. Що є лише дією електричного струму та її результатом?

А) електрична напруга, на­грівання провідника зі струмом;

Б) відхилення магнітної стрілки біля провідника зі стру­мом, сила струму;

В) хімічна дія струму, виді­лення речовини на електродах у розчині солі;

Г) опір провідника, нагріван­ня провідника струмом.

1. Опір провідника залежить від.
   1. сили струму в провіднику, напруги на ньому та зовнішніх впливів;

Б) напруги на провіднику, його довжини та матеріалу, з яко­го виготовлений провідник;

* 1. геометричних розмірів, матеріалу провідника та зовніш­ніх впливів;

Г) ізоляції провідника, дов­жини, та матеріалу.

1. Одиницею сили струму в СІ є...
   1. вольт;

Б) ампер;

* 1. кулон;

Г) ом.

6. Для перевірки залежності си­ли струму в провіднику від при­кладеної напруги можна скори­статися електричним колом, складеним за схемою, зображе­ною на мал. ...

* + 1. 6 А, 1 Ом; Б) 2 А, 6 Ом;
    2. 3 А, 1 Ом; Г) 1 А, 6 Ом.
       1. 20 резисторів, кожний опором 20 Ом, увімкнуто паралельно. Який опір цієї ділянки, і яка за­гальна сила струму в ній, якщо напруга на ділянці 1 В?
          1. 1 Ом, 1 А;

Б) 400 Ом, 0,01 А;

* + - * 1. 400 Ом, 1 А; Г) 1 Ом, 20 А.
      1. Алюмінієвий і мідний дроти мають однакову довжину і пло­щу поперечного перерізу. Який із них має більший опір і у скіль­ки разів?
         1. мідний у 1, 65 разів;

Б) алюмінієвий у 1,65 разів;

* + - * 1. алюмінієвий у 3,3 рази; Г) опір однаковий.

11) Формула закону Ома для ді­лянки кола записується так:

я = и ;

I

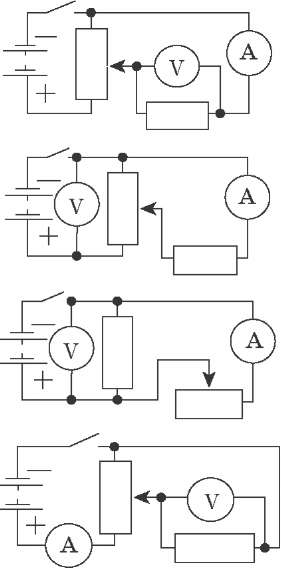
Б) I = £; г

i = и;

я

Г) д = іг. 12. Сила струму в колі електрич­ної плитки дорівнює 1,4 А. Який електричний заряд проходить через поперечний переріз спіра­лі плитки за 1 хв ?

61,4 Кл; Б) 84 Кл;



а

б

в

г

140 Кл; Г) 180 Кл.

РОБОТА І ПОТУЖНІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ

§ 23. РОБОТА ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ

Унаслідок роботи, яку виконує електричне поле з перемі­щення електронів (або інших заряджених частинок) у провід­никах, змінюється їхня енергія. Енергія упорядкованого руху електронів і є енергією електричного струму. Енергію електрич­ного струму можна досить просто перетворити в різних спожи­вачах струму на інші види енергії. Саме тому електричний стум широко застосовують у самих різноманітних галузях виробниц­тва, на транспорті, будівництві, у побуті, техніці зв'язку та ін.

Перетворення енергії електричного струму спожива­чами на інші види енергії називають роботою електрич­ного струму.

Розглянувши поняття напруги (§ 15), ми з'ясували, що на­пруга характеризує роботу електричного поля в провіднику (ділянці кола) і чисельно дорівнює роботі поля з переміщення одиничного заряду:



Розглянемо деяку ділянку кола, в якій є струм. Це може бути спіраль електричної лампочки, обмотка електродвигуна, гучномовця та ін.

Приклад. Кишеньковий ліхтарик було увімкнуто на час £ = 10 с. Напруга на лампочці ліхтарика и = 3 В, сила струму в ній І = 0,2 А. Яку роботу виконав струм у лампочці?

Ділянкою кола (спіралі лампочки) за час £ =10 с проходить деякий заряд д. Робота А, виконана електричним полем з пе­реміщення заряду д по цій ділянці, дорівнює добутку заряду на напругу: А = ди. Знаючи силу струму І та час його існуван­ня можна визначити значення заряду д: д = І£. Тоді робота виконана струмом у лампочці — А = ди = ІЮ. Одержану на­ми формулу для визначення роботи електричного струму на ді­лянці кола прийнято записувати так:

А = иіі.

Робота електричного струму на ділянці кола дорів­нює добутку сили струму на напругу і на час, протягом якого ця робота виконувалася.

Одиницею роботи й енергії електричного струму в СІ, як і механічної роботи, є джоуль: 1 Дж =1В • 1 А • 1 с = 1В • А • с.

Робота струму, виконана в лампочці кишенькового ліхта­рика, становитиме

А = иН = 4 В • 0,2 А • 10 с = 8 Дж.

и

За законом Ома сила струму в ділянці — І = —. Якщо ві­Д

домі сила стуму і опір, то напругу на ділянці кола можна виз­начити, скориставшись законом Ома: и = ІД. Тоді робота стру­му на цій ділянці: А = І[[22]](#footnote-22)Д£.

Наприклад, потрібно визначити роботу струму на ділянці кола з послідовним з'єднанням провідників. Сила струму на ділянці кола з послідовним з'єднанням провідників однако­ва в усіх провідниках. Тому, якщо відомі сила струму і опір, для визначення роботи струму доцільно використати формулу А = І2Ш, де Д — загальний опір ділянки.

У випадку, якщо відома напруга на ділянці та її опір, можна,

скориставшись законом Ома, визначити силу струму: І = —.

Д

Л и2

а роботу струму доцільно визначати за формулою А = £ .

Д



?

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

Цією формулою зручно користуватися, визначаючи роботу стру­му на ділянці з паралельним з'єднанням провідників.

1. Напруга на двигуні становить 12 В, сила струму, яку він спожи­ває, 0,5 А. Яку роботу виконає струм у двигуні за 30 хв?



Емілій Християнович Ленц

1. Яку роботу виконує струм в лампочці з опором спіралі 400 Ом за 40 хв, якщо напруга на лампочці 220 В?

§ 24. ЗАКОН ДЖОУЛЯ-ЛЕНЦА

Струм у провіднику спричиняє теплову дію. Якщо провідник зі струмом є нерухомим або рухається не завдяки струму, то вся енергія електричного струму перетворю­ється лише на внутрішню енер­гію провідника. Провідник нагрі­вається і нагріває навколишнє середовище. Приклад цього — ви­користання теплової дії струму в електричних плитах, паяльниках, прасках.

У 1841 р. відомий англійський вчений Д. Джоуль і незалежно від нього у 1842 р. російський вчений Е.Х. Ленц (1804—1865 рр.) експе­риментально встановили закон, який визначає кількість теплоти,

що виділяється провідником зі струмом. За прізвищами вче­них його назвали закон Джоуля—Ленца.

Кількість теплоти, що її виділяє провідник із струмом, прямо пропорційна квадрату сили струму, опору провідника і часу протікання струму в провіднику.



ді, коли уся робота струму перетворюється на теплоту. За цими формулами ви можете визначити усю роботу, виконану стру­мом у електричному двигуні. Але робота струму в електродви­гуні частково перетворюється на механічну роботу, а частково витрачається на його нагрівання.

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

§ 25. Потужність електричного струму

Р =

г

Роботу струму можна визначити за формулою А = иіг, де и — напруга на ділянці кола; I — сила струму на цій ділянці; г — час протікання струму. Тоді потужність можна знайти так:

Потужність струму на ділянці кола чисельно дорів­нює добутку напруги між кінцями цієі ділянки на силу струму в ній.

У вигляді формули це можна подати так:

Р = иі.

У СІ одиницею потужності є ват (1 Вт):

1 Вт = ^ЗЕ = 1 В • 1 А = 1 В • А.

1 с

Лампочка кишенькового ліхтарика, розрахована на напру­гу 3,5 В і силу струму 0,28 А, для нормальної роботи потребує потужність струму приблизно 1 Вт (3,5 В • 0,28 А = 0,98 Вт).

Часто під потужністю струму розуміють так звану спожив­ну потужність — потужність струму, потрібну для нормальної роботи електродвигунів, лампочок, побутових приладів та ін. Цю потужність вказують на споживачах, наприклад на освіт­лювальних електричних лампочках, побутових приладах.

Для вимірювання потужності електричного струму, яку спожи­ває той чи інший прилад, використовують ватметри (мал. 2.87).



Ніїм1

зшш

Приклади потужностей деяких побутових приладів наведе­но в табл. 2.3.

Таблиця 2.3. Потужність деяких побутових приладів

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Прилад | Споживана потужність, Вт | |
| ЮУЮ-програвач | 300 | |
| Водонагрівач побутовий | 1000 | -2000 |
| СЮ-плеєр |  | 7 |
| Дриль | 150 | -800 |
| Духова шафа | 1000 | -2000 |
| Кондиціонер | 1000 | -3000 |
| Лампа люмінесцентна | 10 | -60 |
| Мікрохвильова пічка | 1500 | -2000 |
| Настільний вентилятор | 40 | |
| Обігрівник | 1000 | -2400 |
| Паяльник | 25- | -120 |
| Персональний комп'ютер | 280 | -750 |
| Пилосос | 400- | -2000 |

Виконану струмом за деякий час роботу на ділянці кола можна знайти, помноживши потужність струму на час його протікання: А = П. Одиниця роботи — 1 Дж = 1 Вт • с. Тому як одиницю роботи замість джоуля можна використовувати одиницю ват-секунда. Робота 1 Дж або 1 Вт • с є порівняно не­великою, тому користуватися цими одиницями на практиці незручно.

Приклад. Лампочка потужністю 100 Вт увімкнена 1 год (3600 с). Протягом години струм у ній виконає роботу А = П = = 100 Вт • 3600 с = 360 000 Дж = 360 000 Вт • с. У такому разі на практиці використовують також одиниці роботи ват-година (1 Вт • год), кіловат-година (1 кВт • год), мегават-година (1 МВт • год):

1 Вт • год = 1 Вт • 1 год = 1 Вт • 3600 с = 3600 Дж, 1 кВт • год = 1000 Вт • 3600 с = 3 600 000 Дж = 3600 кДж.

Відповідно, 1 МВт • год = 3600 МДж.

Робота струму в лапочці потужністю 100 Вт протягом годи­ни становить 100 Вт • год або 0,1 кВт • год.

1. Що таке потужність?
2. Як можна визначити потужність споживача через напругу і силу струму?
3. Як виражається одиниця потужності через одиниці напруги і сили струму?
4. Скільком джоулям відповідає 1 Вт • год, 1 кВт • год?
5. На лампочці кишенькового ліхтарика зазначено 3,5 В, 0,28 А. Визначити опір у робочому режимі та споживану потуж­ність.
6. На балоні освітлювальної лампи розжарення написано 220 В, 60 Вт. Визначити силу струму в лампі та її опір у робочому ре­жимі.

7. Дві лампочки розжарення потужністю 100 і 40 Вт розраховані на однакову напругу 220 В. Яка з лампочок споживає більше струму? В якої з лампочок опір спіралі більший?



8\*. Електродвигун, увімкнутий в електромережу напругою 220 В, працює за сили струму 6 А. Коефіцієнт корисної дії двигуна становить 65 %. Яка механічна потужність двигуна на його валу?

ЛІЧИЛЬНИКИ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

а Для обліку електричної енергії, виробленої на елек- 2 тростанціях, і роботи, виконаної струмом у спожи­вачах, застосовують лічильники електричної енер­гії. Лічильники електричної енергії встановлюють в будин­ках, квартирах, на підприємствах та в установах, де вико­ристовується енергія електричного струму.





?

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

Широко застосовують два типи лічильників електричної енергії: індукційні й електронні. В індукційних лічильни­ках є алюмінієвий диск, який обертається за наявності в котушках лічильника струму. Якщо те чи інше коло, в яке увімкнуто лічильник, споживає електричну енергію, диск лічильника обертається. Частота обертання диска залежить від потужності увімкнутих споживачів, а кількість обер­тів — пропорційна значенню електричної енергії і викона­ній струмом роботі. Вісь диска з'єднана з лічильним меха­нізмом, який показує кількість спожитої енергії в кіловат-годинах. Цифра, яка показує де­сяті частини кіловат-години, ви­ділена кольором або рамкою (мал. 2.88).

В електронних лічильниках електроенергії залежно від зна­чення електричної енергії, яка споживається, на лічильний при­стрій (електронний або електроме­ханічний) надходять електричні імпульси. Частота цих імпульсів пропорційна споживаній потужності а, відповідно, їхня кількість — спожитій елек­троенергії в кіловат-годинах (мал. 2. 89). Перевагою елек­тронних лічильників є те, що вони можуть ураховувати електроенергію за різними тарифами.

^ І; Визначте за лічильником елек- [ троенергії вашої квартири, яку

**»**Ц кількість електричної енергії було р спожито протягом двох годин у ' \* вечірній час. Спробуйте знайти значення спожитої енергії за характери­стиками (паспортними даними) приладів, які були увімкнуті, і порівняти її з показан­нями лічильника. З'ясуйте у батьків вар­тість 1 кВт • год спожитої електроенергії (тариф на електроенергію) і обчисліть вар­тість електроенергії, спожитої електропри­ладами за 2 год.

§ 26. ЕЛЕКТРОНАГРІВАЛЬНІ ПРИЛАДИ



Мал. 2.88



Мал. 2.89

Перетворення енергії електричного струму на теплову енер­гію широко використовують у промисловому виробництві, сільському господарстві та побуті. Прилади, в яких енергія електричного струму перетворюється на теплоту, називають електронагрівальними приладами. Такими приладами є елек­тричні плити, електричні чайники, системи електричного обі­грівання приміщень, паяльники, праски, якими ми постійно користуємось. Нагрівальні прилади використовують для плав­лення металу, підтримання певної температури в інкубаторах.

Основною складовою цих приладів є електронагрівальний елемент. За законом Джоуля—Ленца кількість теплоти, яка виділяється в провіднику, пропорційна квадрату сили струму і опору провідника. Основою нагрівального елемента є провід­ники, виготовлені з матеріалів, які мають значний питомий опір і витримують високі температури. їхній опір має бути значно більшим, ніж опір провідників, по яких струм підво­диться до нагрівального елемента.

Розглянемо дію електроплитки. її нагрівник складається з ніхромового провідника, який має вигляд спіралі (мал. 2.90), закріпленої в керамічній основі конфорки. У багатьох електро­плитах спіраль знаходиться всередині захисної металевої труб­ки (трубчатий електричний нагрівник ТЕН), заповненої ізоля­ційним матеріалом (мал. 2.91).

І = Р -

и

ках електроплитки такої потужності: 500 Вт

До виводів нагрівника приєднують з'єднувальні провідни­ки, як правило, мідні. Електрична схема найпростішої нерегу- льованої електроплитки зображена на мал. 2.92. Опір підвід­них провідників незначний і становить менше ніж 0,1 Ом (Я1 = 0,1 Ом). Опір ніхромової спіралі И2 у конфорки потужні­стю 500 Вт становить приблизно Я2 = 100 Ом. Напруга в мере­жі дорівнює 220 В. Можемо визначити силу струму в провідни­

Р = иі, звідси

2,3 А . У разі послідовного з'єднання сили струму 220 В

в підвідних провідниках і спіралі однакові. Визначимо кіль­кість теплоти, яка виділиться в підвідних провідниках (шнурі) і спіралі із струмом ф2:



= РЯ^ = (2,3 А)2 • 0,1 Ом « 0,53 Дж, Я2 = І2Я2і = (2,3 А)2 • 100 Ом « 530 Дж.

Мал. 2.90

Мал. 2.91

И1

І

И2

Мал. 2.92



Мал. 2.93

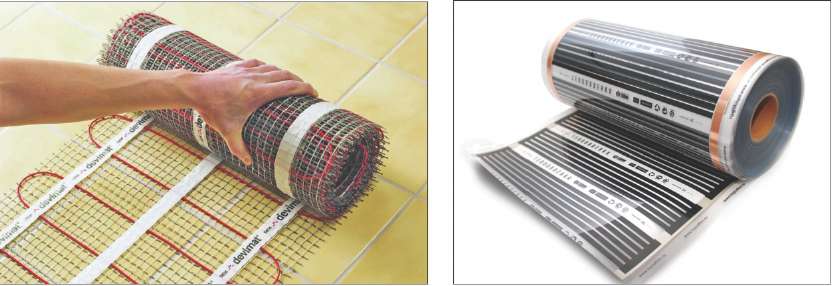
Як бачимо, майже усю роботу електричний струм виконує в спіралі. Спіраль (і нагрівальний елемент) нагрівається, а під­відні провідники залишаються холодними.

У більшості електроплит спіралі поділені на дві-три окремі ділянки і мають додаткові виводи, з'єднані з перемикачем. За допомогою перемикача можна увімкнути ту чи іншу ділянку спіралі, з'єднувати їх паралельно або послідовно. Цим самим змінюється споживана плитою потужність і температура нагрі­вання її теплових елементів.

Усі інші типи нагрівальних приладів принципово нічим не відрізняються від електроплит. Залежно від призначення вони можуть мати пристрої, за допомогою яких їхня температура підтримується в певних заданих межах. Такі пристрої назива­ють терморегуляторами або термореле. На мал. 2.93 зобра­жено деякі побутові електронагрівальні прилади.

Останнім часом електричний струм дедалі ширше викори­стовують для обігрівання приміщень. Однією з ефективних си­стем обігрівання є "теплі підлоги". Як нагрівник у системах "тепла підлога" застосовують закріплений на полімерній сітці провід, що має великий питомий опір (мал. 2.94). Використо­вують також полімерну плівку з нанесеними на неї провідни­ми карбоновими доріжками (мал. 2.95). Сітку або плівку роз­кладають на підлозі, вкривають плиткою, ламінатом або ков- роліном і за допомогою гнучких провідників приєднують до електричної мережі в квартирі.

Лампи розжарення. Особливе місце серед електронагрі­вальних приладів належить електричним лампочкам розжа­рення, які вже понад сто років є головним джерелом освітлен­ня будинків і вулиць у нічні години.

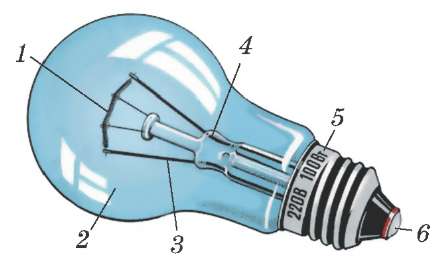


Мал. 2.94

Мал. 2.95

Лампа розжарення (мал. 2.96) — це джерело світла, в яко­му перетворення електричної енергії в світлову відбувається унаслідок розжарення струмом тугоплавкого провідника. У су­часних лампах таким провідником є спіраль 1 з тонкого воль­фрамового дроту. Спіраль вміщена в прозорий скляний балон 2. Кінці спіралі закріплені на вводах 3, по яких до неї підво­дять струм. Вводи впаяні в скляну ніжку лапи 4, а їхні вільні кінці виведено назовні балона. Щоб лампа не розтріскувалася, вводи виготовляють з металів, в яких такий самий, як у скла коефіцієнт теплового розширення.

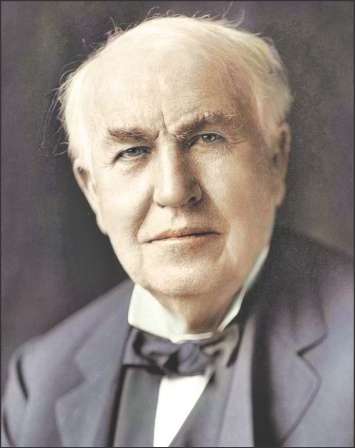
Для зручності використання лампи мають цоколь або спе­ціальні контактні виводи. У більшості освітлювальних ламп цоколь — металева гільза з гвинтовою канавкою 5 та ізольова­ним від гільзи центральним контактом 6, до яких припаюють провідники, що виходять з вводів. Цоколь лампочки вкручу­ють або вставляють в спеціальний патрон, який забезпечує її увімкнення в електричну мережу.

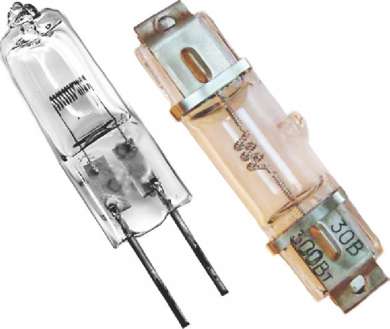


Щоб світло, випромінюване джерелом, відповідало соняч­ному температура спіралі має становити приблизно 6000 °С — як на поверхні Сонця. Темпе­ратура плавлення вольфраму 3410 °С. Тому температура розжарення нитки лампочки дорівнює приблизно 2700 °С. За такої температури в повітрі вольфрамова нитка майже миттєво перетворюється на ок­сид вольфраму — згоряє. То­му з балона лампи повітря від- Мал. 2.96качують. Висока температура спри­чиняє у вакуумі випаровування вольфрамової спіралі. Щоб збіль­шити термін служби ламп, в їхні балони закачують гази: азот, крип­тон або аргон. Це перешкоджає ви­паровуванню вольфрамової спіралі. Проте, лише 5 % електричної енер­гії, яку споживає лампа розжарен­ня, перетворюється на світлове ви­промінювання. Більша частина енергії струму в лампочці перетво­рюється на теплове (інфрачервоне) випромінювання.

Томас Альва Едисон До ламп розжарення належать

галогенові лампи (мал. 2.97). Бало­ни цих ламп виготовляють з кварцового скла, розміри їх неве­ликі. У балон добавляють пари брому або йоду. Це дає змогу підвищити температуру розжарення спіралі до 3000 °С, збіль­шити коефіцієнт корисної дії та тривалість роботи лампи.





Історія розвитку сучасних ламп розжарювання пов'язана з іменами багатьох учених і винахідників. Лампи розжарення від часу винайдення зазнали істотного удосконалення. Велику роль у тому, що лампи розжарення широко використовуються, відіграли дослідження відомого американського винахідника і підприємця Т. Едісона (1847— 1931 рр.). Він створив першу зручну для промислового вигото­влення і досить довговічну кон­струкцію лампи. Патрон і цо­коль, вимикачі, запобіжники, лічильники електричної енергії, а також багато інших елементів електричного освітлення були також винайдені ним і майже не змінилися до наших днів.

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

1. Що являє собою нагрівальний елемент електронагрівального при­ладу?
2. Які матеріали використовують для виготовлення нагрівальних еле­ментів електронагрівальних приладів?
3. Наведіть приклади електронагрівальних приладів.
4. Як побудовані сучасні лампочки розжарення?
5. Чому для виготовлення спіралей лампочок розжарення використо­вують вольфрам?
6. Навіщо балони сучасних ламп розжарення заповнюють інертними газами?
7. Які переваги галогенових ламп розжарення порівняно зі звичай­ними освітлювальними лампами?
8. На електричному чайнику зазначено 220 В, 1000 Вт. Яка сила струму в нагрівальному елементі чайника, коли його вмикають у мережу напругою 220 В?

§ 27. КОРОТКЕ ЗАМИКАННЯ. ЗАПОБІЖНИКИ

Споживачі струму, в яких відбувається перетворення енер­гії електричного струму на інші види енергії, мають, як пра­вило, значний опір. Порівняно з опором споживачів опір під­відних провідників (шнурів, проводів електромережі), якими струм надходить до споживача, має бути якомога меншим, щоб у них електричний струм не виконував роботу. Тому мож­на вважати, що опір ділянки дорівнює опору споживача (спі­ралі лампочки, електроплитки, обмотки електродвигуна). Си­ла струму на ділянці кола визначається, згідно з законом Ома —

т и

опором ділянки та напругою між її кінцями: I = — .

М

Схему найпростішого випадку увімкнення одного спожива­ча наведено на мал. 2.98, а. А тепер уявіть, що коло складене не так, як передбачено цією схемою, а підвідні провідники виявилися з'єднаними між собою напряму. Такий випадок на­зивають коротким замиканням. Схематично це виглядає так, як на мал. 2.98, б.

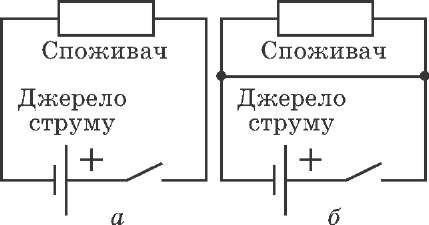


У разі короткого замикання опір кола стає дуже малим і фактично дорівнює опору підвідних провідників. Адже струм

розгалужується на дві паралель­ні гілки, а загальний опір пара­лельного з'єднання менший за опір провідника з найменшим опором. Тому сила струму в підвідних провідниках збіль­шується в десятки й сотні ра­зів. Кількість теплоти, яка виділяється в провідниках із струмом, згідно з законом Джоуля—Ленца прямо пропорційна добутку квадрата сили струму. Якщо у разі короткого замикання сила струму в під­відних провідниках збільшилася у 30 разів, то кількість теп­лоти, що виділяється в них, зростає в 900 разів. Провідники нагріваються до високої температури. Ось чому коротке зами­кання може спричинити плавлення провідників, обвуглення і спалахування ізоляції та займистих речовин навколо місця ко­роткого замикання і, як наслідок, пожежу.

Найчастіше причиною короткого замикання є пошкоджен­ня ізоляції проводів через неправильну експлуатацію, меха­нічні пошкодження, старіння. Коротке замикання може виник­нути й під час ремонту приладів, якщо їх не від'єднати від ме­режі.

Нагріватися підвідні проводи можуть також через увім­кнення в коло багатьох споживачів одночасно. У таких випад­ках загальна сила струму, що його споживають увімкнуті в коло прилади, може перевищити допустиму для провідників, по яких до них надходить струм. Дріт з'єднувальних проводів, вимикачі, розетки, електричні патрони для лампочок та інші елементи кіл розраховані на певні допустимі значення сили струму. Якщо струм перевищує ці допустимі значення, провід­ники починають нагріватися.



Мал. 2.98

Задача. У квартирі є n = 5 лампочок потужністю Рл = = 100 Вт кожна, праска з Рпр = 1000 Вт, мікрохвильова пічка з Рмх = 800 Вт, пилосос з Рпл = 1000 Вт, електричний чайник з Рч = 1000 Вт. Усі побутові прилади розраховані на напругу живлення U = 220 В і вмикаються паралельно. Якою буде си­ла струму в нерозгалуженій частині проводки квартири, якщо усі ці прилади увімкнути одночасно?

Р о з в ' я з у в а н н я. У разі паралельно­го з'єднання споживачів загальна сила струму в колі дорівнює сумі сил струмів в окремих споживачах:

І = 51л + Іпр + Імх + Іпл+ Іч.

У разі паралельного з'єднання напруги на всіх споживачах однакові і становлять 220 В. З формули для визначення потужності Р = іи визначимо силу струму в кожному споживачі і загальну силу струму в колі:

І \_ 5Р^ + + Рх + Рпл + Рч \_ 5Рл + Рпр + Рмх + Рпл + Рч \_

и и и и и и

5 • 100 Вт + 1000 Вт + 800 Вт +1000 Вт +1000 Вт 4300 Вт

20 А.

220 В 220 В

Тоді загальна сила струму становить 20 А.

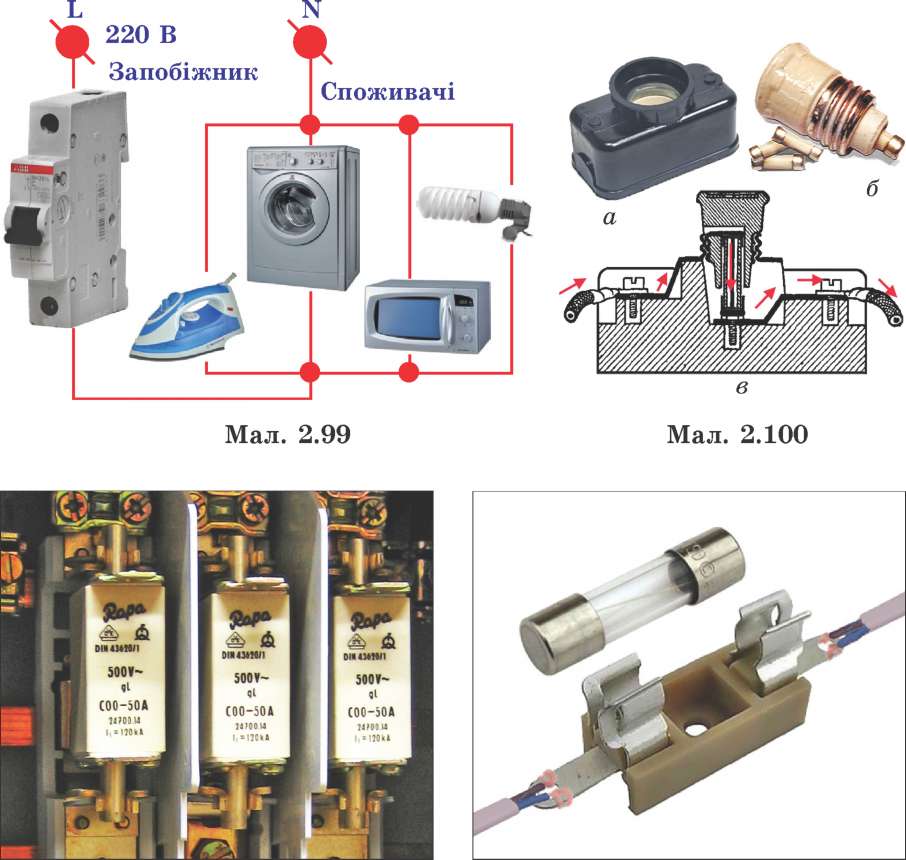
Відповідь: I = 20 А.

Така сила струму може бути критичною для квартирної ме­режі, проводи якої обираються з розрахунку на допустиму силу струму 10 А. їхня ізоляція може не витримати і розплавитися. Це спричинить коротке замикання і руйнування проводки.

Щоб уникнути коротких замикань і перевантажень, у кола електричних мереж і приладів вмикають запобіжники. Якщо сила струму в колі перевищуватиме деяке допустиме значен­ня — запобіжники розмикають коло. Запобіжники вмикають­ся послідовно зі споживачами (мал. 2.99). Вони можуть розріз­нятися принципом дії та конструкцією.

|  |  |
| --- | --- |
| п = | 5, |
| Рл | = 100 Вт, |
| Р  ■\*■ пр | = 1000 Вт, |
| Р  ■\*■ мх | = 800 Вт, |
| Рпл пл | = 1000 Вт, |
| Рч = | = 1000 Вт, |
| и = | 220 В |
| I — | ? |

Найпростішими запобіжниками є плавкі запобіжники. У багатьох квартирах поряд із лічильником електроенергії мож­на побачити плавкі запобіжники — "пробки". Пробка склада­ється з фарфорового корпусу-основи з гніздом, у яке вставля­ють плавку вставку (мал. 2.100, а). Плавка вставка — це фар­форова трубочка з легкоплавкою дротиною всередині. Кінці дротини припаяні до контактів на кінцях трубки. На основу пробки надіта металева різьба з відводом у гніздо. На цей відвід спирається один контакт пробки. Патрон пробки (мал. 2.100, б) вмонтовують у розрив кола. Він теж має гвин­тову металеву різьбу, в яку вкручують пробку, і центральний контакт. Коли пробка вкручена у патрон, струм проходить че­рез різьбове з'єднання, дротину плавкої вставки і центральний



Мал. 2.101 Мал. 2.102

контакт патрона (мал. 2.100, в). Дротину підібрано (за матері­алом і площею поперечного перетину) так, що як тільки сила струму перевищить допустиме значення вона розплавиться, і коло розривається. У квартирній мережі плавкі запобіжники розраховують, як правило, на 10 або 16 А. Для захисту мереж із значними силами струмів використовують плавкі запобіж­ники на 50 А і більше (мал. 2.101).

У багатьох приладах для захисту від струмів короткого за­микання застосовують скляні плавкі запобіжники (мал. 2.102). Усі плавкі запобіжники — це запобіжники одноразового вико­ристання.

У автоматичних запобіжниках можна застосовувати бімета­леві пластини. Якщо сила струму, що протікає через запобіж­ник, перевищує допустиме значення, біметалева пластинка на­грівається і розмикає контакти. Є автоматичні запобіжники, що ґрунтуються на застосуванні магнітної дії струму. Такі за­побіжники можна використовувати багато разів. Після усунен­ня причини, яка викликала спрацювання запобіжника, його можна увімкнути знову.

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

1. Що мають на увазі, коли йдеться про коротке замикання в елек­тричному колі?
2. Що може спричинити значне збільшення сили струму в електрич­ному колі?
3. У чому полягає небезпека значного збільшення сили струму в електричному колі?
4. Яке призначення запобіжника в електричному колі?
5. Яка будова плавкого запобіжника?
6. Плавкий квартирний запобіжник (пробка) розрахований на силу струму до 10 А. Чи можна одночасно увімкнути в мережу фен потужністю 1000 Вт, електроплитку потужністю 2 кВт та телевізор потужністю 100 Вт? Усі прилади розраховані на напругу в мережі 220 В.

§ 28. ПРИРОДА ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ В РОЗЧИНАХ І РОЗПЛАВАХ ЕЛЕКТРОЛІТІВ

Наллємо в одну посудину дистильовану воду, а в другу наси­племо кухонну сіль. Вставимо в посудину із сіллю два вугільні електроди так, щоб вони не доторкалися один до одного, але бу­ли зануреними в сіль. Приєднаємо до одного з них позитивний полюс джерела струму, а до другого — послідовно вимикач лам­почки і негативний полюс джерела струму. Замкнемо коло вими­качем. Струму в колі не виникає, лампочка не світиться. Вийме­мо електроди зі склянки з сіллю, обтрусимо від залишків солі і помістимо у посудину з водою. І в цьому випадку струму в колі немає. Суха сіль і дистильована вода є діелектриками.



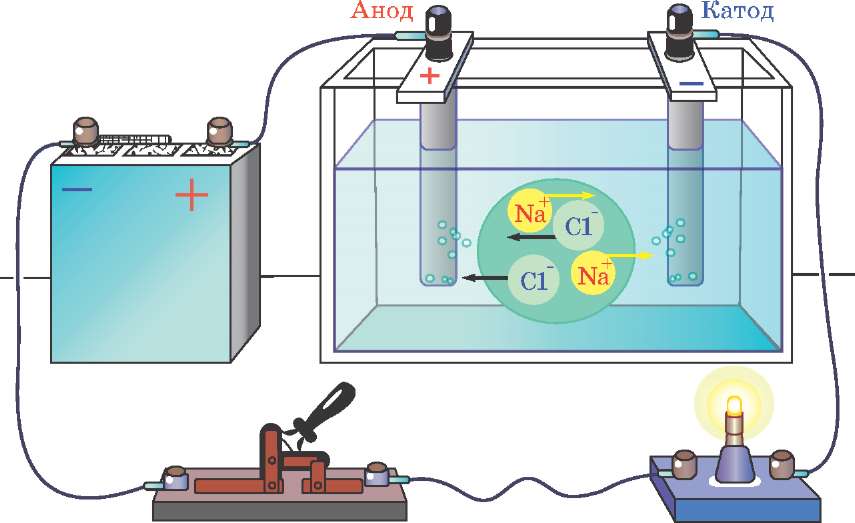
Залишивши електроди у посудині з водою, висиплемо у во­ду сіль. Помічаємо, що в міру розчинення солі лампочка світитьдедалі яскравіше. У колі з'являється струм (мал. 2.103). Отже, розчин солі у воді стає провідником. А от якщо замість солі у воду добавити цукор, то такий розчин струм не проводитиме.

Речовини, розчини яких є провідниками електричного струму, називають електролітами.

До електролітів належать солі, оксиди, гідроксиди, кисло­ти, луги, розчини й розплави яких проводять струм.

На відміну від металів, провідність яких зумовлена елек­тронами, струм в електролітах — це впорядкований рух іонів. Дистильована вода і суха сіль не мають іонів, які могли б пе­реміщуватися під дією сил електричного поля. Іони провідно­сті з'являються за рахунок розчинення солі у воді. Це саме стосується й набуття провідних властивостей розчинами й роз­плавами інших електролітів: лугів, кислот, оксидів та ін.

Молекули електроліту, які до розчинення були електрично нейтральними, при взаємодії з молекулами розчинника розпа­даються на позитивні й негативні іони. Ці іони переміщують­ся під дією сил електричного поля, незалежно один від одного. Розпад молекул розчиненої речовини на іони під впливом мо­лекул розчинника називають електролітичною дисоціацією. Так, при розчиненні кухонної солі ЫаС1 молекули води оточу-



ють іони Ыа+ і СІ- і послаблюють зв'язок між ними. Молекула ЫаС1 розпадається на два окремі іони, оточені нейтральними молекулами води. Іони, молекули води й молекули електролі­ту, які не розпалися на іони, перебувають у постійному хао­тичному тепловому русі. Якщо в розчині електроліту створити електричне поле, то на тепловий хаотичний рух іонів наклада­ється їх упорядкований рух — дрейф. Позитивні іони рухати­муться в бік електрода, з'єднаного з негативним полюсом дже­рела струму, а негативні — до електрода, приєднаного до позитивного полюса джерела струму. Так виникає струм в роз­чинах електролітів.

Електрод, з'єднаний з позитивним полюсом джерела струму, називають анодом. Електрод, з'єднаний з негативним полюсом джерела струму, називають катодом. Позитивні іони, що руха­ються до катода, називають катіонами, негативні іони, які ру­хаються до анода, — аніонами. Електричний струм у розчинах електролітів — це упорядкований рух катіонів і аніонів.



У процесі руху позитивні і негативні іони іноді наближа­ються один до одного й об'єднуються в нейтральні молекули. Процес утворення нейтральної молекули з позитивного і нега­тивного іонів називають рекомбінацією. У розчині електролі­ту з часом досягається рівновага. Кількість молекул, які роз­падаються за одиницю часу на іони, стає рівною кількості мо­лекул, які утворилися з іонів. З підвищенням температури розчину електроліту процес дисоціації стає більш інтенсив­ним, зростає концентрація іонів. Тому опір розчинів електро­літів зі збільшенням температури зменшується.

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

* 1. Які речовини називають електролітами?
  2. Які частинки є вільними носіями зарядів, що створюють струм в розчинах і розплавах електролітів?
  3. Як утворюються вільні носії зарядів у розчинах та розплавах електролітів? Що таке електролітична дисоціація?
  4. Що називають аніонами? Катіонами?
  5. Від чого і як залежить провідність розчинів електролітів?
  6. Чому з підвищенням температури опір розчинів електролітів зменшується?

§ 29. ЗАКОН ФАРАДЕЯ ДЛЯ ЕЛЕКТРОЛІЗУ

Струм в розчинах електролітів супроводжується виділен­ням речовини на електродах. Коли негативний іон (аніон) до­сягає анода, він втрачає надлишкові електрони і перетворю­ється на нейтральний атом або молекулу. Так само, дістав­шись катода, позитивний іон (катіон) одержує електрони від катода і перетворюється на нейтральний атом. Струм у розчи­нах електролітів зумовлює виділення на електродах речовин, яких не було в розчині. Наприклад, процес розчинення мідного купоросу у воді супроводжується дисоціацією молекул Си804

на позитивні іони Си2+ і негативні іони 804-. Якщо в розчин за­нурити вугільні електроди, з'єднані з полюсами джерела струму, то катіони Си2+ будуть рухатися до катода (—), а аніони 804- до анода (+). Діставшись катода, іони Си2+ одержують два елек­трони, перетворюються на нейтральні атоми міді і осідають на катоді. У свою чергу, аніони 80^- віддаючи аноду електрони, перетворюються не нейтральну молекулу, що є нестійкою й розпадається на молекулу 803 і атом Оксигену О. Кисень виді­ляється на аноді, а 803 вступає в реакцію з водою, утворюючи сірчану кислоту. З часом катод вкривається шаром міді, а бі­ля анода виникають пухирці кисню.

Процес виділення речовини на електродах, унаслідок протікання струму в розчинах і розплавах електролітів називають електролізом.

Уперше дослідив процес електролізу англійський вчений Майкл Фарадей (1833—1834 рр.). Зокрема він експеримен­тально встановив, від чого і як залежить маса речовини, що виділяється у процесі електролізу. Сформулюємо закон Фара­дея для електролізу.

Маса речовини, яка виділяється на електродах у процесі електролізу, прямо пропорційна силі струму і часу його протікання.

Увівши позначення: т — маса виділеної речовини; І — си­ла струму; £ — час протікання струму, закон Фарадея для елек­тролізу можна записати так:

m = kit,

де k — коефіцієнт пропорційності. Враховуючи, що добуток сили струму на час його протікання дорівнює заряду q, який пройшов через поперечний переріз провідника за час t (It = q), закон Фарадея набуде вигляду

m = kq.

Маса речовини, що виділилася на електроді, прямо про­порційна заряду, який пройшов через розчин електроліту.

Якщо маса речовини, що відклалася в процесі електролізу за час і сила струму в колі відомі, можна визначити коефі­цієнт пропорційності к:

к т т Н д '

Коефіцієнт пропорційності & називають електрохіміч­ним еквівалентом даної речовини. З останньої формули ви­пливає, що коефіцієнт пропорційності чисельно дорівнює масі речовини, що виділяється на електроді унаслідок перенесення іонами заряду 1 Кл.

Електрохімічні еквіваленти деяких речовин наведено в табл. 2.4.

Таблиця 2.4. Електрохімічні еквіваленти деяких речовин

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Речовина | Електрохімічний еквівалент k,  мг Кл | Речовина | Електрохімічний еквівалент k,  мг Кл |
| Алюміній (Al3+) | 0,093 | Натрій (^+) | 0,238 |
| Гідроген (H+) | 0,010 | Нікель (Ш2+) | 0,304 |
| Залізо (Fe3+) | 0,193 | Срібло | 1,118 |
| Золото (Au3+) | 0,681 | Хлор (СІ1-) | 0,367 |
| Оксиген (O2) | 0,083 | Хром (Сг3+) | 0,180 |
| Мідь (Cu2+) | 0,330 | Цинк (7п2+) | 0,339 |





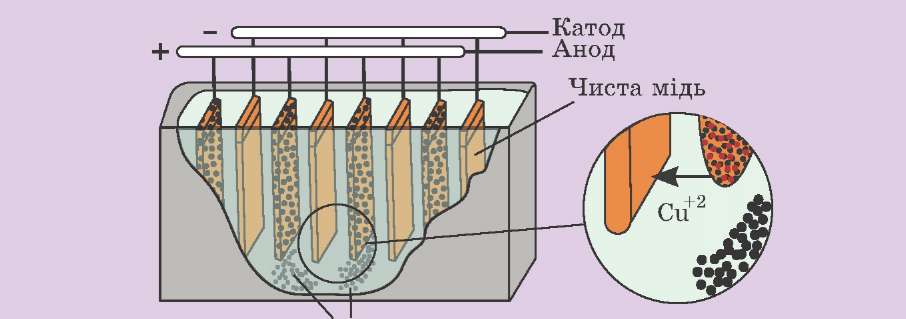


ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ



Мал. 2.105

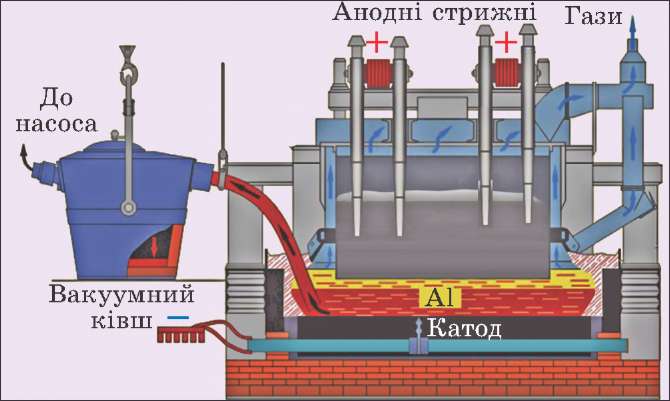
тої міді. Добираючи певну напругу на електродах ванни, до­магаються, щоб на катоді виділялася тільки металева мідь. При цьому анодні пластини з домішками розчиняються. Сторонні домішки або переходять у розчин (не виділяючись на катоді), або випадають на дно ванни у вигляді осаду. Та­кий спосіб одержання чистих металів називають електролі­тичним рафінуванням. Схематично ванна для рафінуван­ня міді показана на мал. 2.104. На мал. 2.105 зображено ви­вантаження пластини чистої міді після рафінування.



Домішки

Мал. 2.104

Одержання металів з розплавів за допомогою електролі­зу є винятково важливим для кольорової металургії. Добу­вати метали електролізом можна не тільки з водних розчи-



Мал. 2.106

нів, а й з розплавів речовин, які в твердому стані скла­даються з іонів (наприклад, МаСІ). При плавленні їх іони набувають потрібної рухливості. Так, з розплаву бокситів добувають увесь алюміній.

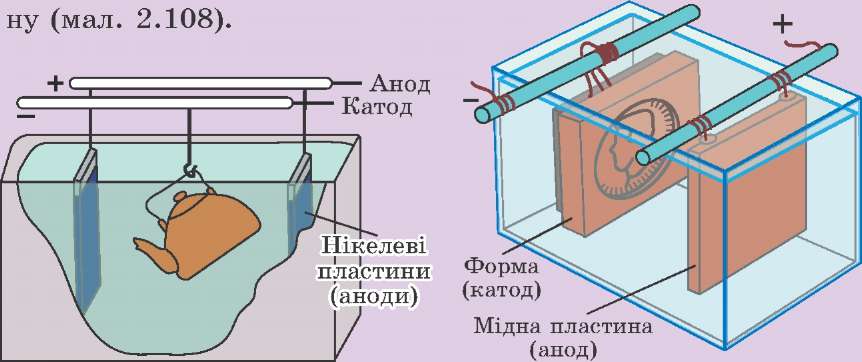
Електроліз проводять у сталевих електролітичних те- плоізольованих і обкладених вогнетривкою цеглою ваннах. Усередині електролітичну ванну викладено графітовими блоками. Останні разом з розплавленим алюмінієм є като­дом. Аноди — це вугільні стрижні, змонтовані так, щоб вони могли опускатися в міру їхнього згоряння (мал. 2.106). Алюміній одержують електролізом розчину АІ2О3 у розплав­леному кріоліті. Процес відбувається за температури близь­ко 1000 °С. На аноді виділяється кисень, а на катоді — алю­міній. Алюміній збирається на дні печі, звідки періодично випускається.

Гальваностегія. За допомогою електролізу металеві ви­роби, виготовлені з одного металу, можна вкрити шаром іншого. Такий процес називають гальваностегія. Гальвано­стегію використовують, щоб уберегти металеві вироби, які швидко іржавіють в атмосферному повітрі (піддаються ко­розії), або для зміцнення поверхні виробу. У таких випадках електролітичним способом покривають вироби металами, які не окислюються: нікелем, хромом, цинком та ін. Для надання гарного вигляду виконують сріблення та золочення.

Перед покриттям іншим металом виріб старанно очища­ють, знежирюють і занурюють у електролітичну ванну з розчином солі того металу, яким мають покрити виріб. Як електроліт можна використовувати, наприклад, сіль нікелю. До виробу приєднують негативний полюс джерела струму, тому виріб стає катодом. Як анод використовують пластину, виготовлену з нікелю. У процесі електролізу на виріб осідає тонкий шар нікелю (мал. 2.107).

Гальванопластика. Понад 100 років тому російський вчений Б.С. Якобі (1801 —1874 рр.) винайшов спосіб елек­тролітичного одержання копій з металу. Цей спосіб назвали гальванопластика. У процесі електролізу мідь або інший ме­тал точно відтворюють форму предмета, на яку їх осаджу­ють. Гальванопластика широко використовується для виго­товлення різноманітних барельєфів та скульптур. У процесі електролізу метал осаджують товстим шаром (до кількох міліметрів) на форму. Коли товщина металевого шару досяг­не кількох міліметрів, його відокремлюють від форми.

Форми для нанесення металу можна виготовляти з мета­лу або й з матеріалів, що не проводять електричний струм: з гіпсу, воску, пластмаси, дерева і навіть пластиліну. Гото­ві форми обов'язково вкривають струмопровідним шаром. Для цього на поверхню форми наносять тонким шаром по­рошок графіту або бронзи. Форму, вкриту струмопровідним шаром, використовують як катод. Якщо виріб має бути з мі­ді, форму занурюють в розчин мідного купоросу. Як анод застосовують мідну пласти-



Мал. 2.107 Мал. 2.108

Після того, як на поверхню форми осяде достатньої тов­щини шар міді, електроліз припиняють, і одержану метале­ву деталь від'єднують від форми. Вона точно відображує всі елементи форми. Гальванопластика дає змогу виготовляти порожнисті фігури і статуї. Це робить їх легшими і сприяє економії цінних металів.

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

1. Як застосовують електроліз для одержання чистих металів?
2. Для чого використовують гальваностегію?
3. Опишіть в загальному технологію покриття металевих виробів, виготовлених з одних металів, іншими металами.
4. Що таке гальванопластика?



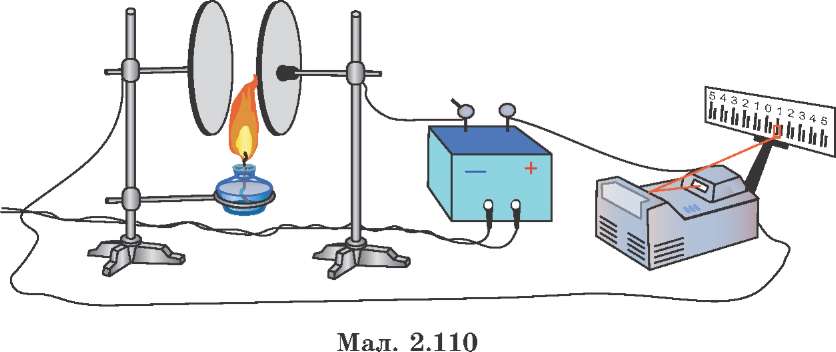
1. Чому форми для одержання барельєфів, виготовлені з непровідних матеріалів, вкривають шаром графіту або бронзового порошку?

§ 30. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ У ГАЗАХ

Гази в природному стані не проводять електричного стру­му. У цьому ми переконуємося щоразу, коли, натиснувши кла­вішу вимикача, створюємо повітряний проміжок між його контактами і тим самим припиняємо струм.



За невисоких температур і ти­сків, близьких до атмосферного, гази є гарними ізоляторами. Лі­нії електропередач — це дроти, які не мають ізоляції і відділені один від одного лише повітряним проміжком (мал. 2.109). Це по­яснюється тим, що за звичайних умов гази — це нейтральні атоми і молекули, вони майже не мі­стять вільних зарядів (електро­нів, іонів), які могли б створити струм. Наприклад, якщо помі- Мал. 2.109 стити в сухе атмосферне повітря



заряджений електрометр, то його заряд довго залишатиметься незмінним.

Але за певних умов гази стають провідниками. Розглянемо дослід, що дає змогу виявити ці умови. Дві металеві пластини, розділені повітряним проміжком, приєднують до джерела висо­кої напруги. У це саме коло вмикають також чутливий дзер­кальний гальванометр — прилад, за допомогою якого можна вимірювати малі сили струмів. Пластина, приєднана до пози­тивного полюсу джерела струму, набуває позитивного заряду, а до негативного полюсу — негативного заряду. Між пластинами виникає електричне поле, яке діє на заряджені частинки.

Світна цятка на шкалі гальванометра знаходиться на поз­начці 0. Це свідчить про те, що струму в колі немає. Оскільки відсутній струм, то в повітрі немає вільних носіїв електричних зарядів або їх дуже мало. Якщо наблизити до пластин по­лум'я спиртівки, можна переконатися в тому, що в колі вини­кає струм: промінь гальванометра відхиляється (мал. 2.110). У повітряному проміжку між пластинами унаслідок уведен­ня полум'я з'являються вільні заряджені частинки, які по­чинають рухатися в електричному полі від однієї пластини до іншої.

Які саме частинки утворюють струм між електродами у повітрі? У полум'ї протікають інтенсивні хімічні реакції, які супроводжуються виділенням енергії та розпадом молекул і атомів на іони й електрони.

Процес розпаду молекул і атомів газу на іони і елек­трони називають іонізацією.

Унаслідок іонізації замість нейтральної молекули (атома) утворюються позитивний іон і електрон. Полум'я — частково іонізований газ, що містить іони і електрони. Під впливом сил електричного поля вони переміщуються між пластинами.

Іонізація молекул газу відбувається також унаслідок дії ультрафіолетового, рентгенівського, радіоактивного опромінен­ня. Чинники, які зумовлюють іонізацію газів, називаються іонізаторами.

Деяка частина електронів, що утворилася внаслідок розпа­ду нейтральних атомів і молекул газу, може приєднуватися до нейтральних атомів і молекул. Так виникає іонізований газ, що складається з позитивних і негативних іонів та електронів.

Упорядкований рух іонів і електронів під дією елек­тричного поля — це струм у газі, який називають газо­вим розрядом.

Якщо з проміжку між пластинами прибрати полум'я спир­тівки або усунути будь-який інший чинник, що спричинює іонізацію, то струм швидко зникне. Це пояснюється тим, що після усунення дії іонізатора електрони й іони, наблизившись один до одного, перетворюються на нейтральні атоми чи мо­лекули. Зіткнення електронів й іонів та утворення при цьо­му нейтральних молекул і атомів називають рекомбінацією. Вільні заряди і струм зникають, а разом з ними зникає про­відність газу.

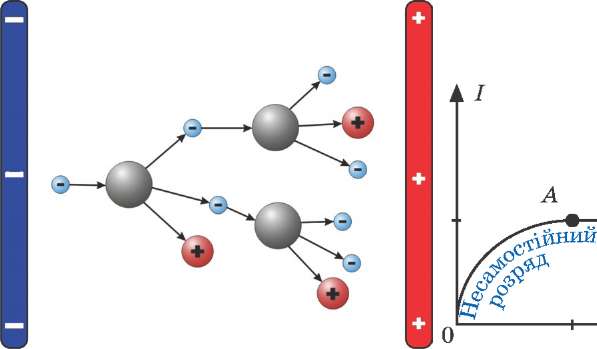
Газовий розряд, який може спостерігатися лише за умови дії зовнішнього іонізатора, називають несамо­стійним газовим розрядом.

У навколишньому повітрі завжди є невелика кількість іонів та електронів, які виникають під дією випромінювань, що проникають у земну атмосферу з космічного простору, радіо­активних випромінювань земної кори, ультрафіолетового ви­промінювання Сонця та ін. Кілька таких заряджених часток є мізерною, і вони істотно не впливають на електропровідність повітря. Однак, якщо між електродами створити високу на­пругу, сила струму в колі стрімко зростатиме. Це означає, що за високої напруги між електродами в повітрі з'являється значна кількість вільних заряджених часток. Чому це відбу­вається? Причина зростання кількості вільних заряджених частинок — іонізація унаслідок зіткнень. Іони й електрони, яких хоч і небагато, але є в газах, прискорюються електрич­ним полем і досягають значних швидкостей. Під час свого руху вони зіштовхуються з нейтральними атомами й молекулами газу. Якщо напруженість електричного поля невелика, то кі­нетична енергія, якої набувають ці частинки між зіткнення­ми, теж порівняно невелика. Коли напруга між електродами і, відповідно, напруженість електричного поля збільшуються, електрони між зіткненнями з атомами й молекулами можуть розганятися до великих швидкостей. їхня енергія досягає та­ких значень, щоб під час зіткнень з нейтральними атомами і молекулами вибити з них електрони. Відбувається іонізація атома ударом — ударна іонізація. Одночасно відбувається і зворотний процес зіткнення іонів з електронами і перетворен­ня їх на нейтральні атоми — рекомбінація.

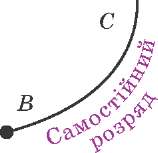
Унаслідок зіткнення швидкого електрона 1 з атомом утво­рюється ще один вільний електрон 2 і позитивний іон, тобто замість однієї зарядженої частки з'являються три — позитив­ний іон і два електрони. Іон рухається до негативного електро­да — катода, а два електрони до позитивного електрода — ано­да. Два електрони, розігнані електричним полем, зіткнувшись з двома атомами (молекулами) газу, іонізують їх. Утворюється ще два іони й чотири електрони (1, 2, 3, 4). Усі вони, задіяні в іонізації (мал. 2.111). Зіткнення чотирьох електронів з ато­мами приведе до появи восьми електронів. Кількість зарядже­них частинок зростає, подібно як утворюється снігова лавина. Такий розряд називають лавинним розрядом.

Не всі електрони й іони, що утворилися в процесі ударної іонізації, досягають електродів. Унаслідок зіткнення іонів і електронів утворюються нейтральні атоми — відбувається рекомбінація. Проте у процесі виникнення лавини іонізація значно переважає рекомбінацію. Концентрація іонів та елек­тронів у газі збільшується. Коли напруга між електродами стає достатньою для утворення лавини, сила струму в колі істотно зростає.

Для утворення лавин потрібні вільні електрони. Саме зав­дяки їм відбувається іонізація атомів і молекул, а також під­тримується лавинний розряд. Вільні електрони в газі можуть виникнути не лише завдяки зовнішньому іонізатору. В їх утворенні беруть участь і позитивні іони, які рухаються до



Мал. 2.111



Струм насичення

Мал. 2.112

и

катода під дією електричного поля. Бомбардуючи катод, вони вибивають з нього електрони. Відбувається так звана вторин­на електронна емісія. Якби іони не вибивали електрони з катода, то утворена лавина електронів й іонів дійшла б до катода і анода і розряд у газі припинився б. Електрони, вибиті іонами з катода, породжують нові лавини іонів і електронів. Тому лавинний розряд може сам себе підтримувати, і розряд у газі не припиняється, навіть якщо немає зовнішнього іоні­затора.

Електричний розряд у газі, що продовжується після усунення дії зовнішніх іонізаторів, називається само­стійним розрядом.

Коли розряд самостійний, зазвичай спостерігається світін­ня газу.

Вимірюючи силу струму в газах за різних напруг, можна помітити, що сила струму залежить від напруги так, як по­казано на мал. 2.112. Графік залежності сили струму від на­пруги називають вольтамперною характеристикою газового розряду.

Нехай завдяки дії іонізатора щомиті в деякому об'ємі газу утворюється певна кількість електронів й іонів. Одночасно з іонізацією відбувається рекомбінація іонів та електронів. Тому в газі досить швидко встановлюється рівновага, і кількість вільних носіїв зарядів, що утворилися в кожній одиниці об'є­му газу за секунду, практично є сталою. Якщо між електрода­ми створити напругу, то під дією сил електричного поля певна кількість іонів і електронів потрапить на електроди. Із під­вищенням напруги (і напруженості поля) іони й електрони розганятимуться до дедалі більших швидкостей, і дедалі мен­ший час їм буде потрібен, щоб досягти електродів. Тому зі збільшенням напруги сила струму спочатку зростає — ділянка 0А вольтамперної характеристики.





Подальше підвищення напруги між електродами приведе до зростання швидкостей іонів та електронів. Настає момент, коли усі іони й електрони, які утворилися в газі завдяки дії іонізатора, за одну секунду досягають електродів. Це означає, що у разі подальшого підвищення напруги сила струму не зростає — ділянка АВ. Значення сили струму, що відповідає ділянці вольтамперної характеристики розряду АВ, називають струмом насичення. Якщо і надалі підвищувати напругу між електродами, швидкість електронів досягне такого значення, коли їхня енергія стає достатньою для іонізації атомів і моле­кул унаслідок зіткнень. Починає проявлятися ударна іонізація і виникає лавинний розряд. Сила струму знову стрімко зростає (ділянка ВС) і розряд триває навіть, якщо припинити дію зов­нішнього іонізатора.

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

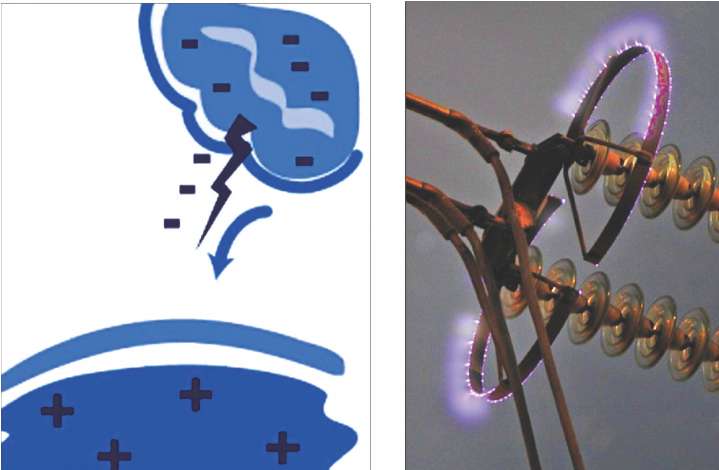
§ 31. ТИПИ ГАЗОВОГО РОЗРЯДУ

Розряд у газах може відбуватися по-різному. Це залежить від властивостей і стану газу, особливостей електродів та їх розміщення, прикладеної до електродів напруги. Розрізняють кілька головних розрядів у газах: іскровий, коронний, дуго­вий і тліючий.

Іскровий розряд. Розглянемо джерело високої напруги, на­приклад електронний перетворювач напруги або електрофорну машину. Напруга між їхніми електродами може досягати 25— 30 кВ. Розсунемо електроди джерела високої напруги так, щоб розряд не відбувався. Поки напруга невелика, газовий промі­жок між електродами є достатнім ізолятором. Однак за великої напруги достатньо незначної кількості електронів, щоб вини­кла електронна й іонна лавини. Невелика кількість електронів завжди є у атмосферному повітрі унаслідок різних випроміню­вань. Збільшуючи напругу на електродах, можна викликати електронну й іонну лавини. У сухому повітрі розряд у вигля­ді іскри — іскровий розряд — виникає між плоскими електро­дами, розташованими на відстані 1 см, за напруги близько 30 кВ. Якщо форма електродів кругла чи загострена, у вологому по­вітрі іскровий розряд може відбуватися за менших напруг і більших відстаней між електродами. У лабораторних умовах іскровий розряд можна одержати, застосовуючи електрофорну машину або високовольтний перетворювач (мал. 2.113).



Мал. 2.113 Мал. 2.114



Мал. 2.115 Мал. 2.116

ману електризуються. Негативно заряджені краплі найчастіше скупчуються в нижній частині хмари, а позитивно зарядже­ні — у верхній. Як наслідок, різні хмари й частини хмар мо­жуть бути різнойменно зарядженими. Заряд хмари впливає на вільні заряди, наявні в Землі, і під негативно зарядженою хмарою поверхня Землі, наприклад, набуває позитивного заря­ду. Коли напруженість поля між хмарою і поверхнею Землі або між двома хмарами і навіть між шарами однієї хмари стає досить великою, відбувається потужний іскровий розряд (мал. 2.115).

Сила струму в блискавці може становити сотні тисяч ампер (зазвичай 100 000—200 000 А), а напруга — сотні мільйонів вольт. Грім, що виникає після блискавки, це наслідок швид­кого розширення повітря за рахунок його нагрівання. У кана­лі блискавки повітря за частки секунди нагрівається до висо­кої температури і швидко розширюється. Це і спричиняє по­тужні звукові хвилі.

Коронний розряд. Унаслідок виникнення іонної й елек­тронної лавин не завжди з'являється іскровий розряд, може бути й розряд іншого типу — коронний розряд.

Коронний розряд — це самостійний газовий розряд, що ви­никає в дуже неоднорідних полях. Головною його особливістю є те, що іонізаційні процеси відбуваються лише поблизу елек­трода з великою кривиною поверхні. Це може бути кінчикобірваної жили проводу лінії електропередачі, загострене ві­стря, з'єднане з полюсом джерела високої напруги та ін. Про­стір біля таких електродів характеризується неоднорідністю і високою напруженістю електричного поля.

Коли напруженість електричного поля досягає граничного для повітря значення (близько 30 кВ/см), навколо електрода виникає слабке світіння у вигляді оболонки або корони (звід­си й походить назва). Світіння супроводжується шиплячим звуком та потріскуванням. Можна помітити невеликі іскрові розряди, що поширюються від вістря або кульки електрода.





Коронний розряд можна бачити на дротах й інших части­нах високовольтних ліній електропередач (мал. 2.116).

Перед сильними грозами інколи спостерігають "вог­ні святого Ельма". Найчастіше таке світіння по­мічали на щоглах кораблів під час штормів (мал. 2.117). Святий Ельм вважається заступником моряків, а мерехтливі вогники під час бурі — щасливим знаком, що давав команді надію на порятунок. Звідси й по­ходить їхня назва. Вогні святого Ельма — це коронні розряди, що мають форму світних пучків, які виникають на гострих кінцях ви­соких предметів (вежі, щогли, гострі вершини скель, хрести церков, верхівки дерев і навіть кінчики багнетів солдат). Коли наближаються грозові хмари, що несуть великі електричні заряди, виникають сильні електричні по­ля. Особливо значною стає на­пруженість електричного поля біля високих і загострених пред­метів із великою кривиною по­верхонь. Це й спричинює появу "вогнів святого Ельма".

Мал. 2.117

У лабораторних умовах коронний розряд можна одержати на розведених електродах електрофорної машини, загострено­му електроді високовольтного джерела напруги.

У лініях електропередачі унаслідок виникнення коронного розряду відбуваються значні втрати електричної енергії. Тому ведеться постійний нагляд за лініями електропередач з метою недопущення утворення коронних розрядів.

Електрична дуга. У 1802 р. вперше було описано дуговий розряд або електричну дугу російським вченим В.В. Петро­вим (1761 —1834 рр.). Він встановив наступне: якщо зіткнути приєднані до полюсів великої електричної батареї два шматоч­ки деревного вугілля, а потім злегка розсунути, то між вугли­нами виникне яскраве полум'я, а кінці вуглин розжаряться так, що випромінюватимуть сліпуче світло.

Найпростіший прилад для одержання електричної дуги складається з двох електродів — спеціально виготовлених ву­гільних стрижнів. Електричну дугу між двома електродами в повітрі за атмосферного тиску утворюють таким чином. У разі збільшення напруги між двома електродами до певного зна­чення в повітрі між ними виникає лавинний розряд — пробій. Напруга електричного пробою залежить від відстані між елек­тродами. Щоб стався пробій електроди наближають один до одного. Для початкової іонізації повітря між електродами і "запалюванням" дуги застосовують місцеве нагрівання елек­трода (катода), а також підвищення напруженості поля.

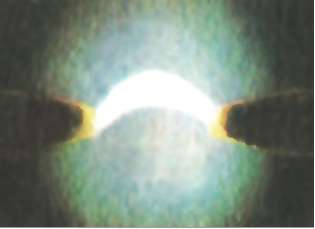
Нагрівання електрода забезпечується зведенням на корот­кий час кінців електродів. При цьому в місці дотику виді­ляється тепло, що зумовлюється значним опором. З розігріто­го катода вилітають електрони. Прискорюючись електричним полем, вони іонізують атоми і молекули газу. Це спричиняє іскровий розряд — пробій. Унаслідок іонізації у проміжку між електродами повітря набуває властивостей провідника. Опір повітряного проміжку між електродами зменшується, а сила струму зростає. За достатньої потужності джерела напруги, іскрові розряди між електродами перетворюються на дуговий розряд.

Сила струму дугового розряду збільшується до десятків ампер. Температура в проміжку між електродами підвищуєть­ся до 5000 °С і більше. Унаслідок взаємодії електродів із плаз­мою відбувається їхнє подальше нагрівання, плавлення і випа­ровування. Найгарячішим є заглиблення, яке утворюється на аноді. Його називають кратером. Для підтримання і запалю­вання дуги достатньо порівняно невеликої напруги 40—50 В.

Спостерігати дугу можна лише че­рез темне скло. Дуговий розряд являє собою плазмове утворення, яке скла­дається з майже повністю іонізованого газу, і має вигляд дуги (мал. 2.118).

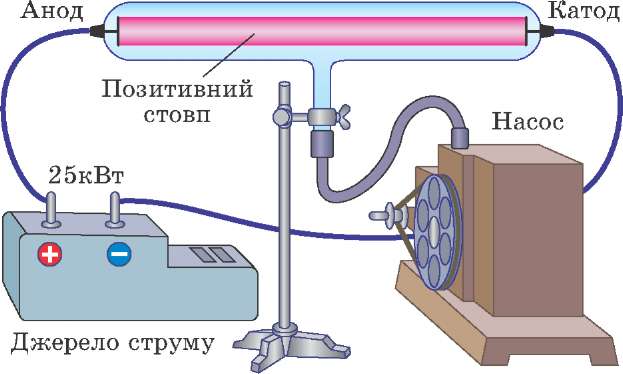
Електрична дуга — джерело дуже потужного теплового, світлового, ульт­рафіолетового випромінювання. Ви­промінювання, що виникають під час дугового розряду, можуть викликати опіки шкіри, руйнування сітківки ока. Тому не можна диви­тися незахищеними очима на електричну дугу, яка виникає під час електрозварювання різних конструкцій.

Дуговий розряд використовують для зварювання металів. У 1953 р. у Києві було побудовано перший у світі суцільнозвар­ний міст через річку Дніпро довжиною більш як 1,5 км. Без­посередню участь у проектуванні та будівництві моста брав академік, Герой України Є.О. Патон (1870—1953 рр.), іменем якого і названо цю споруду. Українські вчені зробили значний внесок у техніку і технологію електрозварювання. В Україні діє найбільший в світі науково-технічний центр в галузі зва­рювання та електрометалургії. Його головною організацією є Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона, який з 1953 р. очолює Б.Є. Патон — відомий український вчений в галузі електрозварювання (народився в 1918 р. у м. Києві).



Мал. 2.118

Дуга — потужне джерело світла. Дуговий розряд використо­вують у прожекторах, проекційних апаратах. Оскільки дуговий



розряд супроводжується виділенням великої кількості теплоти і високою температурою, його використовують в електрометалургії для виплавлян­ня сталі та інших металів.

Тліючий розряд. Ще одним з ти­пів самостійного розряду є тлію­чий розряд. Тліючий розряд спосте­рігається в газах за низьких тисків (десяті й соті частки міліметра ртутного стовпчика) за напруг у сот­ні і тисячі вольт. Для дослідження тліючого розряду використовують скляну трубку з двома металевими електродами, з якої можна відкачу­вати повітря. Електроди приєдну­ють до джерела постійного струму з напругою кілька тисяч вольт

(мал. 2.119). Якщо відстань між електродами 20—40 см, роз­ряд не спостерігають. Прикладена напруга, навіть 20—25 кВ, недостатня, щоб відбувся електричний пробій такого газового проміжку. Трубку з'єднують з насосом і починають відкачува­ти повітря. Коли тиск газу достатньо знизиться, в проміжку між електродами трубки виникає свічення. Спочатку це сві­чення має вигляд тонкого шнура бузкового кольору. В міру відкачування повітря і зниження тиску в трубці свічення за­повнює майже увесь об'єм між анодом і катодом. Коли тиск досягає кількох десятих міліметра ртутного стовпчика розряд виглядає приблизно так, як показано на мал. 2.120.

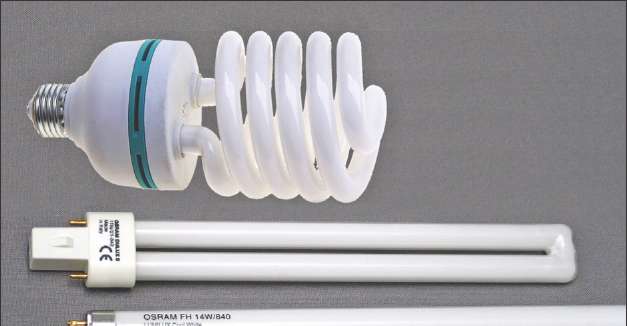
У тліючому розряді можна виділити дві основні частини: темний катодний простір — проміжок біля катода, в якому немає свічення; світний стовп, що займає майже увесь про­стір трубки аж до анода. Цю частину розряду називають пози­тивним або анодним стов­пом. За ще менших тисків він поділяється на окремі про­міжки — страти.



Борис Євгенович Патон



Щоб зіткнення електрона або іона з нейтральним ато­мом або молекулою спричини- Мал. 2.120 ло їх іонізацію, необхідно, щоб



ЙГїГ" с<

Мал. 2.121

ці частинки мали достатню кінетичну енергію. Відстань між електродами трубки досить велика. Тому навіть за напруги між ними у кілька кіловольт напруженість поля порівняно незначна. Сили електричного поля не встигають розігнати електрони й іони до таких швидкостей, щоб під час зіткнен­ня з нейтральним атомом вони могли вибити з нього елек­трон. Тому струм у трубці відсутній. У разі зниження тиску (відкачуванні повітря) відстань між атомами і молекулами газу зростає настільки, що вільні електрони й іони, які зав­жди є в газі, під дією сил електричного поля встигають до зіткнення з атомом набути великих швидкостей. Кінетична енергія цих частинок стає достатньою для іонізації нейтраль­них атомів. Зіткнення електронів з атомами спричиняє не лише іонізацією, а й випромінювання. Так виникає тліючий розряд.

Майже усе свічення, що спостерігається під час розряду, створює позитивний стовп. Колір свічення залежить від газу, яким заповнена трубка. Трубки з тліючим розрядом широко використовують як джерела світла. Для освітлення застосо­вують газосвітні лампи, в яких розряд відбувається в парах ртуті. При цьому під час газового розряду утворюється уль­трафіолетове випромінювання. Скляні стінки трубки його не пропускають. Зсередини вони вкриті люмінесцентною речо­виною, яка ультрафіолетове випромінювання перетворює на бі­ле світло. Такі лампи одержали назву ламп денного світла або енергозберігальні лампи. Вони у кілька разів економіч-



Мал. 2.122

ніші від ламп розжарення: можуть працювати значно довше, споживають менше електроенергії, забезпечуючи яскравіше освітлення (мал. 2.121).



Газосвітні лампи застосовують в декоративних цілях, зо­крема в неонових рекламах, в електронних приладах та ін. Трубкам можна надати обриси літер, узорів, різних фігур. На­повнені різними газами вони дають свічення різного кольору. На мал. 2.122 показані відтворені за допомогою газосвітних трубок позначення відповідних газів.

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

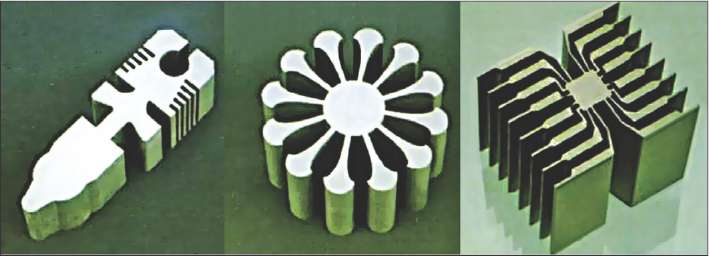
1. Опишіть як відбувається іскровий розряд.
2. Що являє собою електрична дуга. Чому для запалення електрич­ної дуги електроди мають контактувати?
3. Який розряд називають тліючим? Опишіть умови, за яких він від­бувається та процес його утворення.



1. Що являє собою коронний розряд? За яких умов він відбувається?

ЗАСТОСУВАННЯ ГАЗОВОГО РОЗРЯДУ В ТЕХНІЦІ

Різні типи газового розряду та їх наслідки широко використовують і враховують у сучасній електро­техніці, радіотехніці та інших галузях техніки і промисло­вого виробництва. У § 31 ви ознайомилися з деякими за­стосуваннями розряду в газах. Розглянемо ще кілька при­кладів застосування різних типів газового розряду.



Мал. 2.123

Іскрова обробка матеріалів. Іскровий розряд широко застосовується у техніці. З його допомогою ініціюють вибу­хи і процеси горіння, вимірюють високі напруги. Його ви­користовують для високоточної обробки металів.

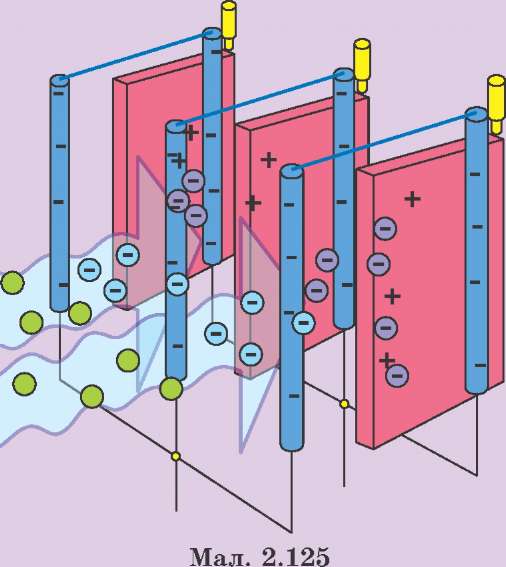
Якщо відстань між електродами невелика, іскровий роз­ряд викликає специфічне руйнування електродів — ерозію. Це явище використовується в електроіскровому методі рі­зання, свердління та інших видах точної обробки металів. При зближенні електродів між ними виникає розряд, і елек­троди поступово руйнуються. Один з електродів — робочий інструмент, а другий — оброблювана заготовка. Електроди занурюють у рідкий діелектрик (дистильована вода, гас). У зоні дії розряду відбувається миттєве закипання рідини, і частина матеріалу руйнується під дією мікровибухів пари робочого середовища. Робочий інструмент, потрібної форми, виготовляють з міді або латуні. Твердість заготовки не має значення. Так, з великою точністю можна виготовляти де­талі складної форми, проробляти отвори у найтвердіших металах та їхніх сплавах (мал. 2.123).

Іскровий проміжок викори­стовують як запобіжник від пе­ренапруги в лініях електричних передач (мал. 2.124).



Мал. 2.124

Електричне очищення газів (електрофільтри). Існує безліч виробництв, відходи яких заб­руднюють атмосферу, зокрема — викиди спалювання палива.



Повітря в скляній посудині, наповненій димом, раптом робиться зовсім прозорим, очищується від часточок диму, якщо внести в неї гострі металеві електроди, з'єднані з елек- трофорною машиною. Причина цього — коронний розряд у газі. На очищенні повітря від речовин, що його забрудню­ють, за допомогою коронного розряду ґрунтується робота електростатичних фільтрів. Такі фільтри здатні ефективно очищати повітря від самого дрібного пилу, кіптяви, аерозо­лів. Тому електрофільтри широко використовують у проми­словості.

Найчастіше фільтри являють собою набір металевих пла­стин, між якими натягнуті металеві дротини. Між дротами і пластинами створюється велика напруга (у промислових установках до декількох десятків кіловольтів). На дротинах виникає коронний розряд. Забруднене повітря вентилято­рами продувається між пластинами. Частинки пилу іонізу­ються, притягуються до пластин, перетворюючись на ней­тральні атоми осідають на них (мал. 2.125). Час від часу електроди потрібно струшувати.

Можливість виникнення ко­ронного розряду доводиться враховувати під час проекту­вання та прокладання висо­ковольтних ліній електропе­редач. Унаслідок утворення коронного розряду спостері­гаються втрати в передачі електричної енергії. Щоб коронні розряди не виника­ли, дроти й інші струмопро- відні частини ліній електро­передач мають бути певного діаметра.

Важливою галуззю застосування тліючого розряду є газо­ві лазери (мал. 2.126).

Застосування дугового розряду. Унаслідок високої тем­ператури електроди дуги випускають сліпуче світло. За цим показником електрична дуга є одним із кращих джерел світ­ла і більш економічна, ніж найкращі лампи розжарення.

Електрична дуга також застосовується для зварювання металевих деталей (дугове електрозварювання). Нині її ши­роко застосовують у промислових електропечах. У світовій промисловості близько 90 % інструментальної сталі і май­же всі спеціальні сталі виплавляють в електричних печах.

Цікавим випадком дуги є ртутна дуга, що горить у квар­цовій трубці, — так звана кварцова лампа. У цій лампі ду­говий розряд відбувається не в повітрі, а в атмосфері ртут­ної пари, для цього в лампу вводять невелику кількість рту­ті, а повітря викачують. Ртутна дуга випромінює надзви­чайно багато невидимого ультрафіолетового проміння, що чинить сильний хімічний і фізіологічний вплив. Ртутні лам­пи широко застосовують під час лікування різних хвороб, а також як потужне джерело ультрафіолетових променів.



Мал. 2.126

Микола Миколайович Бенардос (1842—1905 рр.) — все­світньо відомий винахідник, творець електричного дугового зварювання. Народився на півдні України (село Бенардо- совка). Навчався в Київському університеті. Починаючи з1865 р. запатентував понад дві сот­ні винаходів і проектів. У 1882 р. він запропонував винайдений ним "спосіб з'єднання і роз'єднання ме­талів безпосередньою дією елек­тричного струму". Йому належить пріоритет у винаході зварювання дугою, зварювання в струмені га­зу, дугового різання як у звичай­них умовах, так і під водою.

Значення для прогресу винахо­ду М.М. Бенардоса, удосконалено­го інженером М. Славяновим, на­стільки велике, що у 1981 р. за рі­шенням ЮНЕСКО світовим співто­вариством відзначався 100-літній ювілей винайдення зварю­вання. До цього ювілею у м. Фастові (Київської обл.), де він помер, йому встановлено пам'ятник.

§ 32. БЕЗПЕКА ЛЮДИНИ ПІД ЧАС РОБОТИ З ЕЛЕКТРИЧНИМИ ПРИЛАДАМИ Й ПРИСТРОЯМИ

Кожного дня ми використовуємо різні електричні прилади. Але допомагаючи нам у повсякденному житті, вони є джере­лами підвищеної небезпеки. Небезпека використання струму посилюється тим, що органи чуттів людини не можуть вияви­ти його на відстані, як, наприклад, тепло, світло чи механічні впливи. Органи чуттів людини реагують на струм тільки у ра­зі безпосередній його дії на них, коли запобігти впливу стру­му на організм людини все може бути пізно.

Суттєвою особливістю впливу електричного струму на орга­нізм людини є те, що він діє не тільки в місцях контактів і на шляху протікання через організм, а й викликає порушення нормальної діяльності різних органів (серцево-судинної систе­ми, системи дихання).



Одержати електротравми можна навіть без прямого контак­ту зі струмопровідними частинами приладів, установок чи лі­ній електропередач. Ураження електричним струмом можназазнати, переміщуючись по вологій землі біля оголеного дро­ту, що лежить на ній. Дія електричної дуги спричиняє вра­ження органів зору і опіки, можна спостерігаючи дію елек­тричної дуги навіть на віддалі від неї.

Електричний струм, проходячи через тіло людини, зумо­влює перетворення поглинутої організмом електричної енергії в інші види і спричиняє термічну, електролітичну, механічну і біологічну дії. Дія струму на організм людини визначається силою струму, що протікає через нього, часом впливу та інши­ми чинниками.

Значення сили струму визначається напругою і опором про­відника, по якому він протікає. Тіло людини є провідником, опір якого може змінюватися залежно від стану людини і умов, у яких вона перебуває.

У техніці, промисловості, побуті використовують два види струму: змінний і постійний. За вражаючою дією на людський організм змінний струм більш небезпечний. За ступенем впливу на організм людини розрізняють три граничні значення струму: відчутний, невідпускаючий, вражаючий (або фібріляційний).

Відчутний струм — електричний струм, який, проходячи через організм, викликає відчутне подразнення. Мінімальна сила змінного струму, яку починає відчувати людина стано­вить 0,5—1,5 мА.

Невідпускаючий струм — струм, при якому відбувається судомне скорочення м'язів (рук, ніг) і постраждалий не може самостійно відірватися від провідників із струмом. Сила невід- пускаючого струму становить 10—20 мА.

Фібріляційний (вражаючий) струм спричинює при прохо­дженні через організм людини фібриляцію серця — безладні скорочення серцевого м'яза, що може призвести до його зу­пинки. Через кілька секунд припиняється дихання. Це струм силою 90—100 мА.

Сила струму, який проходить через органи людини у разі враження, визначається напругою та опором, який чинить ор­ганізм людини на шляху струму. Опір людського тіла, який воно чинить проходженню струму, різний для різних ділянок і напрямків протікання струму. Умовно приймають, що він до­рівнює 1 кОм. Найчастіше смертельні наслідки враження спричиняє змінний струм напругою 220 В. Це зрозуміло, адже згідно з законом Ома при опорі 1 кОм сила струму за напруги 220 В становитиме 0,2 А. Безпечною вважається напруга 36 В, а за великої вологості — 12 В.

Зауважимо, що при розробці техніки конструктори намага­ються створити її якомога безпечнішою. Застосовують відпо­відні засоби захисту, розробляють правила дій у небезпечних ситуаціях. Щоб уникнути багатьох неприємностей, необхід­но завжди дотримуватись правил поводження з електрич­ними приладами.

Електронагрівальні прилади, такі як електрочайник, елек­тросамовар, електропраска, електрокамін та ін., потрібно вмика­ти в електромережу, тільки переконавшись, що вони не мають пошкоджень корпусів, вилок, ізоляції шнурів. Переважна кіль­кість побутових електроприладів є переносними, і при цьому їх­ня ізоляція може зазнавати пошкоджень. Підвідний електрич­ний дріт може обірватися чи оголитися. У таких випадках ні в якому разі не вмикайте прилад у мережу. Не торкайтеся оголе­них місць на дротах, бо це може призвести до травм.

Вимикайте телевізор у випадку, коли екран гасне або почи­нає миготіти.

Не залишайте без нагляду увімкнені в розетку електропри­лади. Вимикати прилад з розетки, можна тільки тримаючись за вилку. Забороняється тягнути за електричний шнур рука­ми. Шнур може обірватися, спричинити коротке замикання, а ви можете зазнати враження електричним струмом.

Не можна наливати воду в увімкнені в електромережу чай­ники, кавоварки, каструлі.

Не торкайтеся мокрими руками та не витирайте вологою ганчіркою електричні дроти, штепсельні розетки, вимикачі, інші електроприлади, увімкнені в електромережу.

Зверніть увагу!

Приєднуючи електричні прилади та зібрані електричні кола до джерел живлення, дотримуйтесь такої послідовності дій:

1. Огляньте прилад, підвідні шнури, вилку та переконайтеся, що пошкоджень немає.
2. Переконайтеся, що вимикач на приладі (якщо він є) або в колі знаходиться в положенні "вимкнуто".
3. Приєднайте коло до джерела живлення або увімкніть у мережу.
4. Після цього увімкніть вимикач на приладі (переведіть його в положення "увімкнуто".

Після закінчення роботи з електричними приладами їх необхідно одразу вимкнути. Спочатку вимкніть прилад, скори­ставшись вимикачем на ньому, а потім від'єднайте від мережі.

Не залишайте електричні прилади увімкнуті в мережу без нагляду. Використовуйте електричні прилади лише за призна­ченням.

Зверніть увагу!

Використання приладів не за призначенням або невміле користу­вання ними, може призвести до пожежі!

* 1. Які особливості впливу струму на організм людини?
  2. Яка характеристика струму визначає його дію на організм людини?
  3. Який струм вважається невідпускаючим?
  4. Який струм вважається вражаючим?
  5. Яких заходів безпеки потрібно дотримуватися, використовуючи електричні прилади?
  6. Як слід поводитися під час грози?

Головне в темі



?

ЗАПИТАННЯ ТА ЗАВДАННЯ

"Робота і потужність електричного стуму"

У CI одиницею потужності є ват (1 Вт):

1 Вт = = 1 в • 1 А = 1 В • А.

1 с

Речовини, розчини яких є провідниками електричного струму, називають електролітами.

До них належать солі, оксиди, гідроксиди, кислоти, луги, розчини й розплави яких проводять струм.

Процес виділення речовини на електродах унаслідок про­тікання струму в розчинах і розплавах електролітів нази­вають електролізом.

Закон Фарадея для електролізу. Маса речовини, яка виді­ляється на електродах у процесі електролізу, прямо пропор­ційна силі струму і часу його протікання:

m = kit.

Коефіцієнт k називають електрохімічним еквівалентом даної речовини. Він чисельно дорівнює масі речовини, що виді­ляється на електроді унаслідок перенесення іонами заряду в 1 Кл.

Процес розпаду молекул і атомів газу на іони і електро­ни називається іонізацією.

Упорядкований рух іонів і електронів під дією електрично­го поля — струм у газі, називають газовим розрядом.

Газовий розряд, який може відбуватися лише за умови дії зовнішнього іонізатора, називають несамостійним газовим розрядом.

Електричний розряд у газі, що продовжується після усу­нення дії зовнішніх іонізаторів, називається самостійним розрядом.

ПЕРЕВІР СЕБЕ

|  |  |
| --- | --- |
| 1. Роботу електричного струму | 2. Робота, виконана струмом у |
| на ділянці кола можна визна­ | провіднику, становить 288 Дж. |
| чити за формулою... | Який заряд пройшов по провід­ |
| А) А = и2Ш; | нику, якщо прикладена до його |
| Б) А = иЯР, | кінців напруга и = 12 В? |
| в) А = иИ; | А) 24 Кл; |
| Г) А = иі . Я | Б) 12 Кл; В) 6 Кл; |

Г) 2 Кл.

* + 1. Електричний паяльник розра­хований на напругу 12 В і силу струму 2 А. Яку потужність спо­живає паяльник?
       1. 12 Вт; Б) 24 Вт;
       2. 36 Вт; Г) 44 Вт.
    2. Скільки електроенергії спожи­ває пральна машина потужністю 400 Вт за 2 год роботи?
       1. 800 кВт • год; Б) 80 кВт • год;
       2. 8 кВт • год; Г) 0,8 кВт • год.
    3. На баллоні освітлювальної ла­мпи розжарення написано 220 В, 60 Вт. Яка сила струму в лампі? Який опір лампи в робочому ре­жимі?
       1. 0,3 А, 800 Ом; Б) 3 А, 80 Ом;
       2. 0,3 А, 200 Ом; Г) 3 А, 21 Ом.
    4. Наскільки зміниться темпера­тура води в посудині, маса якої m = 0,2 кг, якщо через провід­ник, уміщений в неї, пройшов заряд q = 100 Кл, а напруга на кінцях провідника V = 20 В?
       1. на 24 °С; Б) на 12 °С;
       2. на 2,4 °С; Г) на 1,2 °С.
    5. Електричні лампи з опорами 200 і 400 Ом з'єднані паралель­но і приєднані до джерела стру­му. Що можна сказати щодо кількості теплоти, яка виділя­ється в лампах за один і той са­мий час?
       1. кількість теплоти, яку ви­діляє перша лампа, буде у 4 рази меншою;

Б) кількість теплоти, яку ви­діляє перша лампа, буде у 4 рази більшою;

* + - 1. кількість теплоти, яку ви­діляє перша лампа, буде у 2 рази більшою;

Г) кількість теплоти, яку ви­діляє перша лампа, буде у 2 рази меншою.

8. У якому з резисторів виді­литься більша кількість теплоти за один і той самий час, якщо ді­лянку зображену на малюнку, увімкнути в електричне коло? Я1 = 1 Ом; Я2 = 2 Ом; Я3 = 3 Ом; Я4 = 4 Ом.

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  | R1 | R2 |  |  |
|  | ГІ | ь | ч | h |  |
|  |  | R3 | R4 |  |  |
|  | ч | ь | ч | н |  |

* + - * 1. у резисторі И1;

Б) у резисторі И2;

* + - * 1. у резисторі И3;

Г) у резисторі И4.

9. Залізна і мідна дротини од­накових розмірів з'єднані пара­лельно і приєднані до джерела струму. Яка з дротин виділить більшу кількість теплоти й у скільки разів?

А) дротини виділять однако­ву кількість теплоти;

Б) мідна дротина виділить меншу кількість теплоти у 3 рази;

В) мідна дротина виділить більшу кількість теплоти у 3 рази;

Г) мідна дротина виділить більшу кількість теплоти у 6 ра­зів.

10. Електрокип'ятильник зі спі­раллю опором 160 Ом помістили в посудину, де е 0,5 л води за температури 20 °С і ввімкнули в мережу напругою 220 В. Через 20 хв кип'ятильник вимкнули. Скільки води википіло, якщо вважається, що вся енергія стру­му витратилася на нагрівання води?

0,5 кг;

Б) 145 г;

85 г;

Г) 40 г.

Скільком джоулям відповіда­ють 4 кВт • год?

4 кДж; Б) 14,4 кДж;

14,4 МДж; Г) 40 МДж.

Електрична пічка має спіраль з нікелінового дроту, площа пе­рерізу якого 1,5 мм2, а довжина 51м. Яку кількість теплоти виді­лить така пічка за годину, якщо напруга живлення пічки 110 В?

3,2 МДж; Б) 320 кДж;

32 МДж; Г) 320 МДж.

СПИСОК ТАБЛИЦЬ

Т а б л и ц я 1.1. Питомі теплоємності деяких речовин 47

Т а б л и ц я 1.2. Температури плавлення (кристалізації) деяких речовин 59

Т а б л и ц я 1.3. Питома теплота плавлення (кристаліза­ції) деяких речовин 62

Т а б л и ц я 1.4. Температури кипіння деяких рідин за нормального атмосферного тиску 75

Т а б л и ц я 1.5. Питома теплота пароутворення деяких рідин за температури кипіння 77

Т а б л и ц я 1.6. Питома теплота згоряння деяких типів палива 92

Т а б л и ц я 2.1. Умовні позначення деяких елементів електричних кіл 155

Т а б л и ц я 2.2. Питомий електричний опір деяких ре­човин при 20 °С 189

Т а б л и ц я 2.3. Потужність деяких побутових приладів 222

Т а б л и ц я 2.4. Електрохімічні еквіваленти деяких ре­човин 237

ВІДПОВІДІ ДО ЗАДАЧ І ВПРАВ

Розділ 1. Теплові явища

§ 2

3. Ні.

§ 4

Зимою за низьких темпе­ратур вони можуть порватися.

Щоб запобігти руйнуванню унаслідок нагрівання і збільшен­ня розмірів.

За інших температур вимі­рювальні прилади і міри додат­кові похибки, які важко враху­вати.

Глина і цегла (виготовлена з глини) розширюються однако­во. Це запобігає появі тріщин.

§ 5.

6. У тіла масою 5 кг.

§ 6.

Метеорити згоряють, на­гріваючись до високої температу­ри унаслідок тертя повітря.

§ 8.

4. У невагомості закон Архі- меда не виконується і природна конвекція не відбувається.

§ 10

1. 1000 Дж, 780 Дж, 1860 Дж.
2. 126 000 Дж.
3. Менше ніж на 1 °С.
4. Майже на 200 °С.
5. 25 °С. § 14
   1. 50 кДж.
   2. 10 кг.
   3. 15,3 • 1012 Дж.
   4. 5,5 МДж. § 18
      1. Об'єм зменшився, маса і вага не змінилися, густина збіль­шилася, внутрішня енергія змен­шилася.
      2. 13,6 МДж.
      3. 365 г.
      4. 54 кг. § 19
         1. 666 г.
         2. 46 °С.
         3. 34 г.
         4. У обох склянках практич­но однаково.

§ 21

* + - * 1. 68,3 МДж.
        2. 2 кг.
        3. «150 г.
        4. 71 °С
        5. 19 г. § 22

0,14 °С.

16 м.

«50 хв.

§ 23

25 %.

500 Дж.

§ 24

14 %.

Біля 10 кВт.

Розділ 2. Електричні

явища

§ 4

Ні. Це залежить від роду речовин.

-10 нКл.

5 нКл.

§ 5

Зменшилася в 4 рази.

Збільшилася в 4 рази.

2,3 • 10-28 Н.

9 • 10-7 Н.

3,2 мН, 3,6 мН.

§ 9

а) Від тіла, що має нега­тивний заряд до тіла, що має по­зитивний заряд;

б) Так; в) Обидва тіла втрача­ють заряди і електричне поле в провіднику зникає.

Швидкість поширення електричного поля, що дорівнює швидкості світла (с «300 000 км/с).

§ 13

1. 2 А.
2. 18 Кл.
3. 1 • 10-5 Н.
4. Сили струму однакові і становлять 1,5 А.
5. 6,25 • 1018.

§ 14

7. а) 10 А, 0,5 А, 3,5 А; б) 500 мА = 0,5 А, 20 мА, 140 мА.

§ 15

5. 1,05 Дж, 0,3 А.

§ 16

8. 30 В, 1 В, 18 В. § 17

* 1. 10 Ом.
  2. Збільшився у 2 рази.
  3. 8 Ом, 40 Ом.
  4. «12 Ом. § 18
     1. Другий у 10 разів.
     2. Перший у 32 рази.
     3. Зменшився в 4 рази. Сила струму збільшилася.
     4. 0,56 Ом.
     5. Перший у 100 разів.
     6. 100 м. §19
        1. 3 м.
        2. 273. Не менше 22 см. § 20
           1. 1,5 А.
           2. 21 Ом.
           3. 30 В.
           4. 3 Ом, 8 Ом.
           5. 2,25 А.
           6. 30 Ом, 0,4 Ом • мм2/м. § 21

14 Ом.

0,5 А.

37 шт., послідовно.

12 Ом, 18 В, 3 В, 6 В, 9 В.

20 Ом.

Д1 = 6 Ом, Я2 = 18 Ом.

Крайньому лівому. Посе­редині.

§ 22

Світитиме тільки ліва лам­почка, світитимуть обидві лам­почки у "півсили".

5 Ом.

0,4 А.

3 Ом.

5 Ом.

0,5 А, 1 А.

11. 300 Ом, 1,2 А, 0,4 А. § 23

52,5 Дж.

360 Дж.

290,4 кДж. § 24

Збільшилася.

У сталевій.

Алюмінієва.

216 кДж.

30 кДж.

4,8 кДж. § 25

1 Вт.

809 Ом.

У лампочки потужністю 40 Вт.

858 Вт. § 26

8. 4,5 А. § 27

6. Не можна. § 29

4. Однаково. Там де більша концентрація розчину.

100 хв.

6 г.

15 МВт год, 74,4 год.

16,7 хв. § 30

7. 0,16 мкА.

ВІДПОВІДІ ДО ТЕСТІВ "ПЕРЕВІР СЕБЕ"

Р о з д і л 1. Теплові явища

Внутрішня енергія. Кількість теплоти

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер завдання | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Правильна відповідь | В | В | Б | Г | Б | А | Г | А | Б | В | Г | А |

Зміна агрегатних станів речовини

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер завдання | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Правильна відповідь | Г | Б | А, Б | Б | Б | А | В | А | Б | Г | В | А |

Згоряння палива. Теплові двигуни

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер завдання | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Правильна відповідь | Г | А, В | А, Б | А | Б | Г | Б | В | А, Б | В | А | В |

Р о з д і л 2. Електричні явища

Електричні заряди. Електричне поле

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер завдання | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Правильна відповідь | Г | А | В | Б | Г | В | Б | В | Г | А | Б | В |

Електричний струм

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер завдання | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Правильна відповідь | Б | Г | В | В | Б | А | В | Г | А | Б | В | Б |

Робота і потужність електричного струму

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер завдання | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 |
| Правильна відповідь | В | А | Б | Г | А | В | В | Б | Г | В | В | А |

ПРЕДМЕТНО-ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК

Акумулятор 150 Ампер Андре-Марі 165 Ампер 166 Амперметр 168 Аніон 236, 235 Анод 236, 236 Атом 130, 131

Бурштин 121

Бенардос Микола Миколайович 258, 259

Ват 221 Ватметр 221

Взаємодія провідників із струмом 166

* заряджених тіл 122, 123 Випаровування 69, 70, 71 Випромінювання 39 Вольта Алессандро 149 Вольт 172

Вольтметр 174

Гальванометр 243

Двигун внутрішнього згоряння 104

* тепловий 102

Джерело електричного струму 148

Джоуль Джеймс 100

Джоуль 218

Діелектрик 139

Дії електричного струму 158

* магнітні 160
* теплові 158
* хімічні 159
* напрям 147

Ебоніт 123 Едісон Томсон 228 Електризація тіл 120, 121 Електроліт 234 Електрон 130

* вільний 144, 146 Електроскоп 124

Елемент гальванічний 149, 150 Енергія внутрішня 27, 28

Заземлення 128

Закон Джоуля—Ленца 219

* Кулона 134
* Ома 198, 200
* перетворення і збереження енер­гії 99

Замикання коротке 229 Запобіжник плавкий 231, 232 Заряд електричний 121, 122 Заряд електричний негативний 122, 123

* позитивний 122, 123
* подільність 127, 128 З'єднання провідників паралельне

208

* послідовне 202

Ізолятор 139

Катіон 236 Катод 236

Кількість теплоти 43, 44, 45 електрики 166 Кипіння 73, 74 Коефіцієнт корисної дії 94, 95 Коло електричне 154 Конвекція 35, 36

* вимушена
* природна Конденсація 71 Кристалізація 59 Кулон 166 Кулон Шарль 133

Лампочка розжарювання 226 Ленц Емілій Християнович 219 Люлька Архип Михайлович 112

Напруга електрична 172 Нейтрон 130

Одиниці вимірювання кількості те­плоти 145

* кількості електрики 166
* потужності електричного стру­му 221
* напруги електричного струму 173
* опору провідника 183
* роботи електричного струму 218
* сили струму 166 Ом Георг 198

Ом 183 Омметр 183

Опір провідника 180, 182

* питомий 187

Патон Борис Євгенович 253 Плавлення аморфних тіл 60

* кристалічних тіл 58, 59 Поле електричне 137 Полюс джерела струму 148 Потужність електричного струму

122, 221

Прилад електронагрівальний 224

Провідник 139 Протон 130

Реостат 191

Робота електричного струму 217, 218

Розряд дуговий 254

* коронний 249
* не самостійний 244
* самостійний 246
* тліючий 253 Ротор 109

Рух тепловий 10

Сила струму 165 Сили електричні 137 Сопло 109 Стан агрегатний 20 Струм електричний 143

Тверднення 59 Тіло аморфне 57

* кристалічне 54, 55 Температура кипіння 74, 75
* плавлення речовини 59
* тверднення речовини 59 Теплоємність питома 46, 47 Теплопередача 29, 31 Теплопровідність 32, 33 Теплота
* згоряння палива 92
* пароутворення 76, 77 Термоелемент 151 Термометр 13, 14, 15 Термос 42

Турбіна газова 111 Турбіна парова 209

Фарадей Майкл 236

Хід поршня 105 Холодильник 102, 103

Ядро атомне 130, 131 Янтар 121

БОЙКО Микола Павлович ВЕНГЕР Євген Федорович МЕЛЬНИЧУК Олександр Володимирович

ФІЗИКА

8 КЛАС

Підручник для загальноосвітніх навчальних закладів

Д^к

Під час охолодження внутрішня енергія тіла зменшується, воно передає теплоту навколишньому середовищу. Очевидно, що скільки теплоти потрібно передати 1 кг певної речовини, щоб нагріти її на 1 °С, стільки само теплоти кожен кілограм цієї речовини віддасть під час охолодження на 1 °С.

Питома теплоємність показує на скільки змінюєть­ся (зростає унаслідок нагрівання або зменшується при охолодженні) внутрішня енергія речовини, маса якої

1 кг, унаслідок її нагрівання або охолодження на 1 °С.

Те, що для нагрівання різних тіл на одне й те саме число градусів (до однакової температури) їм потріб­но передавати різну кількість теплоти, помітили ще давні вчені. Передачу теплоти вони пояснювали пе­реливанням теплецю від більш нагрітого тіла до менш нагрі­того доти, поки їхні температури не зрівняються, подібно до рівнів рідини в сполучених посудинах. Здатність тіла прий­няти більше теплецю при нагріванні до однакової темпера-

1. 1. Як пояснити процес плавлення кристалічної речовини на підставі уявлень про молекулярну будову речовини?
2. 2. Чому в процесі плавлення кристалічної речовини її температура не змінюється, незважаючи на надходження теплоти?
3. 3. Яку фізичну величину називають питомою теплотою плавлення?
4. 4. Алюміній нагріли до температури плавлення і розплавили. На скіль­ки збільшилася внутрішня енергія кожного кілограма алюмінію під час процесу плавлення?
5. 7. На плавлення шматка льоду чи свинцю, кожного масою 1 кг, температура яких дорівнює температурі їх плавлення, пот­рібна більша кількість теплоти й у скільки разів?
6. 8. Шматок льоду масою 1 кг, який має температуру -20 °С, у процесі нагрівання перетворили на воду температурою +20 °С. З'ясуйте: 1) які теплові процеси відбувалися під час такого перетворення; 2) яку кількість теплоти затратили на реалізацію кожного з цих процесів; 3) який з процесів перетворення льоду на воду температурою +20 °С потребував найбільшої кількості теплоти, а який — найменшої?
7. Запишіть формулу для визначення кількості теплоти, яка потрібна для перетворення певної маси рідини на пару за температури її кипіння.
8. Пальник нагрівника за однакові проміжки часу виділяє однакову кількість теплоти. Який процес триватиме довше: плавлення 1 кг льоду чи випаровування 1 кг води?
9. Водяна пара сконденсувалася при 100 °С у воду тієї самої темпе­ратури. Як змінилися при цьому об'єм, маса, вага, густина і внутрішня енергія речовини?
10. Яку кількість теплоти треба витратити, щоб воду масою
11. Яка кількість (маса) водяної пари температурою 100 °С ви­ділить під час конденсації таку саму кількість енергії, як і 2 кг во­ди при охолодженні від 100 до 0 °С?

6\*. Яка маса льоду, температура якого 0 °С, розплавиться, якщо йо­му передати таку кількість теплоти, яка виділяється під час конденсації

8 кг водяної пари при 100 °С і нормальному атмосферному тиску?

§ 19. ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС. РІВНЯННЯ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСУ

У процесі теплообміну одні тіла нагріваються і їхня вну­трішня енергія збільшується, а інші охолоджуються й їхня внутрішня енергія зменшується. Нагрівання одних і охоло­дження інших тіл у процесі теплообміну між ними можна роз­глядати як передачу теплоти від одного тіла до іншого. Внас­лідок процесу теплообміну їхня температура врешті-решт ви-

Завдання. Дослідити встановлення теплового балансу при змішуванні води різної температури.

Обладнання: калориметр; лабораторний термометр; вимі­рювальний циліндр (мензурка); терези з набором різноваг або динамометр; склянка; посудини з холодною і теплою водою.

Підготовка до проведення експерименту

1. При короткочасному проведенні досліду можна знехтува­ти теплообміном нагрітої води з повітрям. Проте теплообмін між теплою і холодною водою неможливий без участі внутріш­ньої посудини калориметра. Тому вважатимемо, що у процесі встановлення теплового балансу беруть участь три тіла: вну­трішня посудина калориметра, холодна вода (кімнатної темпе­ратури) і тепла вода.

1 Цей пункт можна не виконувати. Проте, ураховуючи в теплооб­міні внутрішню посудину калориметра, можна точніше визначити питому теплоємність твердого тіла.

2. Як визначити масу того чи іншого палива, яку потрібно спалити, щоб одержати певну кількість теплоти?

3. Яку кількість теплоти можна отримати, спаливши 10 кг березових дров?

4. Яка кількість теплоти виділиться при спалюванні 2 л

дизельного палива, густина якого 800 ?

м

5. Унаслідок спалювання кам'яного вугілля було отримано 600 МДж теплоти. Яку масу кам'яного вугілля спалили?

6. Яку масу води можна було б нагріти на спиртівці від 20 до 100 °С, спаливши 2 г спирту, якби всю кількість теплоти, що виділилася під час його згоряння, було б передано воді?

7\*. До якої температури нагріють 2,2 л води, початкова температура якої 20 °С, якщо їй було передано всю енергію, яка виділилася при спа­люванні 10 г гасу?

8\*. Скільки гасу потрібно спалити, щоб випарувати 300 г води, тем­пература якої 15 ° С?

КОЕФІЦІЄНТ КОРИСНОЇ ДІЇ НАГРІВНИКА

Щоб використовувати тепло, яке виділяється під час спалювання різних типів палива, застосовують різноманітні пристосування і пристрої. Найпрості­ше пристосування для спалювання дров — багаття. Приміщення обігрівають за допомогою печей, газових паль­ників, конвекторів й інших нагрівників. У фізичному кабі­неті для проведення дослідів використовують спиртівки та розмішені на спеціальних підставках таблетки сухого палива. Спалюючи паливо, намагаються якомога ефектив­ніше використати одержану теплоту. Проте, навіть коли ви користуєтесь газовою плитою, лише частина одержаної внаслідок спалювання газу кількості теплоти витрачаєть-

1. Які факти свідчать про можливість перетворення енергії одного виду в інший?

1. Наведіть приклади перетворення механічної енергії на теплову?
2. Наведіть приклади перетворення теплової енергії на механічну?
3. Сформулюйте закон збереження і перетворення енергії.
4. Яку загальну властивість матерії відображає закон збереження і перетворення енергії?
5. На скільки нагрівається кожен кілограм води, падаючи з 60-метрової висоти греблі Дніпровської ГЕС?
6. На яку висоту можна було б підняти вантаж масою 420 кг, скориставшись усією енергією, що виділяється під час

охолодження склянки (200 г) води від 100 до 20 °С?

8\*. Два шматочки льоду, кожний масою 50 г, із початковою температурою -6 °С, труть один об одний у вакуумі за допомогою електромеханічного приводу. Двигун приводу розвиває потужність 12 Вт. Через який час лід розтане? Втратами механічної енергії нехтували.

§ 23. ПРИНЦИП ДІЇ ТЕПЛОВИХ ДВИГУНІВ

Механічні машини, винайдені Архімедом, Героном, Лео­нардо да Вінчі та багатьма іншими відомими й невідомими вченими та винахідниками, полегшували працю людей, даючи змогу переміщувати важкі вантажі. Спочатку для надання ру-

1. Які двигуни називають тепловими двигунами?

1. У чому полягає принцип дії теплового двигуна?
2. Які складові частини повинен мати будь-який тепловий двигун?
3. Що таке ККД теплового двигуна?
4. У тепловому двигуні для виконання корисної роботи вико­ристовується 1 /4 частина енергії, яка виділяється під час згорян­ня пального. Який ККД цього двигуна?
5. Тепловий двигун виконує за цикл роботу 100 Дж.

Яка кількість теплоти отримується при цьому від нагрівника, якщо ККД двигуна 20 %?

§ 24. ДВИГУНИ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

Паливо, за рахунок енергії якого змінюється внутрішня енергія робочого тіла, може згоряти всередині самого двигуна. Такі двигуни називають двигунами внутрішнього згоряння. Найбільшого поширення, особливо серед двигунів для транс­портної техніки, набули поршневі двигуни внутрішнього зго­ряння. Ці двигуни можуть бути дуже компактними і водночас мати досить велику потужність. їх встановлюють на автомобі­лі, мотоцикли, літаки, тепловози, теплоходи, катери, підводні човни.

Цикл роботи поршневого двигуна внутрішнього згоряння може складатися з двох, чотирьох і навіть шести тактів. Схе­матично будову одного з типів чотиритактних двигунів вну­трішнього згоряння, який працює на бензині або скрапленому газі, зображено на мал. 1.63.

Двигун складається з циліндра 1, в якому переміщується поршень 2. За допомогою шатуна 3 і кривошипа 4 (кривошип­но-шатунного механізму) поступальний рух поршня перетво­рюється на обертальний рух колінчатого вала двигуна 5. У

1. Які двигуни називають двигунами внутрішнього згоряння?

1. Яка будова двигуна внутрішнього згоряння?
2. Які перетворення енергії відбуваються під час роботи двигуна внутрішнього згоряння?
3. Опишіть цикл роботи чотиритактного двигуна внутрішнього згоряння? Як називаються такти циклу роботи двигуна внутрішнього згоряння?
4. Де застосовуються двигуни внутрішнього згоряння?
5. Що відіграє роль "холодильника" у двигуна внутрішнього згоряння?

1. Яку будову має парова турбіна?

1. Які перетворення енергії відбуваються під час роботи парової турбіни?
2. Чим відрізняється дія парової турбіни від поршневого двигуна?
3. Чому парові турбіни вважають двигунами зовнішнього згоряння?
4. Які турбіни називають газовими?
5. Як побудована і як працює газова турбіна?

Й

ХОЛОДИЛЬНІ МАШИНИ. КОНДИЦІОНЕР. ТЕПЛОВІ НАСОСИ

Теплові машини, в яких унаслідок зміни агрегатно­го стану речовини і завдяки виконанню роботи від­бувається нагрівання й охолодження робочого тіла, відомі нам як холодильники, кондиціонери, теплові насоси.

Холодильник. У компресійних холодильниках, які широ­ко застосовують для зберігання продуктів, використовують охолодження рідини внаслідок її випаровування і швидкого розширення. Принцип дії такого холодильника та його будова показані на мал. 1.72. Холодильник складається з трьох основних частин: компресора А, конденсатора В і ви­парника С. У змійовику-конденсаторі за допомогою компре-

1. Як проявляється електризація тіл?

2. Звідки походять терміни "електризація", "електрика", "електричний"?

3. Що розуміють під поняттям "електричний заряд"?

4. За яких умов тіла можуть набувати електричних зарядів?

5. Чому, якщо чистити повстяний килим пилососом, ворсинки "налипатимуть" на патрубок його шланга?

6. Якщо притиснути до стіни поліетиленову плівку (файл, поліетиле­новий кульок) і потерти його папером або серветкою, то плівка прилипне до неї. Чому?

7. На тонких шовкових нитках підвішені дві однакові пінопластові кульки: одна — заряджена, друга — ні. Щоб визначити, яка з них заряджена, дівчинка піднесла палець спочатку до однієї кульки, а потім до іншої. Чи зможе вона таким способом визначити, яка з кульок заряджена?

§ 2. ДВА ТИПИ ЕЛЕКТРИЧНИХ ЗАРЯДІВ

Електризуючи різні тіла і спостерігаючи, як вони взаємоді­ють, учені виявили, що дві палички з бурштину, потерті хутром та підвішені на нитках, намагаються відштовхнутися одна від одної. Так само поводяться скляні палички, потерті шовком. Якщо ж наблизити потерту хутром бурштинову па­личку до скляної, потертої об шовк, вони притягуються. Так було виявлено два типи зарядів. Заряд, який виникає на бурштині, назвали негативним і позначили знаком "—" — мі­нус, а заряд, що виникає на склі, назвали позитивним і поз-

1. Частинка може володіти заря­дом, що дорівнює...

1. 1/2 заряду електрона;

Б) 1/3 заряду електрона;

1. 1,5 заряду електрона;

Г) 2 зарядам електрона.

1. Які властивості струму характеризує сила струму?

2. Яку фізичну величину називають силою струму?

4. За яким явищем встановлюється одиниця сили струму ампер?

5. Як можна визначити силу струму, якщо відомий заряд, що пройшов через поперечний переріз провідника за певний час?

6. Як визначити заряд, що пройшов через поперечний переріз про­відника за деякий час, якщо відома сила струму в провіднику?

7. Яка сила струму є смертельно небезпечною для людини?

8. Яка сила струму в електричному нагрівнику, якщо за 4 хв через нього пройшов заряд 480 Кл?

9. Сила струму в електричній лампочці становить 0,3 А. Який заряд проходить через лампочку за 1 хв?

10. З якою силою взаємодіятимуть відрізки двох паралельних провід­ників довжиною 1 м, розташовані на відстані 1 м, якщо сила струму в них 50 А?

11. Через одну електролампу проходить 450 Кл кожні 5 хв, через ін­шу — 15 Кл за 10 с. У якій з ламп сила струму більша?

12. Скільки електронів проходить через поперечний переріз провідни­ка за 1 с, якщо сила струму в ньому 1 А?

1 У освітлювальних мережах промисловості використовують змін­ний струм, який являє собою електричні коливання. Сила струму і напруга в колах із змінним струмом змінюються з частотою 50 Гц. Під напругою і силою змінного струму, як правило, розуміють зна­чення напруги і сили струму, які спричиняють такі самі дії в колах, як і постійний струм такої самої сили і напруги.

Фізичну величину, яка чисельно характеризує властивість провідника впливати на силу струму в електричному колі

рерізу і питомиИ опір. Скористаємося формулою

1. Від яких властивостей провідника і як залежить його опір елек­тричному струму?

1. Які пристрої називають реостатами?

3. Опишіть будову і дію повзункового реостата.

4. Як позначають реостати на електричних схемах?

1. Зв'язок між якими величинами встановлює закон Ома для ділянки кола?

3. Із закону Ома випливає, що Я = — . Чи можна стверджувати, що

і

опір провідника прямо пропорційний напрузі і обернено пропорційний си­лі струму в ньому?

4. Напруга на затискачах реостата, увімкнутого в ділянку кола, зросла в 2 рази. Як змінилася сила струму в реостаті, якщо повзун реостата за­лишився на місці?

5. Як змінюватимуться показання амперметра, увімкнутого послідов­но з реостатом у коло, якщо його ковзний контакт, що був встановлений посередині обмотки, перемістити спочатку до одного кінця обмотки, а по­тім до іншого? Чому?

6. Якої сили струм буде в реостаті зі встановленим опором 6 Ом, якщо до нього прикласти напругу 9 В?

7. За напруги на електричній лампочці 6,3 В сила струму в ній становить 0,3 А. Який опір має лампочка, коли до неї прикладе­на така напруга?

8. Якщо напруга на резисторі 10 В, то сила струму в ньому 0,2 А. Яку на­пругу слід подати на резистор, щоб сила струму в ньому становила 0,6 А? Який опір цього резистора?

9. За графіками залежності сили струму в резисторах від напруги (мал. 2.77) визначте опір кожного з

резисторів. Мал. 2.77

7. Які зміни відбулися на ділян­ці кола, якщо амперметр, увім­кнутий послідовно з резистором, показує збільшення сили струму?

1. збільшився опір;

Б) зменшилася напруга;

1. зросла напруга або змен­шився опір;

Г) збільшився опір або змен­шилася напруга.

8. Два резистори увімкнуто по­слідовно. Опір першого резисто­ра 3 Ом, напруга на ньому 3 В. Яка сила струму в другому рези­сторі і який його опір, якщо на­пруга на ньому 6 В?

1. Як пов'язана робота струму з роботою електричного поля?

3. Як визначити роботу струму в провіднику через напругу і силу струму та час протікання струму?

4. Визначте роботу струму в електричній лампочці кишень­кового ліхтарика протягом 1 хв, якщо за напруги 3,5 В сила струму в лампочці становить 0,25 А.

Формула ф = І2Ш виражає закон Джоуля—Ленца. Вона при­датна для визначення кількості теплоти, виділеної струмом у всіх випадках, для будь-яких ділянок кола і провідників, з яких воно складається (рухомих і нерухомих). А от скористатися

2

формулами ф = а = иН = и £ можна не завжди, а тільки то-

Я

1. Сформулюйте закон Джоуля—Ленца.

2. Як можна пояснити нагрівання провідника електричним струмом?

3. За якою формулою можна визначити кількість теплоти, що виді­ляється провідником зі струмом?

4. Спіраль електроплитки перегоріла і її трохи зменшили. Як змінила­ся кількість теплоти, що виділяється плиткою, після вкорочення спіралі?

5. Дві дротини, мідна і сталева, мають однакові площі поперечного перерізу і довжини. Дротини увімкнули в електричне коло паралельно. Яка з дротин виділить більшу кількість теплоти? Відповідь обґрунтуйте.

6. Дві дротини з ніхрому та алюмінію, що мають однакові довжини і площі перерізу, увімкнуто паралельно в електричне коло. Яка з дротин більше нагріється?

f7. Яка кількість теплоти виділиться за 20 хв спіраллю опором 20 Ом за сили струму З А?

8. Опір спіралі електричного паяльника 484 Ом. Паяльник увімкнуто в мережу з напругою 220 В. Яка кількість теплоти виді­ляється цим паяльником протягом 5 хв його роботи?

9\*. З ніхромового дроту довжиною 2 м і діаметром 0,5 мм виготовле­но спіраль, яку увімкнули в електричне коло. Яка кількість теплоти виді­литься спіраллю за 5 хв за сили струму в ній 2 А?

§ 25. ПОТУЖНІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ

У різних споживачах за один і той самий час електричний струм може виконувати різну роботу. Як і в механіці, здатність струму виконувати ту чи іншу роботу за одиницю часу харак­теризує фізична величина потужність. Потужність струму позначають латинською літерою Р. Якщо протягом деякого ча­су £ електричним струмом виконано роботу А, то потужність струму дорівнюватиме роботі поділеній на час її виконання:

1. Яке явище називають електролізом?

2. Сформулюйте закон Фарадея для електролізу?

3. Що таке електрохімічний еквівалент речовини?

4. Дві однакові електролітичні ванни (А і В) наповнили розчинами мідного купоросу. Концентрація розчину у ванні А більша, ніж у ванні В. У якій з ванн виділиться більше міді, якщо їх з'єднати послідовно? Паралельно?

5. Яка маса міді виділиться на електроді під час електролізу мідного купоросу за 10 хв сили струму 2 А?

6. Скільки часу тривало нікелювання, якщо у процесі електро­лізу на виробі осів шар нікелю масою 3,6 г за сили струму 2 А?

7. Електролітичні ванни, в одній з яких була сіль нікелю, а в іншій — хрому, з'єднали послідовно і пропустили струм. Після розмикання кола виявилося, що в одній ванні виділилося 10 г нікелю. Скільки грамів хрому виділилося у другій ванні за той самий час?

8. Скільки електроенергії необхідно для одержання 1 т алюмінію і скільки часу триватиме цей процес, якщо електроліз відбувається за на­пруги 5 В і силі струму 40 кА?

9\*. Скільки часу має тривати електроліз для покриття виробу, площа якого 500 см2, шаром хрому товщиною 50 мкм за сили струму 100 А? Гу­стина хрому становить 7200 кг/м3.

ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОЛІЗУ

Явище електролізу широко застосовують у техніці на виробництві для одержання чистих кольорових металів, виготовлення скульптур і барельєфів, захи­сту виробів від корозії та ін.

Одержання кольорових металів. Однією з галузей за­стосування електролізу є одержання чистих металів. Мідні руди містять сірчисті сполуки міді, її окисли, а також до­мішки сторонніх металів (Мі, РЬ, 8Ь, Лб тощо). Видобуту з руди мідь, в якій є багато домішок, відливають у вигляді пластин. Ці пластини завантажують у електролітичні ванни з розчином мідного купоросу Си804. Вони відіграють роль анодів. Як катоди між ними розміщують тонкі пластини чис-

1. Які частинки можуть створювати струм у газах?

2. Що називають іонізацією? Рекомбінацією?

3. Який розряд у газі називають несамостійним газовим розрядом?

4. Який розряд у газі називають самостійним газовим розрядом?

5. Як утворюються електронна й іонна лавини?

6. Як зміниться сила струму насичення, якщо під час незмінної дії іонізатора збільшити відстань між пластинами електродів?

7. Визначте силу струму насичення під час несамостійного газового розряду, якщо іонізатор щосекунди утворює 109 пар іонів у кожному кубічному сантиметрі. Площа кожного з елек­тродів 100 см2, а відстань між ними 10 см.

Під час прогулянки забороняється:

1. підходити до оголених дротів і торкатися їх руками;
2. розводити багаття і запускати повітряного змія поблизу ліній електропередач.

Пам'ятайте, що несправності в електромережі й електрич­них приладах може усунути лише спеціаліст-електрик!

Грандіозним іскровим природним розрядом є блискавка. Щосекунди на Землі утворюється близько 100 блискавок. Бе­режіться від удару блискавки. Удари блискавок можуть спри­чинити лісові пожежі, пожежі та руйнування будинків, виво­дять з ладу лінії електропередач, призводять до загибелі лю­дей. Щоб запобігти удару блискавки необхідно пам'ятати, що блискавка найчастіше вдаряє у предмети, які підносяться над поверхнею Землі. Тому під час грози слід дотримуватися таких правил:

1. У лісі не можна ховатися під високими деревами, а в по­лі — під поодиноким деревом, копицею сіна тощо.

2. Не можна намагатися перебігти поле. Слід лягти на зем­лю, щоб не підноситися над місцевістю.

3. Не можна купатись у відкритих водоймах, а перебуваю­чи в горах, краще сховатися в печері або під глибоким ус­тупом.

4. Не можна запускати повітряного змія: мокра мотузка стає провідником електрики. При ударі блискавки заряди пройдуть через руку й тіло людини в землю. Саме від уражен­ня великим розрядом блискавки під час експерименту заги­нув друг М.В. Ломоносова — учений Г. Ріхман.

У разі ураження електричним струмом насамперед необхід­но надати потерпілому першу долікарську допомогу.

Робота електричного струму на ділянці кола дорівнює добутку сили струму на напругу і на час протягом якого ця робота виконувалася:

А = Ult.

Одиницею роботи й енергії електричного струму в CI є джоуль:

1 Дж = 1 В • 1 А • 1 с = 1 В • А • с.

Роботу електричного струму на ділянці кола залежно від того, які величини відомі можна визначати за чотирма форму­лами:

U2

A = qU = UIt = 12Rt = 1 .

R

Закон Джоуля—Ленца. Кількість теплоти, що її виділяє провідник із струмом, прямо пропорційна квадрату сили стру­му, опору провідника і часу протікання стуму в провіднику:

Q = 12Rt.

Потужність струму на ділянці кола чисельно дорівнює добутку напруги між кінцями цієі ділянки на силу струму в ній:

1. В СІ одиниця питомої теплоємності 1 — . Оскільки зміна тем-

   кг • К

   ператури на 1 К відповідає зміні температури на 1 °С, числові зна-

   Дж . Дж

   чення питомих теплоємностей в одиницях і — однакові.

   кг • К кг • °С [↑](#footnote-ref-1)
2. Енергію, що характеризує рух і взаємодію молекул, з яких складається тіло, називають внутрішньою енергією тіла. Вну­трішня енергія тіла дорівнює сумі кінетичних і потенціаль­них енергій усіх його молекул. [↑](#footnote-ref-2)
3. 1. Чому під час інтенсивного танення льоду на річках і озерах у прилеглих до них місцевостях спостерігається похолодання?

   [↑](#footnote-ref-3)
4. Підготуйте таблицю для занесення результатів вимірю­вань і обчислень фізичних величин. Її форма може бути такою: [↑](#footnote-ref-4)
5. Перехід речовини з твердого стану в рідкий називають плавленням.

   Температуру, за якої дана речовина плавиться, називають її температурою плавлення.

   Перехід речовини з рідкого стану в твердий називають кри­сталізацією. Кристалічні тверді тіла плавляться і тверднуть за однієї і тієї самої температури, певної для даної речовини.

   Аморфні тіла не мають певної температури плавлення і тверднення.

   Кількість теплоти, яка потрібна для перетворення одиниці маси (1 кг) кристалічної речовини з твердого стану в рідкий, називається питомою теплотою плавлення.

   Питома теплота кристалізації дорівнює питомій те­плоті плавлення.

   Питома теплота плавлення (кристалізації) показує, на скільки внутрішня енергія 1 кг речовини в твердому стані, узятої за температури плавлення, менша, ніж внутрішня енер-

   ККД газової плити залежить не лише від конструкції паль­ників, а й від посуду, яким користуються, та відповідності вибору конфорок розмірам посуду. [↑](#footnote-ref-5)
6. Як визначити кількість теплоти, яка виділяється під час згоряння певної маси палива? [↑](#footnote-ref-6)
7. Бурштин (янтар) - це викопна скам'яніла смола давніх вимер­лих хвойних дерев, що росли на Землі багато тисяч років тому. Най­більші поклади бурштину в Україні знаходяться в Клесові (Рівненсь­ка обл.). [↑](#footnote-ref-7)
8. Ебоніт (з грец. — чорне дерево) — вулканізований каучук з ве­ликим вмістом сірки. Потертий об хутро ебоніт набуває негативного заряду. [↑](#footnote-ref-8)
9. Яке з наведених тверджень пояснює явище електризації тертям?

   1. під час тісного контакту різнорідних тіл частина електро­нів з одного тіла переходить до іншого;

   Б) у разі тертя одне об одне тіла втрачають електрони;

   1. під час тертя одне об одне ті­ла набувають позитивних зарядів;

   [↑](#footnote-ref-9)
10. 1. Яка природа електричного струму в металах?
    2. Який напрямок приймають за напрямок струму в провіднику?
    3. Чому тепловий рух електронів у провіднику не можна назвати електричним струмом?

    [↑](#footnote-ref-10)
11. На якій дії струму ґрунтується встановлення одиниці сили струму? [↑](#footnote-ref-11)
12. Якщо інше не зазначене в документації на прилад. Напри­клад, у барометрів-анероїдів інструментальна похибка може дорів­нювати трьом поділкам шкали. [↑](#footnote-ref-12)
13. Межа максимальної допустимої похибки приладу визначається класом точності приладу. Так, серед інших на шкалі приладу е поз­начка "2,5". Це означає, що клас точності приладу 2,5, тобто макси­мальна допустима похибка становить 2,5 % верхньої межі вимірю­вання. Для амперметрів, зображених на мал. 2.50 і 2.56, верхня ме­жа вимірювання становить 2 А. Межа допустимої похибки приладу становить Дпр = 2 А • 0,025 = 0,05 А. Зазвичай, прилади мають значно меншу похибку, ніж межа допустимої. Похибка відліку теж не пере­вищує половини поділки. Тому для цього амперметра можна прийняти, що абсолютна похибка вимірювання дорівнює ціні поділки 0,05 А. Вона однакова для будь-яких показань. Зрозуміло, що відносна по­хибка буде тим менша, чим більші показання приладу. [↑](#footnote-ref-13)
14. дорівнює відношенню напруги на провіднику до сили струму в ньому, називають опором провідника. [↑](#footnote-ref-14)
15. необхідно знати Иого довжину, площу пе- [↑](#footnote-ref-15)
16. Я [↑](#footnote-ref-16)
17. Я — ? [↑](#footnote-ref-17)
18. Я = р -. [↑](#footnote-ref-18)
19. Як можна експериментально довести, що опір провідника залежить від матеріалу провідника, його довжини і площі поперечного перерізу? [↑](#footnote-ref-19)
20. Для чого використовують реостати? [↑](#footnote-ref-20)
21. Сформулюйте закон Ома для ділянки кола. Запишіть формулу за­кону Ома. у [↑](#footnote-ref-21)
22. Як визначити роботу електричного струму через заряд, що прохо­дить ділянкою кола, і напругу на її кінцях? [↑](#footnote-ref-22)