



Тетяна Засекіна
Дмитро Засекін



Фізика

для закладів загальної середньої освіти
з поглибленим вивченням фізики

8



Тетяна Засєкіна, Дмитро Засєкін

Фізика

**Підручник для 8 класу
закладів загальної середньої освіти
з поглибленим вивченням фізики**

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України



Як користуватися підручником

Юні друзі!

Вивчаючи фізику в 7 класі, ви переконались, що ця наука відкриває для вас багато таємниць природи, допомагає пояснити явища, з якими ви стикаєтесь на кожному кроці. Ще більше відкриттів ви зробите, вивчаючи теплові й електричні явища у 8 класі!

Полегшить вам цей шлях пізнання книга, яку ви тримаєте в руках і з якою працюватимете впродовж навчального року. Цей підручник містить два розділи. Перед кожним із них коротко викладено суть матеріалу, що міститься в даному розділі, а наприкінці, у рубриці «Підсумки до розділу ...» узагальнено і систематизовано навчальний матеріал. Розділи поділено на параграфи, що починаються з коротких рубрик «Ви дізнаєтесь» і «Пригадайте». Ці рубрики повідомлять вам про основні питання, які розглядатимуться в параграфі, а також підкажуть, що потрібно пригадати з раніше вивченого. В основному тексті параграфа формули, визначення і поняття для зручності виділені шрифтом і кольором. Наприкінці кожного параграфа є рубрика «Підбиваємо підсумки», яка допоможе вам краще запам'ятати головне.

Важливо, щоб результатом навчання стали не лише глибокі й міцні знання з фізики, а й сформовані вміння використовувати їх для розв'язання різноманітних навчальних і життєвих задач, зокрема застосування набутих знань та навичок для збереження власного здоров'я та здоров'я інших, дотримання правил безпеки життєдіяльності, оцінювання позитивного потенціалу та ризиків використання надбань фізики, техніки і технологій для добробуту людини й безпеки довкілля, прояву ініціативності, підприємливості та громадянської відповідальності. З цією метою в підручнику після кожного параграфа є рубрика «Я знаю, вмію і розумію», а в кінці розділів — «Виконуємо навчальні проекти», де подано завдання на реалізацію наскрізних змістових ліній, позначені відповідними піктограмами «Екологічна безпека та сталий розвиток» — , «Громадянська відповідальність» — , «Здоров'я і безпека» — , «Підприємливість та фінансова грамотність» — .

У рубриці «Домашні дослідження та спостереження» пропонуються завдання, які ви зможете виконати самостійно. Оскільки розв'язування фізичних задач є одним із найважливіших умінь, що формується у процесі опанування фізики, то в підручнику пропонується рубрика «Вчимося розв'язувати задачі», а також «Вправи» із задачами різної складності. Задачі підвищеного рівня складності позначені зірочкою (*). Виконуючи завдання в рубриці «Перевірте себе», ви зможете оцінити свої знання і вміння застосувати їх. У кінці підручника вміщено відповіді до вправ і предметний покажчик.

**Бажаємо успіхів у навчанні, нехай цей підручник
стане вашим добрим помічником!**

Автори

ЗМІСТ

<i>Як користуватися підручником.</i>	3
РОЗДІЛ 1. Теплові явища. Теплові машини та механізми	6
§ 1. Основні положення молекулярно-кінетичної теорії	7
§ 2. Теплові явища. Тепловий рух	13
§ 3. Тепловий стан тіла. Температура.	15
§ 4. Вимірювання температури. Температурні шкали	18
<i>Лабораторна робота № 1. Вимірювання температури за допомогою різних термометрів.</i>	22
§ 5. Агрегатні стани речовини	23
§ 6. Залежність розмірів тіл від температури	28
§ 7. Внутрішня енергія	34
§ 8. Теплопровідність	38
§ 9. Конвекція.	40
§ 10. Теплове випромінювання	43
§ 11. Кількість теплоти. Розрахунок кількості теплоти під час нагрівання тіла.	46
§ 12. Тепловий баланс	50
<i>Лабораторна робота № 2. Вивчення теплового балансу за умов змішування води різної температури</i>	55
<i>Лабораторна робота № 3. Визначення питомої теплоємності речовини.</i>	56
<i>Перевірте себе</i>	57
§ 13. Кристалічні та аморфні тіла	59
§ 14. Розрахунок кількості теплоти під час плавлення/тверднення тіл	64
<i>Лабораторна робота № 4. Визначення питомої теплоти плавлення льоду.</i>	68
§ 15. Випаровування і конденсація.	69
§ 16. Кипіння. Розрахунок кількості теплоти під час пароутворення/ конденсації.	73
§ 17. Розв'язання основних типів задач із розділу «Теплові явища».	77
<i>Перевірте себе</i>	81
§ 18. Згорання палива. Розрахунок кількості теплоти внаслідок згорання палива	83
<i>Лабораторна робота № 5. Визначення коефіцієнта корисної дії нагрівника</i>	88
§ 19. Види машин і механізмів. Перетворення енергії в механічних і теплових процесах.	89
§ 20. Теплові машини	93
§ 21. Теплові двигуни	97
§ 22. Холодильні машини. Кондиціонери. Теплові насоси	101
<i>Перевірте себе</i>	105
§ 23. Фізика атмосфери	107
§ 24. Рідкі кристали.	112
§ 25. Полімери.	114
§ 26. Наноматеріали	117
<i>Підсумки до розділу «Теплові явища. Теплові машини та механізми»</i>	120
Проявляємо компетентність	126
Виконуємо навчальні проекти	127

РОЗДІЛ 2. Електричні явища. Електричний струм	128
§ 27. Взаємодія заряджених тіл	129
§ 28. Електрон. Електричні властивості речовини	133
§ 29. Електричне поле	136
§ 30. Провідники та діелектрики в електричному полі	142
§ 31. Механізми електризації тіл. Закон збереження електричного заряду	147
<i>Лабораторна робота № 6. Дослідження взаємодії заряджених тіл</i>	151
§ 32. Подільність електричного заряду	152
§ 33. Закон Кулона	156
<i>Перевірте себе</i>	160
§ 34. Електричний струм. Джерела електричного струму	162
§ 35. Дії електричного струму	169
§ 36. Електричне коло	172
§ 37. Сила струму	175
§ 38. Електрична напруга	178
<i>Лабораторна робота № 7. Вимірювання сили струму й електричної напруги</i>	182
§ 39. Електричний опір. Закон Ома для ділянки кола	183
<i>Лабораторна робота № 8. Вимірювання опору провідника за допомогою амперметра й вольтметра</i>	187
§ 40. Електричний опір металевих провідників. Питомий опір	189
§ 41. Послідовне з'єднання провідників	193
<i>Лабораторна робота № 9. Дослідження електричного кола з послідовним з'єднанням провідників</i>	199
§ 42. Паралельне з'єднання провідників	200
<i>Лабораторна робота № 10. Дослідження електричного кола з паралельним з'єднанням провідників</i>	206
§ 43. Методи розрахунку розгалужених кіл	207
<i>Перевірте себе</i>	211
§ 44. Розширення меж вимірювання електровимірювальних приладів: шунт і додатковий опір	213
§ 45. Робота і потужність електричного струму	215
§ 46. Закон Джоуля—Ленца. Електронагрівальні прилади	221
§ 47. Електричний струм у металах	227
§ 48. Залежність опору металевих провідників від температури	230
§ 49. Електричний струм у розчинах і розплавах електролітів. Закон Фарадея	234
§ 50. Електричний струм у газах	240
§ 51. Електричний струм у напівпровідниках	245
§ 52. Напівпровідникові прилади та їх застосування в техніці	248
Безпека людини під час роботи з електричними приладами та пристроями	250
<i>Перевірте себе</i>	252
<i>Підсумки до розділу «Електричні явища. Електричний струм»</i>	254
<i>Виконуємо навчальні проекти</i>	260
<i>Фізичний практикум</i>	261
<i>Відповіді до вправ</i>	270
<i>Предметний покажчик</i>	272

Розділ 1

ТЕПЛОВІ ЯВИЩА. ТЕПЛОВІ МАШИНИ ТА МЕХАНІЗМИ



Серед планет Сонячної системи тільки на Землі сформувалися всі умови, необхідні для існування життя. Це — наявність води, повітря, достатньої кількості світла й тепла. Теплові явища відіграють величезну роль у житті людини, тварин і рослин. Вони лежать в основі кругообігу речовин й енергії в природі, зміни кліматичних умов, забезпечують розмаїття природи.

Завдяки дослідженням теплових процесів люди зуміли створити машини, без яких неможливо уявити побут сучасної людини та стрімкий розвиток виробництва. В історії земної цивілізації навіть виокремлюють період, який називають «століттям пари». Із часом парові машини вдосконалювались, на заміну деяким із них прийшли електричні машини, але й до сьогодні уявити сучасний світ без двигунів внутрішнього згорання, реактивних двигунів, теплових установок — неможливо! І неможливо при цьому оминати питання, пов'язані з наслідками використання теплових машин: забруднення, глобальне потепління, енергетичні й економічні проблеми та кризи.

Вивчаючи розділ «Теплові явища. Теплові машини та механізми», ви дізнаєтеся, що таке тепловий рух, температура, кількість теплоти, внутрішня енергія. З'ясуєте, що відбувається всередині тіла, коли воно нагрівається, плавиться або випаровується. Ознайомитесь із різноманіттям речовин у природі й дізнаєтесь, які речовини люди навчилися створювати штучно. Попереду вас чекають цікаві досліді та спостереження, які ви зможете виконати самостійно. Ви дослідите особливості теплових процесів, зрозумієте, чому речовини можуть змінювати свої агрегатні стани. Навчитесь обчислювати кількість теплоти під час теплообміну між тілами й у разі зміни агрегатного стану речовини.

Після вивчення розділу «Теплові явища. Теплові машини та механізми» ви здобудете знання, які дадуть вам змогу не тільки пояснювати теплові явища, а й застосовувати їх у своїй практичній і майбутній професійній діяльності.

§ 1

Основні положення молекулярно- кінетичної теорії

Основні положення молекулярно-кінетичної теорії. Ваші знання про речовину та її будову формувалися на уроках природознавства, хімії, фізики. Однак це лише початкові знання, які потрібно уточнити та розвинути. Адже завжди цікаво знати, що саме відбувається всередині тіла, коли воно нагрівається, плавиться або випаровується. Якщо молекули рухаються, то з якою швидкістю? Чому тіла в результаті нагрівання розширюються?

Пригадаймо, що нам відомо про будову речовини (мал. 1).

Речовини складаються із дрібненьких частинок: молекул, атомів або йонів.

Молекула — частинка речовини, що складається з однакових (проста речовина) або різних (складна речовина) атомів, об'єднаних хімічними зв'язками.

Атом — найменша, електронейтральна, хімічно неподільна частинка хімічного елемента.

До того ж атом має складну внутрішню структуру: в основному, атом порожнистий: у його центрі міститься дуже маленьке й дуже щільне **ядро**, а навколо нього — **електрони**. Електрони дуже швидко обертаються, і здається, що вони ніби «розмазані» в просторі на деякій відстані від ядра, у так званих електронних хмарах. У свою чергу, ядро атома також подільне — воно складається із частинок двох типів: **протонів** і **нейтронів**.

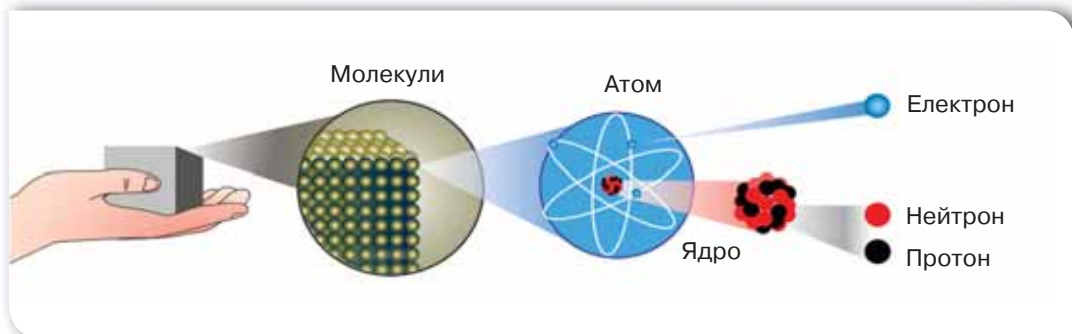
Електрони й протони мають унікальні природні властивості — вони є носіями елементарного електричного заряду.

Ви дізнаєтесь

- Чому тіла не розпадаються самі собою на окремі молекули
- Як рухаються і взаємодіють між собою молекули

Пригадайте

- Що вам відомо про будову речовини



Мал. 1. Схематичне зображення структурних частинок речовини

Йон — електрично заряджена частинка речовини, що утворилася з атома або атомної групи внаслідок втрати або приєднання електронів.

Фізичні та хімічні властивості речовини зумовлюються взаємодією між її складовими частинками. Від особливостей розташування молекул і характеристик їх руху залежить агрегатний стан речовини, тобто вона може перебувати у твердому, рідкому й газоподібному¹ станах.

Під час фізичних процесів склад речовини залишається незмінним, хоча сама речовина може змінювати свій агрегатний стан. Це головна відмінність фізичних явищ від хімічних, що пов'язані зі змінами речовин. Під час хімічних процесів руйнуються зв'язки між атомами, які з'єднують їх у молекули. Самі атоми при цьому залишаються незмінними й об'єднуються в нові молекули. У результаті цього утворюються нові речовини.

Усе багатство навколишнього світу викликано тим, що окремі атоми здатні міцно зв'язуватись один з одним (хімічними зв'язками) й утворювати прості та складні речовини. Сучасним науковцям відомо понад двадцять мільйонів речовин. Усі вони вивчаються, класифікуються і мають власну назву. Речовини досліджують такі науки, як фізика, хімія, географія, біологія та ін. Кожна із цих наук досліджує певні властивості речовини. Так, у фізиці **речовину** досліджують як вид матерії, що має власну масу та складається із частинок.

На основі досліджень багатьох учених у XIX ст. було створено теорію будови речовини, так звану **молекулярно-кінетичну теорію**, в основу якої покладено такі положення:

- усі речовини складаються з дрібних частинок (атомів, молекул або йонів), між якими є проміжки;
- ці частинки неперервно й безладно (хаотично) рухаються і взаємодіють між собою (притягуються і відштовхуються).

Явища, що підтверджують рух молекул й атомів. Безпосереднім експериментальним підтвердженням руху молекул у газах, рідинах і твердих тілах є явища дифузії (від латин. *diffusion* — поширення) та броунівського руху.

Явище дифузії зумовлене тим, що внаслідок свого руху молекули однієї речовини можуть проникати між молекули іншої без жодного зовнішнього втручання.

Дифузія — явище взаємного проникнення частинок однієї речовини у проміжки між частинками іншої за їхнього безпосереднього контакту. Явище дифузії зумовлене безладним рухом частинок речовини.

Дифузія спостерігається в газах, рідинах і твердих тілах. Відмінність у характері руху й взаємодії молекул у твердому, рідкому та газоподібному станах зумовлює різну швидкість дифузії. Щоб аромат парфумів поширився кімнатою, потрібно кілька хвилин. Якщо налити в посудину томатного соку, а потім акуратно, щоб не відбувалося змішування, доли-

¹ У навчальній літературі ще застосовують термін «газуватий».

ти води, то лише через 2–3 дні молекули однієї рідини проникнуть між молекули іншої (мал. 2).

Спостерігати явище дифузії у твердих тілах складніше, але можливо. В одному з дослідів добре відшліфовані свинцеву та золоту пластинки поклали одна на одну і притиснули тягарем. За кімнатної температури ($\approx 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) за 5 років золото і свинець взаємно проникли одне в одного на відстань близько 1 мм (мал. 3).

Швидкість дифузії залежить не лише від агрегатного стану взаємодіючих речовин. Якщо б дослід із дифузиею рідин ви проводили в теплому та прохолодному місцях, чи однаковим був би результат? Життєвий досвід і спостережливість підкажуть вам, що в теплому місці дифузія відбувається швидше.

Броунівський рух названо так на честь англійського ботаніка Роберта Броуна, який у 1827 р. першим його спостерігав. Досліджуючи за допомогою мікроскопа спори плауна у воді, він помітив, що спори рухаються. Сам Броун спочатку вважав, що спори рухаються тому, що вони живі. Однак частинки продовжували хаотично рухатися навіть після кип'ятіння суміші. Причому при збільшенні температури суміші рух спор ставав інтенсивнішим. Згодом Броун спостерігав такий самий хаотичний рух дрібних частинок інших речовин (органічних і неорганічних). Однак він не зміг пояснити цього явища.

Броунівський рух вивчало багато вчених. Пояснення цьому явищу дали у 1905–1906 рр. видатний німецький фізик А. Ейнштейн і польський учений М. Смолюховський.

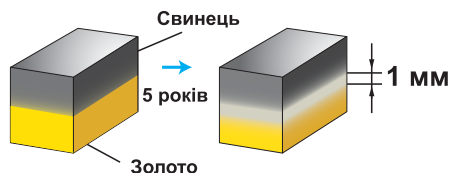
Явище броунівського руху пояснюється тим, що молекули рідини або газу зіштовхуються з мікрочастинкою (наприклад, спорою), яка перебуває в завислому стані в рідині або газі. Молекули штовхають мікрочастинку з різних боків, і ці удари не компенсуються, оскільки кількість ударів-зіткнень у кожний момент часу з кожного боку різна. У результаті мікрочастинка рухається. Траєкторія її руху — ламана лінія (мал. 4).

Мікрочастинки рухаються завдяки хаотичному руху молекул і не можуть зупинитись. Дослідами доведено, що інтенсивність броунівського руху зростає з підвищенням температури.

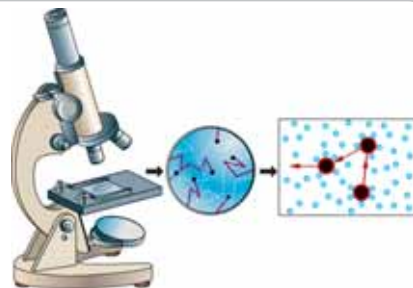
Явища, що підтверджують взаємодію молекул. Згідно з положеннями молекулярно-



Мал. 2. Дослід зі спостереження дифузії в рідинах



Мал. 3. Дослід зі спостереження дифузії у твердих тілах



Мал. 4. Спостереження і моделювання броунівського руху



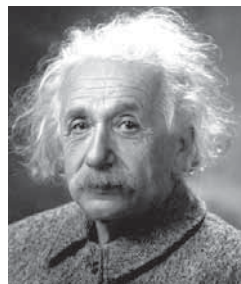
**Роберт Броун
(1773–1858)**

Англійський (шотландський) учений (ботанік), який у 1827 р. першим спостерігав хаотичний рух мікрочастинок речовини — явище броунівського руху



**Мар'ян
Смолуховський
(1872–1917)**

Видатний польський учений. Професор і ректор Львівського університету. Один з основоположників молекулярної фізики



**Альберт Ейнштейн
(1879–1955)**

Видатний німецький та американський фізик-теоретик. Автор унікальних праць із теорії відносності, фотоелектричного ефекту, молекулярно-кінетичної теорії. Лауреат Нобелівської премії з фізики

кінетичної теорії молекули взаємодіють одна з одною завдяки силам притягання і відштовхування. Ці сили мають електромагнітну природу, хоча молекула або атом є електрично нейтральною (незарядженою) частинкою речовини. Взаємодія молекул або атомів зумовлена взаємодією їхніх складових частинок: електронів, що мають від'ємний електричний заряд, та ядер атомів, що мають позитивний електричний заряд.

Із проявом сил міжмолекулярної взаємодії ви дещо ознайомились у сьомому класі, вивчаючи механічні явища. Саме міжмолекулярна взаємодія зумовлює виникнення сил пружності та сил тертя.

У твердих тілах міжмолекулярні сили проявляють себе як сили пружності при різноманітних деформаціях і зумовлюють міцність тіла.

Сили тертя між поверхнями, що контактують, залежать від матеріалу, з якого виготовлено поверхні, та від якості їх обробки. За більшої якості обробки поверхня тертя зменшується. Однак зменшувати шорсткість поверхонь можна лише до певної межі, оскільки якщо поверхні дуже гладенькі (наприклад, поліровані), то проявляються сили міжмолекулярного притягання, що перешкоджають ковзанню.

Саме сили притягання між молекулами використовують під час склеювання і зварювання. Головним у цих процесах є зближення молекул, що взаємодіють, на достатньо малу відстань, щоб сили міжмолекулярного притягання могли проявити себе. Так, притискаючи один до одного уламки розбитої порцелянової чашки, не можна її відновити, бо відстань між сусідніми молекулами в щілині настільки значна, що сили міжмолекулярної взаємодії між ними не виникають. Щоб досягти з'єднання, використовують клей (речовину в рідкому стані), після тверднення якого виріб набуває міцності й попередньої форми.

Вам, мабуть, доводилось бачити, як краплина води може розтікатися по поверхні, а може набувати форми кульки (мал. 5). Це зумовлено спів-



Мал. 5. Явища змочування (а) і незмочування (б)

відношенням між силами притягання молекул рідини між собою та з молекулами твердого тіла, з яким контактує рідина.

Якщо молекули рідини притягуються одна до одної слабше, ніж до молекул твердого тіла, — то рідина розтікається (змочує поверхню).

А якщо сили притягання між молекулами самої рідини більші, ніж сили притягання цих молекул до молекул твердого тіла, — то рідина набуває форми кулі (не змочує поверхню).

Властивості речовини залежать від інтенсивності руху її молекул і сил взаємодії між ними. Сили міжмолекулярної взаємодії (притягання і відштовхування) утримують молекули на певних відстанях одна від одної, а хаотичний рух молекул й атомів сприяє зміні цих відстаней. Спільна дія обох цих чинників і визначає агрегатний стан кожної речовини, про що детальніше дізнаєтесь у наступних параграфах.

Підбиваємо підсумки

- Явище дифузії та броунівський рух підтверджують положення молекулярно-кінетичної теорії будови речовини про те, що молекули хаотично й безперервно рухаються.
- Пружні властивості тіл, тертя, змочування — підтверджують, що між молекулами діють сили притягання і відштовхування.



Я знаю, вмію і розумію



1. Сформулюйте положення молекулярно-кінетичної теорії будови речовини.
2. Наведіть приклади явищ, що підтверджують хаотичність руху частинок речовини.
3. За яких умов притягання між молекулами помітне?
4. Які явища свідчать про те, що молекули не тільки притягуються одна до одної, а й відштовхуються?
5. У чому полягає суть явища дифузії? броунівського руху?
6. Наведіть приклади дифузії. Які особливості протікання цього явища у твердих тілах, рідинах і газах?



ПОЯСНІТЬ

1. Чи можна вважати безладний рух порошочок у повітрі броунівським?
2. Чому плями від розлитої кави легше видалити відразу та значно важче зробити це згодом?
3. Поширення аромату ми відчуваємо не відразу, а через деякий час. Але ми знаємо, що середня швидкість руху молекул газу є досить високою (близько 500 м/с). Чому швидкість дифузії в багато разів менша від швидкості руху молекул?
4. Як відомо, між молекулами речовини на малих відстанях діють сили відштовхування. Чому ж речовина не розпадається на окремі молекули?

Експериментальні й дослідницькі завдання

1. Уявіть, що ви випадково розбили порцелянову чашку й намагаєтесь її склеїти. Поясніть процес склеювання з фізичної точки зору. Який клей ви будете для цього використовувати? Що потрібно зробити з частинами розбитої чашки перед склеюванням? Як довго прослужить така чашка?
2. На скільки зменшиться об'єм води в заповненій доверху посудині, якщо обережно опустити в неї брусок з парафіну масою 180 г, а потім витягнути його? Що зміниться, якщо замість бруска з парафіну використати брусок із корку такого самого розміру?



Вправа 1

1. Запиленість повітря в місті — 110 порошочок в 1 см^3 , що майже в 10 разів більше, ніж у сільській місцевості. Визначте концентрацію порошочок в одиницях СІ. Якою є запиленість повітря в сільській місцевості? Чим пояснюється відмінність у запиленості повітря над океаном, у міській і сільській місцевості? Які заходи вживають у вашій місцевості для очистки повітря?
2. Щороку в моря і океани потрапляє значна кількість нафти. Одна тонна нафти покриває плівкою до 12 км^2 акваторії. Визначте товщину плівки, якщо густина нафти 830 кг/м^3 . Дайте відповідь і на такі запитання: у чому причини викидів нафти? Які технології застосовуються для того, щоб уникнути викидів нафти?
3. Лінійний розмір молекули білка складає $40 \cdot 10^{-8} \text{ см}$. Якою була б кількість таких молекул у ряду завдовжки 1 см, за умови, що розміри проміжків між молекулами дорівнюють розмірам самих молекул?
4. Маса молекули води $3 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$. Визначте кількість молекул у 60 см^3 води.



ДОМАШНІ ДОСЛІДИ ТА СПОСТЕРЕЖЕННЯ

1. Розбризкайте (або налейте) трохи пахучої речовини в одному з кутків кімнати. Дочекайтесь появи запаху цієї речовини в іншому кутку кімнати (якщо працюєте вдвох, то можна стати на різних відстанях від пахучої речовини та порівняти час поширення запаху). Як можна прискорити процес дифузії в цьому досліді? Чи є дифузія основною причиною розповсюдження запаху в цьому випадку?

2. Налийте у дві склянки однакову кількість води (приблизно до половини). Акуратно опустіть на дно склянок з водою крупинки «марганцівки». Обережно, щоб не збовтати, поставте одну склянку в холодильник, а другу — в тепле місце (можна неподалік від батареї опалення). Здійснюйте спостереження протягом тижня, щодня записуйте їх результати. Зробіть висновок за результатами спостережень.



Теплові явища. Тепловий рух

Теплові явища. У природі відбуваються явища, які ми пов'язуємо із холодом і теплом: нагрівання і охолодження, плавлення і тверднення, випаровування і конденсація. Такі явища називаються *тепловими*.

Що таке теплота? Як її можна виміряти? Як вона передається від одного тіла до іншого? Ці питання цікавили багатьох дослідників ще з давніх часів. Те, що теплові явища пов'язані з внутрішнім рухом і взаємодією частинок тіла, учені довели завдяки тривалим дослідженням і дискусіям. Перші спроби пояснити теплові явища належать філософам давнини, які розглядали вогонь і пов'язану з ним теплоту як одну зі стихій, що разом із землею, водою і повітрям входить до складу всіх тіл.

У той самий час деякі дослідники робили спроби пов'язати теплоту з рухом. Що могло бути підставою для таких спроб? Відповідь може видатись очевидною, адже всім відомо, що під час зіткнення тіл або тертя одного тіла об інше вони нагріваються. Проте процес становлення наукового пояснення теплових явищ на основі внутрішнього руху і взаємодії частинок речовини був складним і тривалим. Адже людина неспроможна безпосередньо бачити ці часточки й особливості їхнього руху.

Як саме фізикам вдалося пояснити тепловий стан тіла — головна проблема, яку ми будемо досліджувати в цьому розділі.

Оскільки наші дослідження теплових явищ будуть пов'язані з мікро-частинками, які ми не можемо бачити, то нам у пригоді стане фізичне моделювання, що дасть змогу описувати та зображувати на малюнках структурні частинки речовини. Пригадаймо: досліджуючи механічний рух, ми використовували фізичну модель — *матеріальну точку*, тобто в певних умовах нехтували розмірами тіла.

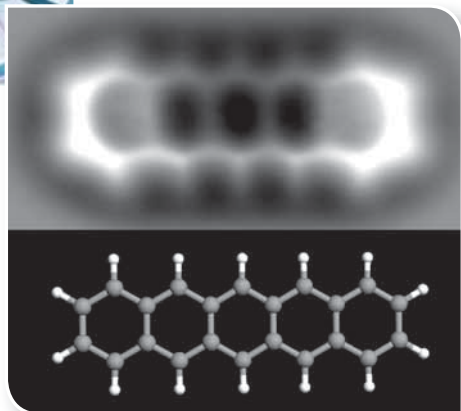
Досліджуючи теплові явища, також будемо вдаватись до моделювання, зокрема, схематично зображати *молекули у вигляді кульок*.

Ви дізнаєтесь

- Чому рух молекул й атомів називають тепловим

Пригадайте

- Основні положення молекулярно-кінетичної теорії



Мал. 6. Фотографія органічної молекули пентацена ($C_{22}H_{14}$), що складається із 22 атомів Карбону й 14 атомів Гідрогену. Розмір молекули 1,4 нм. Знизу — модель цієї молекули: сірі кульки — атоми Карбону, білі — Гідрогену

Насправді реальна внутрішня будова речовини є іншою. І завдяки нанотехнологіям, одним із найсучасніших досягнень людства, ученим вдалося «зазирнути» в таємниці мікросвіту. Сучасні нанотехнології дають змогу не просто сфотографувати молекули й атоми (мал. 6), а й створювати нові їхні комбінації для отримання матеріалів із наперед заданими властивостями.

Тепловий рух. Розглянуті нами в попередньому параграфі приклади броунівського руху й дифузії беззаперечно доводять, що частинки речовини безперервно й хаотично рухаються. Водночас, рух мікрочастинок у газах, рідинах і твердих тілах має певні відмінності. Але є і загальна ознака руху структурних частинок речовини: *що більша швидкість хаотичного руху молекул, атомів та інших мікрочастинок тіла, то більш нагрітим воно буде, і навпаки*. Тому безперервний хаотичний рух молекул й атомів називають тепловим.

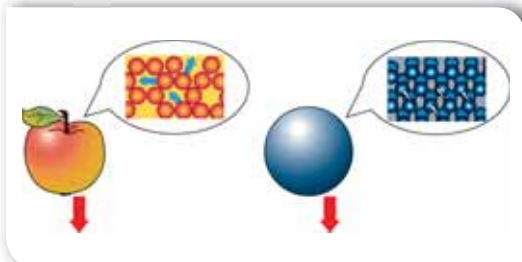


Тепловим рухом називають безперервний, невпорядкований (хаотичний) рух молекул й атомів.

Усі теплові явища зумовлені тепловим рухом. Тому, дослідивши властивості теплового руху, ми зможемо пояснити перебіг теплових явищ.

Розглядаючи механічний рух тіла, ми не брали до уваги напрямки руху всіх його мікрочастинок: вважали, що всі частинки разом переносяться в одному напрямку (мал. 7).

Нормальні умови (н. у.):
значення тиску ($p \approx 101$ кПа)
значення температури ($t = 0$ °C)



Мал. 7. Механічні й теплові рухи

Відмінність теплового руху від механічного пояснюється тим, що речовина містить величезну кількість молекул. Так, наприклад, за нормальних умов в 1 м^3 кисню міститься $2,7 \cdot 10^{25}$ молекул. При цьому кожна молекула зазнає близько мільярда зіткнень за секунду, внаслідок чого постійно змінюється її швидкість і напрямок руху. Навіть якщо нам вдасться дослідити закономірності руху однієї молекули, стверджувати, що ці закономірності властиві всім іншим частинкам речовини, не можна! Тепловий рух молекул має *якісно* інші характеристики

порівняно з рухом окремої молекули. У цьому випадку, описуючи тепловий рух, використовують **середні значення**: середня швидкість руху молекул, середня кінетична енергія молекул, середня потенціальна енергія взаємодії молекул.

Підбиваємо підсумки

- Усі теплові явища зумовлені рухом і взаємодією частинок речовини (молекул).
- Тепловим рухом називають безперервний, неупорядкований (хаотичний) рух молекул й атомів.
- Інтенсивність теплового руху мікрочастинок речовини збільшується з підвищенням температури, і навпаки. Саме ця закономірність зумовила те, що рух молекул й атомів називається тепловим.



Я знаю, вмію і розумію



1. Наведіть приклади теплових явищ у природі.
2. Чому хаотичний рух молекул й атомів називають тепловим?
3. Чим тепловий рух відрізняється від механічного?



ПОЯСНІТЬ

1. Чи відбувається тепловий рух у: а) краплині води; б) порошокці; в) атомі Оксигену; г) шматку льоду?
2. Чи однаково рухаються молекули повітря в безвітряну погоду, спекотного літнього дня і в сильний мороз?



Тепловий стан тіла. Температура

Тепловий стан тіла. Для людини важливо правильно визначати тепловий стан тіл. Якщо необережно доторкнутися до посудини на розігрітій плиті, можна отримати опіки; якщо залишити залізне відро з водою на морозі — воно може деформуватись; якщо залишити морозиво в теплій кімнаті — воно розтане.

Ви дізнаєтесь

- Про молекулярно-кінетичне тлумачення температури

Пригадайте

- Чому рух молекул й атомів називають тепловим

Ми можемо оцінити теплові стани деяких тіл за власними відчуттями: чашка із щойно приготованою кавою — гаряча, сніг — холодний. Але відчуття тепла або холоду є суб'єктивними. Наприклад, зануримо на кілька хвилин одну руку в гарячу воду, іншу — в холодну. Після цього зануримо обидві руки в посудину з водою кімнатної температури і спробуємо за своїм відчуттям встановити, яка в ній вода — холодна чи гаряча. На диво, ми цього не зможемо зробити, оскільки рука, що була в гарячій воді, відчуватиме холод, і навпаки, рука, що була в холодній воді, відчуватиме тепло.

Щоб однозначно визначити тепловий стан тіла, треба знати фізичну величину, за якою можна об'єктивно встановити, яке з тіл і на скільки тепліше чи холодніше за інше. Для характеристики теплового стану тіла використовують поняття **температура**. Із цим поняттям ви вже стикалися. Спробуємо пояснити його з точки зору молекулярно-кінетичного вчення про будову речовини.

Тепловий стан тіла визначається тепловим рухом його мікрочастинок: що більшою є швидкість хаотичного руху мікрочастинок тіла, то більш нагрітим воно буде, і навпаки. Тобто швидкість руху молекул і температура тіла взаємопов'язані. Проте, як виявилось, не лише швидкість руху молекул речовини впливає на її температуру. Наприклад, за нормальних умов у частинок з порівняно малими масами (атоми або молекули водню, гелію) швидкості теплового руху більші, ніж у частинок з більшою масою (молекули кисню або води). Тому величина, з якою пов'язана температура, — це кінетична енергія руху молекул: **що вищою є температура тіла, то більша середня кінетична енергія руху його мікрочастинок, і навпаки**.

Таким чином, з точки зору молекулярно-кінетичного вчення, температура тіла характеризує середню кінетичну енергію руху часток речовини, з якої воно складається.

Температура — це фізична величина, що характеризує тепловий стан речовини і визначається середньою кінетичною енергією хаотичного руху частинок речовини.

Теплова рівновага. З досвіду ми знаємо, що чайник з окропом, щойно знятий із плити, ставлять на спеціальну підставку, щоб не зіпсувати поверхню столу внаслідок її нагрівання. Гарячий чайник передає своє тепло поверхні, на якій стоїть. Якщо цей самий чайник поставити на сніг, то він швидко охолоне, а сніг під ним розтане. Досліди показують, що у природі існує важлива закономірність теплових процесів. Якщо тіла мають різну температуру, то обмін теплотою між ними відбувається в чітко визначеному напрямку: *від тіла з вищою температурою до тіла з нижчою температурою*. Під час контакту більш нагріті тіла віддають тепло менш нагрітим і при цьому охолоджуються, менш нагріті тіла приймають тепло і нагріваються. До того ж під час такого теплового контакту можуть змінюватися й інші властивості тіл: вони можуть стати більшими або меншими за розмірами, змінити свій агрегатний стан, почати краще або гірше проводити електричний струм, випромінювати світло тощо.

Проте передача теплоти триває лише певний час. Будь-яке тіло або система тіл, що перебувають в обмеженому просторі, із часом самочинно переходять у стан, у якому всі частини тіла або всі тіла системи мають однакову температуру, тобто у стан **теплової рівноваги**.

З'ясуємо, у чому причина такого явища. Молекули гарячого тіла мають більшу кінетичну енергію поступального руху, тому рухаються швидше, ніж молекули холодного тіла. Під час контакту тіл (дотику твердих тіл або змішування рідин і газів) більш швидкі молекули гарячого тіла співударяються з повільнішими молекулами холодного тіла і віддають їм частину своєї кінетичної енергії та починають рухатися повільніше. Гаряче тіло поступово охолоджується, а холодне — нагрівається. З точки зору молекулярно-кінетичної теорії у стані теплової рівноваги в усіх тіл, що контактують між собою, середня кінетична енергія хаотичного руху частинок речовини, а отже і температура, є однаковими.

Температура всіх тіл у стані теплової рівноваги набуває однакового значення.

Підбиваємо підсумки

- Температура — це фізична величина, що характеризує тепловий стан речовини і визначається середньою кінетичною енергією хаотичного руху частинок речовини.
- У природі теплові процеси підпорядковуються закону теплової рівноваги: тіла з вищою температурою віддають менш нагрітим тілам, з якими контактують, теплоту, допоки їх температури із часом стануть однаковими.



Я знаю, вмію і розумію



1. Якими характеристиками частинок речовини визначається тепловий стан тіла?
2. Що характеризує температура тіла?
3. Що таке теплова рівновага? Наведіть приклади теплової рівноваги тіл.



ПОЯСНІТЬ

1. Що означає теплова рівновага з точки зору молекулярно-кінетичної теорії?
2. Який фізичний зміст вкладають у поняття: «гаряче» тіло, «холодне» тіло?
3. Чому, якщо подихати собі на руку, отримуємо відчуття тепла, а якщо подути — відчуття холоду?
4. Чому в сильні морози небезпечно торкатися металевих поверхонь голими руками? Поясніть це з фізичної точки зору.

ДОМАШНІ ДОСЛІДИ ТА СПОСТЕРЕЖЕННЯ

Проведіть дослід із гарячою і холодною водою, описаний на початку параграфа.



Вимірювання температури.

Температурні шкали

Ви дізнаєтесь

■ Як і для чого вимірюють температуру

Пригадайте

■ Що означає теплова рівновага

Вимірювання температури. Термометри.

У попередньому параграфі ми з'ясували, що тіла, які перебувають у стані теплової рівноваги, мають однакову температуру. Цю властивість покладено в основу її вимірювання. Прилад для вимірювання температури називають **термометром**. Щоб виміряти температуру певного тіла, його приводять у контакт із термометром і чекають, поки теплообмін між тілом і термометром припиниться. Термометр фіксує власну температуру, що дорівнює температурі тіла, з яким він перебуває в тепловій рівновазі.

Вимірювання температури має деякі особливості: для температури не існує еталона, з яким би ми могли її порівнювати, як, наприклад, для маси чи довжини. Про зміну температури тіла судять за зміною інших фізичних параметрів тіл: об'єму, тиску, електричного опору тощо.

Конструкції всіх термометрів складаються з вимірювального елемента та температурної шкали. В основу дії вимірювального елемента покладено певну його властивість, що залежить від температури. Наприклад, для рідинних термометрів (мал. 8, а) — це залежність об'єму рідини від температури, для електричних термометрів (мал. 8, б) — залежність сили струму від температури, для біметалевих (мал. 8, в) — залежність ступеня деформації металевої пластинки від температури.

Найчастіше на практиці використовують залежність об'єму рідини (ртуті або спирту) від зміни температури. Такий спосіб вимірювання температури запропонував у 1742 р. шведський учений Андерс Цельсій. Для того щоб кількісно визначити температуру тіла, необхідно встановити одиницю температури та проградуювати температурну шкалу.

Мал. 8. Термометри:

- а — рідинний;
- б — електричний;
- в — біметалевий



Для градування рідинного термометра скляний балон, що переходить у капіляр і заповнений зафарбованим спиртом або ртуттю, опускають у лід, що тане за нормальних умов. Після того, як між термометром і льодом настане теплова рівновага, рух рідини в капілярі припиниться. Навпроти цього рівня на шкалі ставлять позначку $0\text{ }^{\circ}\text{C}$. Потім термометр переносять у киплячу дистильовану воду за нормального тиску. Після припинення підняття рідини в капілярі термометра ставлять позначку $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Відрізок між нанесеними поділками ділять на 100 рівних частин. Це так звана температурна шкала Цельсія.

Температуру за цією шкалою позначають малою літерою t . Одиницю температури позначають символом $^{\circ}\text{C}$ (градус Цельсія).

Абсолютна шкала температур. Поряд зі шкалою Цельсія у фізиці застосовують абсолютну шкалу температур, запропоновану англійським ученим Вільямом Томсоном, лордом Кельвіном (мал. 9, с. 20).

Нуль цієї шкали є умовною точкою відліку й відповідає такому тепловому стану тіла, за якого припинився б тепловий рух атомів і молекул. Теоретично доведено, що це було б можливо за температури $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Цю температуру називають абсолютним нулем температури. Одиницею такої шкали є 1 K (кельвін). Міжнародною системою одиниць 1 K визнано основною одиницею температури.

Зауважимо, що зміна температури, виміряна за шкалою Цельсія і шкалою Кельвіна, є однаковою. Наприклад, кімнатна температура $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$. За абсолютною шкалою температур це значення відповідає $293,15\text{ K}$. Переведення температури з однієї шкали в іншу здійснюється за формулою: $T = t + 273,15$.

Якщо температура в кімнаті підвищилась на $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ і становить $25\text{ }^{\circ}\text{C}$, то за абсолютною шкалою температур це значення відповідатиме $298,15\text{ K}$, тобто збільшилось на 5 K .

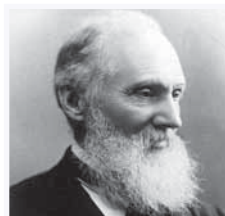
У побуті ми, як правило, користуємось температурною шкалою Цельсія, оскільки вона зручніша для вимірювання температури в межах значень, що є звичними для життєдіяльності людини (погодні умови, температура людського тіла тощо). У фізичних дослідженнях частіше користуються шкалою Кельвіна.

Ви, можливо, чули, що існують й інші температурні шкали, наприклад, шкала Фаренгейта, яку використовують у побуті в англомовних країнах.



Андерс Цельсій
(1701–1743)

Видатний шведський фізик та астроном. У 1742 р. сконструював перший рідинний термометр



**Вільям Томсон,
лорд Кельвін**
(1824–1907)

Видатний англійський фізик, відомий фундаментальними працями з термодинаміки



**Джеймс Клерк
Максвелл**
(1831–1879)

Англійський учений, якому належать великі відкриття в галузі молекулярної фізики, термодинаміки, електродинаміки



**Людвіг Едуард
Больцман
(1844–1906)**

Австрійський фізик,
який зробив великий
внесок у розвиток
термодинаміки й мо-
лекулярної фізики

З історії становлення молекулярно-кінетичного тлумачення температури.

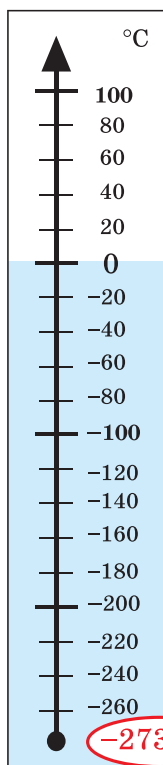
У XIX ст. англійський учений Джеймс Максвелл показав, що температура тіла пов'язана не стільки зі швидкістю руху його молекул, скільки із середньою кінетичною енергією цих молекул. На підставі теоретичних міркувань він довів, що температура тіла характеризує середню кінетичну енергію мікрочастинок, з яких складається це тіло. Австрійський фізик Людвіг Больцман вивів формулу для одноатомного газу, що встановлює кількісне співвідношення між змінами середньої кінетичної енергії мікрочастинок і змінами температури тіла, яке з них складається: $\Delta \bar{E} = \frac{3}{2} k \Delta T$,

$$\Delta \bar{E} = \frac{3}{2} k \Delta T,$$

де k — стала Больцмана, $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ Дж/К;
 T — термодинамічна температура.

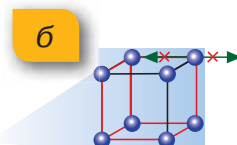
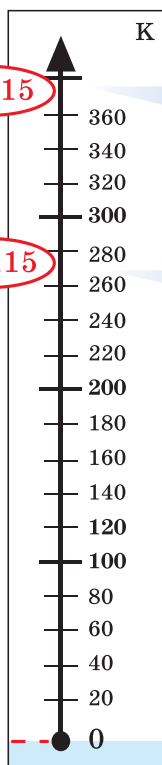
Шкала Цельсія

$$t = T = 273,15$$



Шкала Кельвіна

$$T = t = 273,15$$



Мал. 9. Температурні шкали: а — Цельсія; б — Кельвіна (абсолютна)

Підбиваємо підсумки

- Температуру вимірюють термометрами.
- У побуті користуються термометрами, проградуйованими за шкалою Цельсія.
- У фізичних дослідженнях частіше користуються шкалою Кельвіна. Нуль цієї шкали є умовною точкою відліку й відповідає такому тепловому стану тіла, за якого припинився б тепловий рух атомів і молекул. Теоретично доведено, що це було б можливо за температури $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Цю температуру називають абсолютним нулем температури. Одиницею такої шкали є 1 K (кельвін).
- Переведення температури з однієї шкали в іншу здійснюється за формулою: $T = t + 273,15$.

Я знаю, вмію і розумію



1. Як вимірюють температуру?
2. За яким принципом проградуйована температурна шкала Цельсія?
3. Що є одиницею температурної шкали Цельсія?
4. Що є одиницею абсолютної шкали температур? Як вона пов'язана з градусом Цельсія?



ПОЯСНІТЬ

1. Для чого медичні термометри перед вимірюванням температури тіла потрібно струшувати?
2. Медичні термометри мають шкалу до $42\text{ }^{\circ}\text{C}$. Як вимірюють температуру хворим мешканцям тропічних країн, де температура повітря вища за $42\text{ }^{\circ}\text{C}$ і стовпчики термометрів повністю заповнені ртуттю ще до використання?
3. Чи є обмеження для максимальної і мінімальної температури речовини?
4. Чому стоматологи кажуть, що тютюновий дим шкодить зубам?

Експериментальні й дослідницькі завдання

1. Двома однаковими термометрами вимірюють температуру водопровідної води: першим торкнулися до краплини води, а другий помістили в склянку з водою. У якому випадку показання термометра буде ближчим до справжньої температури води?



Вправа 2

1. На якому з вікон (що виходить: а) на південь; б) на північ; в) на схід; г) на захід; д) у будь-який бік) слід повісити термометр, щоб вимірювання температури повітря надворі були найточнішими?

2. Ціна поділки ртутного термометра становить $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, а відстань між найближчими рисками на шкалі — 1 мм . На скільки зміниться довжина стовпчика ртуті в термометрі, якщо температура підвищиться на $15\text{ }^{\circ}\text{C}$?
3. У скільки разів змінилася кінетична енергія поступального руху частинок деякого газу, якщо внаслідок нагрівання середня швидкість руху його молекул збільшилася втричі?
4. Порівняйте середні швидкості теплового руху атомів газів, що зберігаються за однакової температури, а маси їхніх атомів відрізняються вдвічі. Гази вважати одноатомними.
5. У скільки разів середня кінетична енергія руху атомів газу за температури $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ більша, ніж за температури $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$? Газ вважати одноатомним.



ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

Вимірювання температури за допомогою різних термометрів

Мета роботи: оволодіти навичками вимірювання температури тіл за допомогою різних термометрів.

Прилади та матеріали: різні види термометрів, хімічний стакан або колба з теплою водою.

Правила, яких потрібно дотримуватися під час вимірювання температури тіл

- ✓ Забезпечити належний контакт термометра з тілом, температуру якого вимірюють, щоб між ними відбувався повноцінний теплообмін.
- ✓ Не варто намагатися повністю занурити термометр у досліджуване тіло. Контактувати з тілом має лише вимірювальний елемент, наприклад, колбочка з термометричною рідиною.
- ✓ Потрібно зачекати, доки завершиться теплообмін між тілом і термометром, а їхні температури зрівняються.
- ✓ Термометри — дуже ламкі вимірювальні прилади, що вимагають обережного поводження. Одразу після того, як завершите вимірювання, термометр треба класти у футляр або таке місце, яке забезпечить його надійне зберігання.

Вказівки щодо виконання роботи

1. Ознайомтеся з будовою різних термометрів. З'ясуйте особливості їхнього застосування під час вимірювання температури.
2. Визначте діапазон вимірювання температури, ціну поділки й одиниці вимірювання температури для кожного термометра.
3. За допомогою різних термометрів виміряйте температуру того самого тіла, порівняйте результати та зробіть висновок.
4. Визначте похибку вимірювання для кожного термометра та з'ясуйте, який із них є найточнішим.



Агрегатні стани речовини

Агрегатний стан. Як вам відомо, та сама речовина може перебувати у твердому, рідкому та газоподібному станах, які називають *агрегатними станами речовини*.

У природі різні стани тієї самої речовини найчастіше можна спостерігати на прикладі води (твердий стан — лід, рідина — вода, газоподібний стан — водяна пара). Склад цієї речовини в різних агрегатних станах незмінний — два атоми Гідрогену й один атом Оксигену (мал. 10).

На відміну від води, інші речовини в природі в усіх трьох агрегатних станах спостерігати складніше. Для цього потрібно створити відповідні умови (температура, тиск та інші). Назви таких речовин указують на їхній агрегатний стан, наприклад, рідкий азот, пари ртуті, рідке олово. Важливо зрозуміти, що склад молекули однієї речовини у твердому, рідкому і газоподібному станах нічим не відрізняється.

З'ясуємо, у чому відмінність руху та взаємодії молекул речовини в різних агрегатних станах.

Газ. Газоподібний стан (або газ) — це стан речовини, у якому окремі молекули слабо взаємодіють між собою і рухаються хаотично. Середня кінетична енергія молекул більша, ніж потенціальна енергія їхньої взаємодії.

У газоподібному стані молекули майже не зазнають взаємного притягання. Зіштовхуючись між собою, вони змінюють напрямок руху. (Пригадайте, що швидкість руху молекул між двома послідовними зіткненнями є досить великою, наприклад для молекул азоту за нормальних умов вона становить приблизно 500 м/с).

Відстань між атомами й молекулами газів набагато більша за їхні розміри (приблизно в десятки, а то й сотні разів). Цим, зокрема, пояснюється значна стисливість газів.

Слабкі сили притягання молекул газу не можуть утримати їх одну біля одної. Саме тому гази здатні безмеж-

Ви дізнаєтесь

- Які особливості руху молекул у рідкому, твердому й газоподібному станах

Пригадайте

- Що вам відомо про будову речовин



Мал. 10. Склад молекули води однаковий у всіх її агрегатних станах (водяна пара, вода, лід)



а



б



в

Мал. 11. Опис властивостей газів: а — моделювання внутрішньої структури; б, в — відсутність власної форми, стисливість

но розширюватись і не зберігають ані форми, ані об'єму, тобто займають увесь об'єм посудини, у якій вони містяться.

Основні ознаки газів (мал. 11) — висока леткість, відсутність власної форми, заповнення всього наданого їм об'єму. Ці ознаки зумовлені тим, що молекули газу між короткочасними зіткненнями перебувають у *вільному русі*.

Здебільшого, у звичних для людини земних умовах, певний газ має однакову густину, температуру, тиск у будь-якій точці посудини, що займає. Однак це не універсальний закон. Наприклад, повітря в полі тяжіння Землі має різну густину, тиск і температуру: ці величини зменшуються з віддаленням від її поверхні.

Плазма. Природно виникає запитання: чи переходить газ у якийсь новий стан за значного збільшення його температури? Такий стан існує, а речовина, яка перебуває в ньому, отримала назву **плазма**.

Плазмою називають різновид газу, який складається зі «зруйнованих атомів»: йонів та окремих електронів. Плазма може утворитися в разі значного нагрівання газу. До того ж молекули настільки інтенсивно рухаються, що під час зіткнення, унаслідок великої сили удару, вони можуть втратити свої зовнішні електрони й у результаті з'являються вільні електрони та йони.

Прикладом плазми (мал. 12) є речовина, з якої складаються Сонце та інші зорі. У земних умовах плазму можна спостерігати в атмосферних явищах: блискавка, північне сяйво. Полум'я також є плазмою.

Рідина. У рідині молекули перебувають на відстанях, сумірних з їхніми розмірами. На таких відстанях сила, з якою притягуються молекули, має велике значення. Тому потенціальна енергія взаємодії



Мал. 12. Плазма



а



б



в

Мал. 13. Опис властивостей рідин: а — моделювання внутрішньої структури; б, в — текучість, наявність вільної поверхні, відсутність власної форми, збереження об'єму

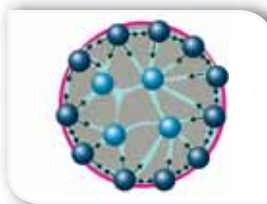
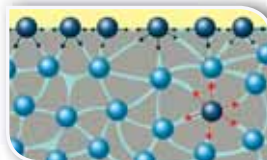
молекул рідини більша, ніж кінетична енергія їхнього теплового руху. Однак молекули рідини достатньо рухливі, тому вони часто змінюють своє положення, рухаючись «стрибками». Молекули рідини перебувають здебільшого в щільному оточенні сусідніх молекул. Коли ж раптово поруч виникає розрідження, то молекула проникає в нього. Таким чином вона потрапляє в «компанію» інших молекул і перебуває там, допоки не з'явиться можливість для нового «стрибка». Рухаючись, молекули рідини в будь-який момент часу мають більш-менш упорядковане розташування, яке називають **ближнім порядком**. Однак цей порядок на великих відстанях не зберігається і саме тому називається ближнім порядком.

У рідкому стані речовина зберігає об'єм, але не тримає форми. Це означає, що рідина може займати тільки частину об'єму посудини, але вільно перетікати й проникати в усі її закутки (мал. 13).

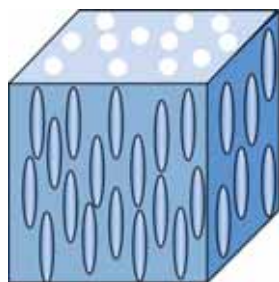
Рідина, на відміну від газу, має добре визначену поверхню. Такі явища, як змочування тіл, утворення крапель, зумовлені саме особливостями взаємодії молекул, що містяться в поверхневому шарі рідини (мал. 14).

Для більшості речовин рідина — проміжний стан між газом і твердим тілом. Речовина може переходити в рідкий стан із твердого в результаті процесу, який називається **плавленням**. Зворотний процес переходу із рідкого стану в твердий називається **твердненням** (або **кристалізацією**). У газоподібний стан рідина переходить унаслідок процесу **пароутворення** (кипіння й випаровування), протилежний йому перехід із газоподібного стану в рідкий називається **конденсацією**.

Оскільки можна вважати, що в рідин, як і в газів, рухливість молекул досить значна, то їхні фізичні властивості не залежать від порядку розташування молекул. Проте існують ще й **рідкі кристали**, які досить



Мал. 14. Явище поверхневого натягу і його моделювання



Мал. 15. Модель внутрішньої будови рідких кристалів



а



б

Мал. 16. Опис властивостей твердих тіл: а — моделювання внутрішньої структури; б — наявність форми й об'єму

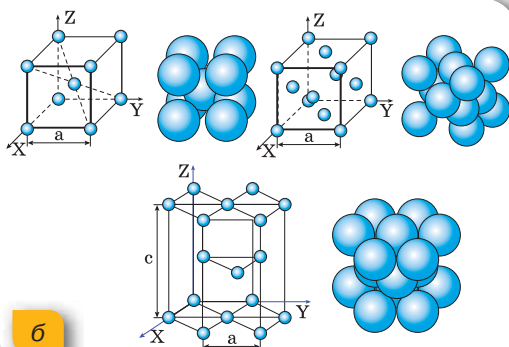
широко використовуються в сучасних годинниках, моніторах і телевізорах. Зазвичай довгі, вузькі молекули рідкого кристала розміщуються так, як зображено на малюнку 15. (Детальніше властивості рідких кристалів ви будете вивчати в § 24.)

Тверде тіло. У твердих тілах структурні частинки (атоми або молекули) перебувають дуже близько одна від одної. Саме тому сили притягання між молекулами досить великі. Оскільки середня потенціальна енергія взаємного притягання молекул є значно більшою за їхню кінетичну енергію, то молекули можуть лише хаотично коливатись відносно своїх положень. Вільно переміщуватись (так само, як у рідинах або газах) молекули твердих тіл не можуть. Саме цим пояснюється те, що тверді тіла мають певну форму й об'єм (мал. 16).

Тверді тіла можуть бути **кристалічними** або **аморфними**. Прикладами кристалічних тіл є кварц, золото, лід, гірський кришталь, кремній, галіт (кам'яна сіль) та багато інших. Кристалічним твердим тілам властиве впорядковане розташування молекул (мал. 17). Просторові фігури, у вершинах яких містяться структурні частинки речовини, називаються **комірками кристалічної ґратки**. Такі комірки в кристалі повторюються в усіх трьох напрямках. Саме тому кристалам притаманний **дальній порядок**.

Тверді тіла, яким, так само як і рідинам, дальній порядок не притаманний, називаються аморфними (наприклад, смола, парафін) (мал. 18).

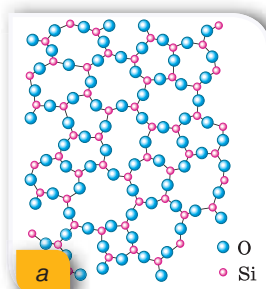
Певна впорядкованість у розташуванні молекул твердих тіл зумовлює їхні фізичні властивості (теплопровідність, електропровідність, пружність та інші).



Мал. 17. Кристалічні тіла:

а — зразки кристалів;

б — моделювання внутрішньої структури



Скло



Бурштин



Каніфоль

Цукрові
льодяники

Мал. 18. Аморфні тіла: а — моделювання внутрішньої структури; б — зразки аморфних тіл

Вивчаючи теплові явища, ми найчастіше будемо досліджувати такі речовини:

- гази й газоподібні — повітря, водяна пара, кисень, вуглекислий газ;
- рідини — вода, нафта, ртуть, гас;
- тверді тіла — лід, алюміній, залізо, чавун, смола, парафін, пластмаси.

Тому не зайвим буде пригадати все, що ви вивчали про ці речовини на уроках хімії, географії і біології.

Підбиваємо підсумки

- Речовини можуть перебувати в різних агрегатних станах.
- Той чи інший агрегатний стан речовини визначається відмінністю між характером руху та взаємодії молекул. Молекули однієї речовини у твердому, рідкому й газоподібному стані нічим не відрізняються між собою.



Я знаю, вмію і розумію



1. Які особливості руху молекул у рідкому, твердому і газоподібному станах?
2. Що можна сказати про сили притягання між структурними частинками речовини в різних агрегатних станах?
3. Яке співвідношення між кінетичною і потенціальною енергіями молекул для газоподібного, рідкого і твердого станів речовини?
4. Яка середня відстань між молекулами в газах, рідинах і твердих тілах у порівнянні з розмірами самих молекул?



ПОЯСНІТЬ

1. Чому тверді тіла й рідини не розпадаються на окремі молекули?
2. Що є причиною зміни агрегатного стану речовини?



Вправа 3

1. Опишіть основні фізичні властивості речовин у твердому, рідкому й газоподібному станах за параметрами, вказаними в таблиці (с. 28):

Назва агрегатного стану	Відстань між молекулами (у порівнянні з розмірами самих молекул)	Характер руху й розташування молекул у речовині	Співвідношення між кінетичною і потенціальною енергіями молекул	Фізичні властивості речовини

2. У якому стані перебуває речовина, якщо молекули в ній поводяться, як «пасажирів в переповненому автобусі»?
3. Втрата води з пошкодженого крана, з якого витікає струмінь товщиною із сірник, складають 500 літрів за добу. Вартість 1 м³ води 14 гривень. Які кошти втрачає школа за один місяць, якщо пошкоджено: а) один кран; б) 4 крани; в) 10 кранів? Які кошти втрачає школа за один рік?
4. Чи є справедливим твердження, що об'єм газу в посудині дорівнює сумі об'ємів його молекул? Відповідь обґрунтуйте.
- 5*. Через мікроскопічні щілини з балона зі стисненим газом щосекунди виходить 5 млрд молекул. Маса кожної молекули $5 \cdot 10^{-23}$ г. Об'єм балона — 5 м³. Через який час маса балона з газом зменшиться на 1 мг? Яким стане об'єм газу?



Залежність розмірів тіл від температури

Ви дізнаєтесь

- Що і як відбувається з речовиною внаслідок її нагрівання

Пригадайте

- Особливості теплового руху молекул речовин у різних агрегатних станах

Теплове розширення твердих тіл, рідин і газів.

Ви знаєте, що внаслідок нагрівання тверді тіла можуть плавитися, а рідини — кипіти. Нагрівання приводить до зміни агрегатного стану. Чому і як це відбувається? Що змінюється у структурі речовини? Щоб відповісти на ці запитання, спочатку розглянемо ті зміни, що відбуваються в речовині перед початком переходу в інший агрегатний стан.

Унаслідок певних особливостей у внутрішній будові твердих тіл, рідин і газів процес їхнього нагрівання має як деякі відмінності, так і спільні ознаки. Спільною ознакою є те, що під час нагрівання збільшується швидкість теплового руху молекул і їхня середня кінетична енергія. Це спричинює збільшення середньої відстані між молекулами. Отже, речовини, нагріваючись, розширюються. Ступінь розширення речовини буде залежати від її внутрішньої будови.

Найбільшого розширення під час нагрівання зазнають гази. Продемонструємо розширення повітря на такому досліді (мал. 19). Підігріте

повітря розширюється і виходить через відповідну трубку. Про це свідчить поява бульбашок у посудині з водою.

Під час охолодження газ стискається.

Вам, можливо, доводилося спостерігати за зміною об'єму гумової кульки, наповненої повітрям, якщо її перенести взимку з теплої кімнати на вулицю. Подібний дослід можна провести самостійно: добре надуту повітряну кульку покладіть на деякий час у холодильник. Ви побачите, що розмір кульки зменшиться, хоча маса повітря, що в ній міститься, — не змінилася.

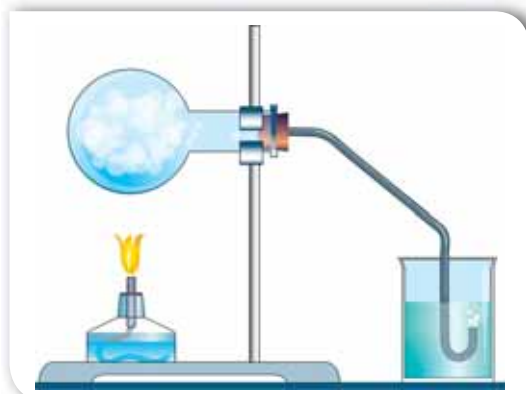
Властивість газів багаторазово збільшувати свій об'єм унаслідок нагрівання широко використовується, зокрема — політ на повітряній кулі, робота двигунів внутрішнього згорання. Утворення вітру також є наслідком розширення повітря. Оскільки атмосферне повітря прогрівається нерівномірно, то є області, де розширення відбувається інтенсивніше, що й зумовлює горизонтальне переміщення повітряних мас — вітер (мал. 20).

Теплове розширення характерне і для рідин. Наприклад, на залежності об'єму спирту від температури ґрунтується дія спиртових термометрів. Рідини завдяки нагріванню розширюються значно менше, аніж гази, але значно більше, ніж тверді тіла.

Можливо, ви спостерігали руйнування скляної банки, коли в неї наливають окріп. Це пояснюється тим, що її стінки досить товсті й прогріваються не одразу по всій товщині. Спочатку прогрівається внутрішня частина стінки і до того ж розширюється, а зовнішня частина, що ще не встигла прогрітись, «протидіє» цьому — скло тріскається.

Але на уроках хімії вам, мабуть, уже доводилося спостерігати, як у скляних колбах кип'ятять воду на пальнику. Як ви думаєте, чому не тріскається хімічна колба? Товсті чи тонкі в неї стінки?

Відмінність теплового розширення твердих тіл і рідин необхідно враховувати при конструюванні термометрів, адже під час нагрівання розширюється не тільки рідина (ртуть або спирт), а й скляна трубочка, у якій вона міститься. Якщо ви ще самостійно не дали відповіді на попереднє запитання — то, можливо,



Мал. 19. Дослід з розширення повітря за його нагрівання



Мал. 20. Вітер — переміщення повітряних мас унаслідок нерівномірного прогрівання

під час ретельного огляду будови термометра вам це вдасться. Мабуть ви помітили, що рідина в термометрах міститься в дуже тоненьких трубочках.

Найпоширенішою рідиною є вода, яка має багато особливостей, що виділяють її з-поміж інших рідин. Процес нагрівання води супроводжується характерною особливістю: за нагрівання від 0 до 4 °C її об'єм зменшується! Відповідно збільшується її густина. Максимальну густину вода має за температури 4 °C. З подальшим підвищенням температури об'єм води починає збільшуватись, а густина — зменшуватись.

Отже, за $t = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ густина води $\rho = 0,9998 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$;

за $t = 4\text{ }^{\circ}\text{C}$ густина води максимальна $\rho = 1,0000 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$;

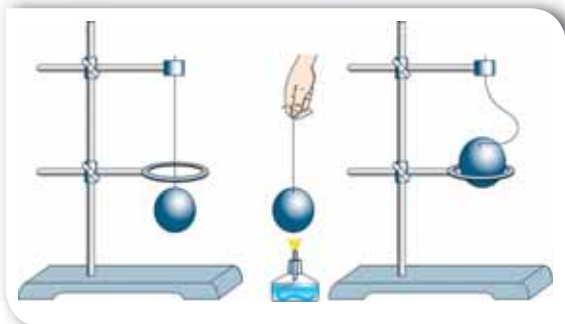
за $t = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$ густина води $\rho = 0,9982 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.

Ця властивість обумовлена будовою молекули води (взаємним розташуванням двох атомів Гідрогену й атому Оксигену).

Така, на перший погляд, незначна різниця в густині води має велике значення для життєдіяльності мешканців водойм. З наближенням зими і зниженням температури повітря вода біля поверхні водойм починає охолоджуватися. Її густина при цьому зростає, і верхні шари води опускаються вниз. Зимово циркуляція води у водоймах важлива ще й тим, що охолоджені верхні шари, опускаючись до дна, несуть із собою розчинений у воді кисень і глибинна частина водойми стає придатною для життя. Багато риб, які влітку плавали у верхніх шарах, узимку переміщуються до дна.

Нерівномірне прогрівання (а відповідно й розширення) води в морях і океанах приводить до утворення течій, які суттєво впливають на клімат відповідної місцевості.

Теплове розширення твердих тіл можна спостерігати на такому досліді (мал. 21). Візьмемо металеву кульку й кільце. Кільце має бути таких розмірів, щоб кулька ледве проходила крізь нього. Нагріємо кульку. Після цього вона вже не проходить крізь кільце. (Якщо кульку залишити на кільці на певний час, то згодом, охолонувши, вона знову проходитиме крізь нього.)



Мал. 21. Дослід з розширення твердого тіла

У природі розширення твердих тіл можна побачити на прикладі прогрівання гірських порід. Оскільки ступінь розширення залежить як від температури, так і від виду гірської породи, то розширення і стиснення відбуваються нерівномірно. Це призводить до руйнування гір і утворення тріщин.

Теплове розширення твердих тіл необхідно враховувати інженерам, конструкторам та архітекторам, які проєктують будівлі, спо-

руди й різноманітні деталі машин і механізмів. Температура повітря в наших широтах протягом року може змінюватися від -30 до $+30$ °С. Такі зміни температури спричиняють значні видовження й стискання різних конструкцій. Щоб уникнути руйнування, споруди, мости, трубопроводи будують з окремих секцій, з'єднуючи їх так, щоб вони могли щільно притискатись у спеку й достатньо розходитись у холодну пору року.

Коефіцієнти об'ємного та лінійного розширення. Ступінь теплового розширення тіла залежить від речовини, з якої його виготовлено. Таким чином тіла, виготовлені з різних речовин, за нагрівання на 1 °С розширюються неоднаково. Існують фізичні величини, які характеризують об'ємне та лінійне розширення тіл.

Так, якщо за початкової температури t_0 об'єм тіла V_0 , то внаслідок нагрівання до температури t об'єм тіла збільшується до V . Тобто зі зміною температури на $\Delta t = t - t_0$ об'єм тіла змінюється на $\Delta V = V - V_0$. У результаті дослідів було доведено, що відношення зміни об'єму тіла ΔV до його початкового об'єму V_0 прямо пропорційне зміні температури Δt .

Отже,

$$\frac{\Delta V}{V_0} \sim \Delta t.$$

Щоб пропорційний вираз став рівністю, потрібно ввести коефіцієнт пропорційності β , який називається **коефіцієнтом об'ємного розширення**.

Таким чином,

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \beta \Delta t.$$

Коефіцієнт об'ємного розширення β показує зміну об'єму тіла внаслідок зміни його температури на 1 °С, за умови, що початковий об'єм тіла становив 1 м³.

Аналогічні міркування застосовуються щодо лінійного розширення тіл, яке притаманне лише твердим тілам і означає зміну довжини тіла:

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

де α — коефіцієнт лінійного розширення.

Коефіцієнт лінійного розширення α показує зміну довжини тіла внаслідок зміни його температури на 1 °С, за умови, що початкова довжина тіла становила 1 м.

Коефіцієнти об'ємного та лінійного розширення вимірюються в однакових одиницях $\left(\frac{1}{^\circ\text{C}}\right)$. Наприклад, коефіцієнт лінійного розширення

сталі становить $0,000012 \frac{1}{^{\circ}\text{C}}$. Це означає, що нагрівання сталюого стержня завдовжки 1 м на 1°C спричинить його видовження на 0,000012 м. Тобто внаслідок такого нагрівання довжина стержня стане 1,000012 м. На перший погляд здається, що таке незначне видовження особливо ні на що не впливає. Однак якщо інженери та будівельники не врахують теплового розширення, то будівлі, мости, лінії електропередач, колії залізничі зазнають руйнування.

Для аморфних тіл і кристалів кубічної форми справджується рівність $\beta = 3\alpha$.

Підбиваємо підсумки

- Під час нагрівання збільшується швидкість теплового руху молекул і їхня середня кінетична енергія. Це спричинює збільшення середньої відстані між молекулами. Отже, речовини, нагріваючись, розширюються.
- Теплове розширення тіла залежить як від зміни температури, так і від того, з якої речовини його виготовлено.

Я знаю, вмію і розумію



1. Які приклади, що підтверджують теплове розширення твердих тіл, рідин і газів, ви можете навести?
2. Який дослід може продемонструвати теплове розширення рідин?
3. Що спричинює збільшення об'єму тіл під час нагрівання?
4. Від чого, окрім температури, залежить зміна розмірів тіл під час їхнього нагрівання або охолодження?
5. У яких одиницях вимірюються коефіцієнти лінійного й об'ємного розширення?



ПОЯСНІТЬ



1. Чому стоматологи не радять їсти дуже гарячу їжу?
2. Як у досліді, що зображений на малюнку 21 (с. 30), унаслідок нагрівання змінилися: об'єм кулі; маса кулі; густина кулі; середня швидкість руху атомів металу?
3. Яка з наведених фізичних величин, що характеризують тіло, не залежить від температури (маса молекул; тиск газу в посудині; об'єм тіла; густина тіла; швидкість руху молекул)?

Експериментальні й дослідницькі завдання

1. Як би поведився стовпчик рідини в термометрі, якби коефіцієнт теплового розширення скляної трубки був би більший, ніж коефіцієнт теплового розширення рідини?
2. Із вказаного переліку виберіть прилади, які вам знадобляться для визначення коефіцієнта лінійного розширення металевго стержня (терези; лінійка; ареометр; мікрометр; термометр; барометр). Опишіть ваш спосіб вимірювання.

ДОМАШНІ ДОСЛІДИ ТА СПОСТЕРЕЖЕННЯ

1. Візьміть порожню пластикову пляшку з-під води й покладіть її в холодильник (або в морозильник). Вийміть пляшку через 20–30 хв й одразу натягніть на її шийку повітряну кульку (мал. 22, а). Поставте пляшку в миску з теплою водою. Спостерігайте, що буде відбуватися. Поясніть.



2. Візьміть велику банку. Налийте в неї невелику кількість гарячої води, а через деякий час злийте воду. Робіть усе акуратно, щоб не зазнати опіків!

Наберіть у повітряну кульку води кімнатної температури й покладіть на горловину банки (мал. 22, б). Спостерігайте, що відбудеться згодом. (Можна намалювати на кульці очі, ніс, рот — буде кумедніше).



Вправа 4

Мал. 22.
Ілюстрація
дослідів

1. За температури 0°C довжина алюмінієвого дроту становила 200 м. Визначте довжину дроту за температури: а) 40°C ; б) -30°C .
2. Алюмінієву пластинку, площа якої за 0°C дорівнює 2000 см^2 , нагріли до 100°C . Обчисліть площу пластинки після нагрівання.
3. Довжина газопроводу Новопсков — Ужгород становить близько 1500 км. На скільки довшим став би газопровід за сезонних змін температури повітря від -30 до 30°C , за умови, що сталі труби газопроводу прокладені не в ґрунті, а в повітрі?
4. Залізнична цистерна вміщує 90 м^3 бензину. Якою буде різниця в об'ємі бензину, якщо його залили в Одесі за температури 10°C , а розвантажили в Рівному за температури 0°C ?
5. На скільки $^{\circ}\text{C}$ потрібно нагріти воду в чайнику, щоб її об'єм збільшився з 1 л до 1,02 л?
- 6*. Годинник з металевим маятником «поспішає» на 8 с за добу за температури 3°C і «відстає» на 7 с протягом доби за температури 23°C . Визначте середній коефіцієнт лінійного теплового розширення матеріалу маятника та температуру, за якої годинник буде показувати час правильно.
- 7*. Обчисліть у відсотках, яка кількість бензину виллється з повного бензобака автомобіля, якщо він нагріється від 25 до 50°C .

§ 7

Внутрішня енергія

Ви дізнаєтесь

- Що таке внутрішня енергія
- Як можна змінювати внутрішню енергію речовини

Пригадайте

- Що таке енергія
- Які види енергії ви знаєте

Внутрішня енергія. До цього часу ми вживали терміни «тепло», «теплота», «теплообмін». Прийшов час з'ясувати їх фізичний зміст.

Як ви вже знаєте, атоми та молекули не лише хаотично рухаються, а й взаємодіють між собою. У газах — це короточасні зіткнення. У рідинах і твердих тілах — постійна взаємодія. Атоми, молекули або йони у твердих тілах коливаються біля відносно сталих положень, а у випадку рідин — ще можуть і переміщуватись на невеликі відстані. Рух молекул й атомів характеризується середньою кінетичною енергією, а їхня взаємодія — середньою потенціальною енергією, що разом складають енергію, яку називають *внутрішньою*.

Внутрішня енергія — це енергія руху і взаємодії частинок, з яких складається речовина.

Одиницею внутрішньої енергії, як і механічної, є *джоуль*.

Внутрішня енергія речовини залежить від її агрегатного стану. Наприклад, у газах молекули вільно переміщуються по всьому об'єму, який вони займають, і між зіткненнями практично не взаємодіють. Тому їхня внутрішня енергія визначається лише середньою кінетичною енергією руху молекул, оскільки вона набагато більша, ніж потенціальна енергія взаємодії молекул.

У рідин кінетична енергія теплового руху атомів і молекул та потенціальна енергія взаємодії приблизно однакові, що пояснюється недостатньо сильною взаємодією та рухливістю молекул.

У твердому тілі мікрочастинки взаємодіють між собою набагато сильніше. Завдяки цьому тверде тіло як завгодно довго може зберігати свою форму. Атоми, молекули або йони твердого тіла лише коливаються відносно своїх сталих положень і практично не переміщуються в його об'ємі. У твердих тілах потенціальна енергія взаємодії мікрочастинок набагато більша, ніж кінетична енергія їхнього руху.

Чи може внутрішня енергія дорівнювати нулю? Тепловий рух молекул й атомів не припиняється ніколи, навіть за дуже низьких температур (близьких до абсолютного нуля). Отже, тіло завжди має внутрішню енергію, яку можна збільшувати або зменшувати.

Яких значень може набувати внутрішня енергія тіла? Розглянемо такий випадок. За температури 20 °C і нормального атмосферного тис-

ку молекули кисню рухаються із середньою швидкістю 478 м/с. Маса однієї молекули — $5,3 \cdot 10^{-26}$ кг. Відповідно кінетична енергія руху молекули:

$$E_0 = \frac{m_0 v^2}{2} \approx 6 \cdot 10^{-21} \text{ Дж.}$$

В 1 м^3 за цих умов міститься $2,7 \cdot 10^{25}$ молекул. Тоді середня кінетична енергія руху цих молекул $E \approx 160$ кДж. Це значення є досить великим. Порівняйте (мал. 23): тіло масою 1000 кг, підняте на висоту 10 м, має потенціальну енергію 100 кДж.

Два способи зміни внутрішньої енергії.

Внутрішня енергія — це змінна величина. Оскільки внутрішня енергія речовини визначається кінетичною і потенціальною енергіями частинок цієї речовини, то, змінюючи швидкість руху частинок або відстані між ними, можна змінити й внутрішню енергію речовини. Як це зробити?

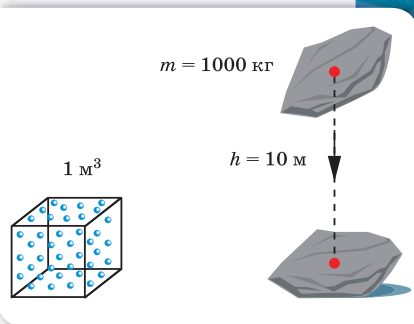
Проведемо дослід (мал. 24). Закріпимо у штативі металеву пробірку, закриту корком. Будемо нагрівати її на вогні. Нагріваючись, повітря в трубці розширюється, збільшується кінетична енергія руху молекул, а отже — і його внутрішня енергія. Внутрішня енергія зростає настільки, що повітря, розширюючись, виштовхує корок.

Відомо, що чайник з водою, який стоїть на вогні, металева ложка, опущена в склянку з гарячою водою, пісок під сонячним промінням нагріваються. В усіх цих випадках спостерігається підвищення температури тіл, а отже — і збільшення їхньої внутрішньої енергії завдяки передаванню теплоти від одних тіл іншим. Цей спосіб зміни внутрішньої енергії тіла називається **теплообміном**.

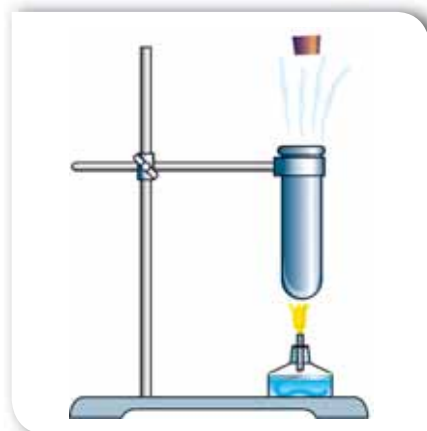


Теплообмін — це процес обміну внутрішньою енергією між тілами без виконання механічної роботи.

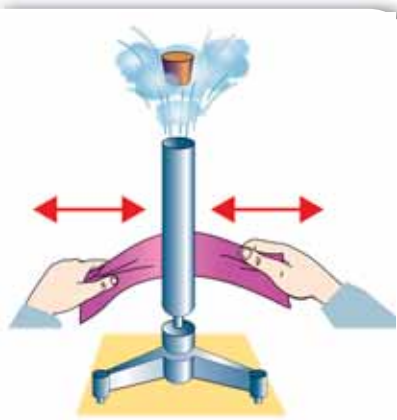
Внутрішню енергію тіла можна змінити і в інший спосіб. Проведемо дослід (мал. 25, с. 36). Закріпимо на підставці тонкостінну латунну трубку. Наллємо в неї незначну кількість ефіру й закриємо трубку корком. Почнемо інтенсивно натирати трубку. Через деякий час внутрішня енергія трубки з ефіром збільшиться настільки, що він закипить й утворені пари ефіру збільшаться в об'ємі й виштовхнуть корок.



Мал. 23. Порівняння значень енергій



Мал. 24. Збільшення внутрішньої енергії повітря



Мал. 25. Дослід зі збільшення внутрішньої енергії завдяки виконанню механічної роботи



Мал. 26. Дослід зі зменшення внутрішньої енергії повітря завдяки виконанню ним роботи

При згинанні та розгинанні дроту нагрівається місце згину. Щоб зігріти руки взимку, треба енергійно потерти долоні, і ми відчуємо тепло. В усіх цих випадках внутрішня енергія тіла збільшувалася завдяки **виконанню механічної роботи**.

Отже, виконана механічна робота витрачається на збільшення внутрішньої енергії тіла.

Якщо ж роботу виконує саме тіло, то його внутрішня енергія зменшується. Наприклад, у товстостінний скляний балон, на дні якого є невелика кількість води, будемо повільно за допомогою насоса накачувати повітря доти, доки не вилетить корок (мал. 26). У момент вильоту корка в балоні утворився туман. Це свідчить про те, що температура повітря знизилась. Таким чином, внутрішня енергія повітря зменшилась у результаті того, що виштовхуючи корок, воно виконало роботу.

Наведені приклади дають змогу переконатися в універсальності закону збереження енергії: енергія не зникає і не виникає з нічого, вона перетворюється з одного виду в інший.

Внутрішню енергію тіла можна змінити двома способами: завдяки виконанню роботи або завдяки теплообміну. Ту частину внутрішньої енергії, що передається внаслідок цих процесів, називають **теплотою** (теплом).

Підбиваємо підсумки

- Внутрішня енергія — це енергія руху і взаємодії частинок, з яких складається речовина.
- Одиницею внутрішньої енергії є джоуль (Дж).
- Внутрішню енергію тіла можна змінити двома способами: завдяки виконанню роботи або завдяки теплообміну.



Я знаю, вмію і розумію

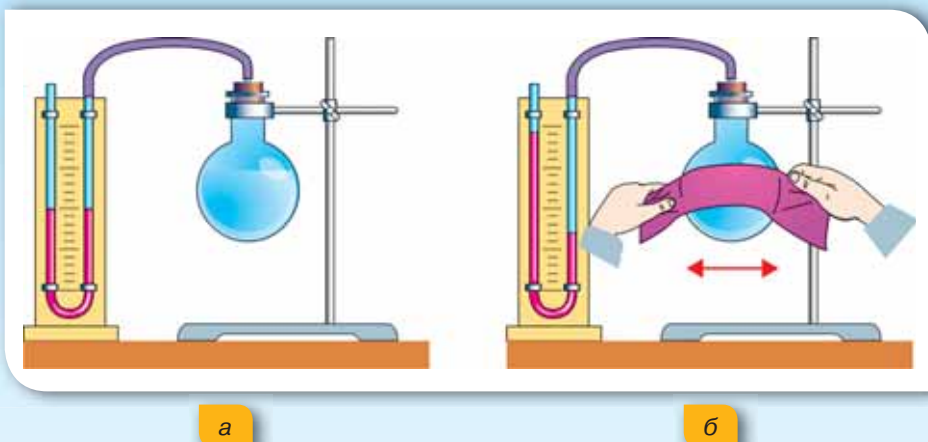


1. Що таке внутрішня енергія тіла? Як внутрішня енергія тіла пов'язана з температурою?
2. Як можна змінити внутрішню енергію?
3. Як впливають зміни температури на внутрішню енергію тіла?
4. Наведіть приклади процесів, що спричинюють зміну внутрішньої енергії тіла.



ПОЯСНІТЬ

1. Чи можна змінити внутрішню енергію тіла, не змінюючи його температури?
2. Опишіть процеси, зображені на малюнку 27, а, б. У колбі міститься повітря. Як пов'язані між собою тиск повітря і зміна його внутрішньої енергії?



Мал. 27. Дослід із натирання колби з повітрям



3. Чому при швидкому ковзанні вниз по жердині або канату можна обпекти руки?



4. Завжди після купання в природних водоймах, щоб зігрітися, роблять різкі рухи руками, ногами, стрибають, бігають. Чому це допомагає зігрітися, адже витрачається енергія на виконання роботи з переміщення свого тіла й тепло має втрачатися? У чому суть цього явища?

Експериментальні й дослідницькі завдання

1. Спробуйте перевірити, як нагрівається металевий дріт, якщо його кілька разів зігнути й розігнути.
2. Чи можна зробити так, щоб внутрішня енергія тіла, над яким виконують роботу, залишалася без змін?
3. Як зміниться внутрішня енергія склянки води, якщо її: а) перемістити зі столу на підлогу; б) помістити в холодильник; в) нагріти на 50°C ?
4. Однакова кількість води перебуває в трьох агрегатних станах — твердому, рідкому й газоподібному. В якому із цих станів її внутрішня енергія буде найбільшою, а в якому — найменшою?
5. Є два сталеві вироби з масами $0,2\text{ кг}$ і 2 кг . Температура виробів однакова. Який з них має більшу внутрішню енергію?

§ 8

Теплопровідність

Ви дізнаєтесь

- Чому метали мають найкращу теплопровідність

Пригадайте

- Способи зміни внутрішньої енергії тіла



Мал. 28. Механізм теплопровідності

Види теплообміну. У попередньому параграфі ми з'ясували, що внутрішню енергію тіла можна змінити завдяки передачі теплоти від одного тіла до іншого, тобто завдяки теплообміну.

Теплообмін може здійснюватися різними способами: теплопровідністю, конвекцією і випромінюванням.

Теплопровідність. Вам, напевне, доводилось обпікатися гарячою ложкою, що міститься в чашці із чаєм або тарілці з гарячим борщем. Металева ручка ложки прогрівається, хоч безпосередньо і не контактує з окропом. Як же відбувається передача теплоти?

Розглянемо механізм передавання теплоти з погляду атомно-молекулярного вчення. На малюнку 28 зображено металеву посудину з водою, що нагрівається полум'ям.

Молекули повітря в полум'ї мають значно більшу кінетичну енергію, ніж молекули металевієї посудини. Унаслідок зіткнення вони передають частину своєї енергії мікрочастинкам речовини посудини, що містяться найближче до полум'я. Згодом мікрочастинки розжареного дна посудини передають дея-

ку кількість своєї енергії сусіднім частинкам, збільшуючи їхню кінетичну енергію (звісно, і температуру тіла). Така передача енергії в результаті безпосередньої взаємодії частинок здійснюється шар за шаром. Зрозуміло, що ніякого перенесення речовини не відбувається. Такий процес передачі теплоти називається *теплопровідністю*.



Теплопровідність — вид теплообміну, який полягає в процесі передачі теплоти від більш нагрітої до менш нагрітої частини тіла внаслідок теплового руху його частинок.

Теплопровідність різних речовин. Чи всі речовини мають однакову теплопровідність? Вам, мабуть, доводилося помічати, що одні речовини проводять тепло краще, ніж інші. Ручку металевієї сковороди або кавоварки виготовляють з дерева. Гаряче деко з духової шафи виймають за допомогою кухонної рукавички. Очевидно, що дерево й тканина проводять тепло гірше, ніж метал.

Висока теплопровідність металів пов'язана з особливостями їх будови. З попередніх параграфів вам відомо, що частинки твердих тіл

здійснюють хаотичні теплові коливання у вузлах кристалічної ґратки. Якби теплопровідність металів зумовлювалася лише цими коливаннями, то вона б не відрізнялася від теплопровідності інших твердих тіл. Але в металах є багато вільних електронів, які можуть вільно переміщуватися між вузлами кристалічних ґраток, що й забезпечує високу теплопровідність.

На ділянці з вищою температурою частина електронів отримує більшу кінетичну енергію. Ці електрони легко долають проміжки між йонами. Стикаючись із йонами холодних ділянок металу, електрони передають їм надлишок своєї енергії, що зумовлює підвищення температури в цій ділянці.

Рідини, за винятком розплавлених металів, наприклад ртуті, мають погану теплопровідність. У газів теплопровідність ще менша, оскільки їхні молекули перебувають далеко одна від одної і передавання кінетичної енергії від однієї молекули до іншої — утруднене.

Для порівняння: теплопровідність повітря майже в 10 000 разів менша від теплопровідності міді. Теплопровідність води приблизно у 25 разів більша, ніж у повітря, але приблизно у 330 разів менша, ніж у міді.

Вовна, пух, хутро й інші пористі тіла мають погану теплопровідність, бо в них між волокнами є повітря. Ось чому шерсть, хутро й пух захищають тварин від переохолодження взимку та перегрівання влітку. Для утеплення будівель також застосовують пористі матеріали: пінопласт, хімічну вату. Малу теплопровідність мають пластмаса, деревина, скло. Речовини й матеріали, що погано проводять тепло, називають *теплоізоляторами* (мал. 29).

Від переохолодження тварин захищає ще й жировий шар, який є у водоплавних птахів, китів, моржів, тюленів.

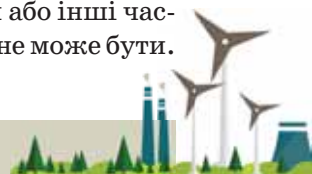
Найменшу теплопровідність має вакуум — дуже розріджений газ. Пояснюється це тим, що теплопровідність здійснюють молекули або інші частинки, отже, там, де немає частинок, теплопровідності також не може бути.



Мал. 29.
Використання
теплоізоляційних
матеріалів

Підбиваємо підсумки

- Теплопровідність — це процес передачі енергії від одних тіл до інших або від одних частин тіла до інших частин того самого тіла, що зумовлений хаотичним рухом частинок речовини й не супроводжується перенесенням цієї речовини.
- Різні речовини та речовини, що перебувають у різних агрегатних станах, по-різному проводять теплоту. Найкращими провідниками теплоти є метали, найгіршими — гази.
- Людина широко використовує у своїй життєдіяльності здатність різних речовин по-різному проводити теплоту.





1. Чим відрізняється механізм теплопровідності у твердих тіл, рідин і газів?
2. Чому метали мають найкращу теплопровідність?
3. Чому тварини не замерзають навіть у сильний холод?
4. Які матеріали добре проводять теплоту? Де їх застосовують?
5. Які матеріали називають теплоізоляційними? Наведіть приклади теплоізоляційних матеріалів.



ПОЯСНІТЬ

1. Чому жителі південних країн під час сильної спеки носять хутряні шапки, ватні халати?
2. Чому пористі будівельні матеріали мають кращі теплоізоляційні властивості, ніж щільні будівельні матеріали?
3. Шуба гріє людину чи людина — шубу?
4. Чи буде змінюватися теплопровідність повітря, якщо його стискати? Чи можлива теплопровідність у дуже розріджених газах, космічному просторі?

Експериментальні й дослідницькі завдання

Під час туристичних походів, на рибалці або в разі відключення електроенергії виникає необхідність збереження продуктів, що швидко псуються. Запропонуйте способи збереження продуктів.



Конвекція

Ви дізнаєтесь

- Чому батареї опалення ставлять, як правило, під вікнами
- Що таке бриз

Пригадайте

- Що таке теплопровідність
- У чому відмінність теплопровідності у твердих тілах, рідинах і газах

Конвекція. Ви, можливо, звернули увагу, що нагрівальні елементи в електричних чайниках розміщені знизу, а вода прогрівається по всьому об'єму. Обігрівальні батареї в будинках встановлюють під вікнами біля підлоги. Як же прогрівається повітря по всій кімнаті?

Річ у тім, що під час передавання теплоти в рідинах і газах поряд із теплопровідністю відбувається ще й *конвекція* — теплообмінний процес, що супроводжується перенесенням речовини.

Конвекція — це вид теплообміну, що відбувається в рідинах і газах і здійснюється внаслідок перенесення речовини.

Механізм конвекції. Розглянемо механізм конвекції на прикладі нагрівання води у скляній колбі. Для більшої наочності руху рідини на дно колби вкинемо кілька крупинок мідного купоросу (мал. 30).

Ви знаєте, що на будь-яке тіло, що міститься всередині рідини (або газу), діє архімедова сила. У нашому випадку таким тілом є невеликий об'єм самої рідини поблизу дна колби. У разі підвищення температури об'єм рідини зростає, а густина — зменшується. Тому нагріті шари води розширюються і піднімаються вгору під дією архімедової сили, виштовхуючись знизу струменями холодної води. Так поступово прогріватимуться і рухатимуться вгору ті шари, що перед цим опустилися.

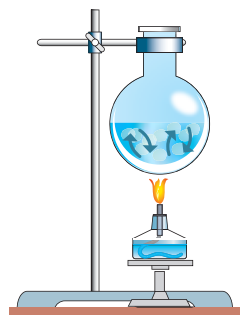
Конвекцією пояснюється теплообмін повітря в кімнаті, що прогривається батареєю опалення (мал. 31). Унаслідок нагрівання виникає різниця температур між нижніми й верхніми шарами повітря. Струмені теплого повітря будуть виштовхуватися знизу струменями холодного повітря і підніматися вгору під дією архімедової сили. Так поступово прогріватиметься і рухатиметься вгору холодне повітря, що перед цим опустилося.

Після ознайомлення із процесами теплопровідності й конвекції спробуйте пояснити такий дослід (мал. 32). Візьмемо пробірку з водою і льодом (на лід покладемо металеву гайку, щоб лід не спливав). Розташуємо пробірку над полум'ям спиртівки так, як показано на малюнку. Що будемо спостерігати? У верхній частині пробірки кипить вода, а на дні пробірки ще лежить лід!

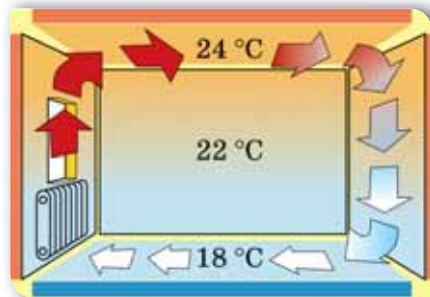
Як пояснити результати досліду?

По-перше, цей дослід доводить, що вода має невелику теплопровідність. Пригадайте: теплопровідність води у 330 разів менша, ніж у міді, й у 25 разів більша, ніж у повітря.

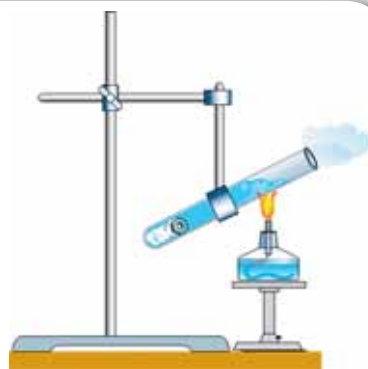
По-друге, конвекційні процеси відбуваються спрямовано: теплі потоки піднімаються вгору, холодні — опускаються вниз. Тому прогріта згори вода не опускається на дно пробірки й не розтоплює лід.



Мал. 30. Конвекція в рідинах



Мал. 31. Конвекція в газах



Мал. 32. Дослід із нагрівання пробірки з водою і льодом

Конвекція в природі й техніці. Явище конвекції відіграє важливу роль у природі й техніці. Завдяки природній конвекції відбувається постійне перемішування повітряних мас — виникають конвекційні потоки в атмосфері — вітри.

Прикладом конвекції в атмосфері Землі є берегові бризи. Механізм їх утворення пояснюється конвекцією повітряних мас. Удень суходіл прогрівається Сонцем швидше, ніж вода. Тому повітря над суходолом прогрівається сильніше, ніж над морем. Густина повітря над суходолом зменшується, утворюється область низького тиску, а над морем утримується область підвищеного тиску. Більш холодне повітря інтенсивно рухається з моря в бік зниженого тиску — до берега (дме вітер, який називають денним бризом). Уночі суходіл охолоджується швидше, ніж море. Над суходолом створюється область підвищеного тиску, й охолоджене повітря рухається в бік області зі зниженим тиском — до моря. Так званий нічний бриз дме із суходолу на море.

Через нерівномірне нагрівання води виникають постійні течії у водах річок, морів, океанів. Океанські течії, як і вітри, відіграють значну роль у формуванні клімату на нашій планеті.

Щоб краще пропікалося тісто в духовій шафі, прогрівалися продукти в мікрохвильовій печі або охолоджувалися робочі деталі комп'ютера, двигуна автомобіля, використовують вентилятори, які зумовлюють вимушену конвекцію.

Підбиваємо підсумки

- Конвекція — це вид теплообміну, що здійснюється завдяки перенесенню теплоти струменями рідини або газу.
- У твердих тілах такий вид теплообміну неможливий.
- Розрізняють природну й вимушену конвекцію.
- Природну конвекцію можна пояснити наявністю архімедової сили і явищем теплового розширення. Теплі шари рідини або газу (які мають меншу густину) піднімаються вгору, а холодні (більш густі) — опускаються.

Я знаю, вмію і розумію



1. Що таке конвекція? Чим конвекція відрізняється від теплопровідності?
2. Опишіть механізм конвекції на прикладі нагрівання рідини.
3. Назвіть причини виникнення природної конвекції. Наведіть приклади конвекції в природі й техніці.



ПОЯСНІТЬ

1. Чому рідини й гази нагрівають знизу?
2. Чому конвекція неможлива у твердих тілах?



Теплове випромінювання

Теплове випромінювання. Існує і такий вид теплообміну, який не потребує наявності речовини.

Розгляньте малюнок 33. Тепло від Сонця долає величезну відстань у космічному безповітряному просторі, поки дістанеться до поверхні Землі. І вже нагріта Земля, своєю чергою, прогріває атмосферу.

Вольфрамова нитка розжарення електричної лампи міститься в скляному балоні, з якого відкачали повітря. Проте тепло від лампи добре відчутне.

Як передається тепло від свічки, коли ми наближаємо до неї руки? Теплопровідністю? Ні, адже повітря — поганий провідник тепла. Конвекцією? Ні, адже теплі потоки повітря підіймаються вгору.

Отже, існує ще один вид теплообміну, відмінний від теплопровідності та конвекції, який до того ж здійснюється без «посередників». Річ у тім, що частина внутрішньої енергії тіла може випромінюватись і поширюватись у вигляді електромагнітних хвиль. Детальніше механізм утворення і поширення електромагнітних хвиль ви будете вивчати в 9 класі. Такий вид теплообміну називається *тепловим випромінюванням* (або *променевим теплообміном*).



Теплове випромінювання — вид теплообміну, обумовлений процесом перенесення енергії від одного тіла до іншого внаслідок випромінювання, поширення і поглинання електромагнітних хвиль.

Усі тіла, без винятку, випромінюють теплову енергію (інфрачервоні промені). Сонце, багаття, людина, тварини випромінюють інфрачервоні промені. Лід також випромінює. Але нам здається, що від нього «віє холодом». Це відчуття виникає тому, що рука отримує від льоду менше теплової енергії, ніж сама випромінює. Саме тому ми відчуваємо холод.

Існують прилади, які «бачать» теплове випромінювання. Такі прилади називають тепловізорами. За їх допомогою можна виявити холодні й гарячі об'єкти, а також визначити їхню температуру.

Ви дізнаєтесь

- Як енергія від Сонця передається Землі

Пригадайте

- Що таке теплопровідність і конвекція
- У чому відмінність механізмів теплопровідності й конвекції



Мал. 33. Теплове випромінювання



Мал. 34. Фото, отримані за допомогою приладів, що фіксують теплове випромінювання



Мал. 35. Усі види теплообміну

Розгляньте уважно малюнок 34. Чому, на вашу думку, стілець виділяється з-поміж інших предметів у кімнаті?

Енергія, яку випромінює тіло, залежить від його температури: що вищою є температура тіла, то більше енергії воно випромінює. Температура деяких тіл може бути настільки великою, що атоми речовини, перебуваючи, як кажуть фізики, у збудженому стані, мають «надлишок енергії». Він і випромінюється у вигляді електромагнітних хвиль (деякі із цих хвиль людина відчуває у вигляді тепла, а деякі — у вигляді світла).

Теплове випромінювання, крім температури тіла, залежить також від кольору його поверхні та її стану: шорсткі й темні поверхні випромінюють і поглинають тепло краще, ніж гладенькі та блискучі. Тому влітку, у спекотні дні, краще не носити темного одягу, який буде інтенсивно поглинати тепло, що може стати причиною теплового удару.

Розглянувши три види теплообміну, бачимо, що всі вони діють одночасно (мал. 35), але не однаковою мірою (одні переважають над іншими).

Підбиваємо підсумки

- Вид теплопередачі, за якого енергія передається за допомогою електромагнітних хвиль, називають тепловим випромінюванням.
- Усі тіла без винятку випромінюють теплову енергію.
- Інтенсивність випромінювання і поглинання тілом енергії залежить від його температури, кольору та стану його поверхні. Що вищою є температура тіла, то більше енергії воно випромінює. Шорсткі й темні поверхні випромінюють і поглинають тепло краще, ніж гладенькі та світлі.

Я знаю, вмію і розумію

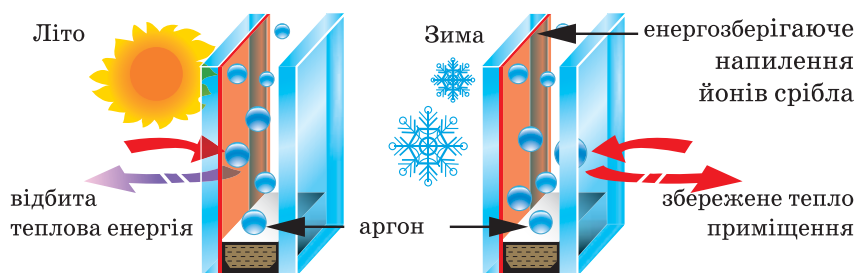


1. Що таке теплове випромінювання?
2. Чому енергія від Сонця до Землі не може передаватись ані конвекцією, ані теплопровідністю?
3. Яке значення має теплове випромінювання в природі й техніці?



ПОЯСНІТЬ

1. Чи існують такі умови, за яких тіло не випромінює або не поглинає енергію?
2. Яке співвідношення між поглинутою та випроміненою тілом енергією, якщо його температура зменшується?
3. Знання яких фізичних явищ використані конструкторами при проектуванні енергозберігаючих вікон (мал. 36)?



Мал. 36. Принцип роботи енергозберігаючого склопакета вікна

4. Чому зовнішні поверхні циліндрів на двигунах мопедів і мотоциклів роблять ребристими (мал. 37)?
5. Де швидше розтане сніг: на скільному подвір'ї, у лісі, у полі? Чому?



Мал. 37. Мотоцикл

§ 11

Кількість теплоти. Розрахунок кількості теплоти під час нагрівання тіла

Ви дізнаєтесь

■ Як можна виміряти кількість переданої чи отриманої тілом теплоти

Пригадайте

■ Види теплообміну й механізми передачі теплоти

Кількість теплоти. У попередніх параграфах ми з'ясували, що теплота передається від гарячих тіл до холодних, допоки їхні температури стануть однаковими — настане теплова рівновага. А чи можна виміряти, скільки теплоти передало тіло?

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

Кількість теплоти (Q , читається «кю») — це та частина внутрішньої енергії, яку дістає чи втрачає тіло під час теплообміну.

Одиницею кількості теплоти є 1 Дж (джоуль).

Щоб навчитись обчислювати кількість теплоти, з'ясуємо, від яких величин вона залежить.

Якщо треба підігріти воду в чайнику так, щоб вона стала лише теплою, то ми нагріваємо її недовго, надаючи тим самим їй невелику кількість теплоти. А щоб вода стала гарячою, потрібно передати їй більшу кількість теплоти. Отже, *що до вищої температури потрібно нагріти воду, то більшу кількість теплоти треба їй передати*. Звідси можна записати: $Q \sim \Delta t$ — *кількість теплоти, надана тілу, пропорційна зміні температури цього тіла*.

Звичайно, й остигаючи, вода віддасть навколишнім тілам більшу кількість теплоти в тому разі, коли й сама дужче охолоне.

Але знати, на скільки градусів підвищилася чи знизилася температура, не досить, щоб мати уявлення про кількість теплоти, яку дістає тіло під час нагрівання чи віддає під час охолодження. Розжарена праска, до якої не можна доторкнутись, кімнати не зігріє, а тепла батарея водяного опалення, температура якої близько 60 °С, передасть таку кількість теплоти, завдяки якій температура повітря в приміщенні помітно підвищиться.

Усім нам доводилося нагрівати воду, і ми знаємо, що для нагрівання повного чайника води потрібна більша кількість теплоти, ніж для того самого чайника, наповненого до половини.

Отже, *кількість теплоти, передана під час нагрівання тілу (чи віддана тілом у разі його охолодження), пропорційна масі цього тіла: $Q \sim m$* .

Кількість теплоти, передана тілу під час нагрівання, залежить ще й від того, з якої речовини виготовлене тіло.

Наприклад, будемо нагрівати дві посудини: в одну наллємо 500 г води, у другу — 500 г гліцерину. В обох посудинах є по 500 г речовини, тобто маси тіл, які нагріваються, однакові. Однакові й умови їх нагрівання, бо посудини дістають енергію від одного й того самого пальника (мал. 38). Відмінність полягає в тому, що в посудинах містяться різні речовини.

Термометри показують, що посудина з гліцерином нагрівається швидше. Щоб температура води зрівнялась із температурою гліцерину, воді треба передати додаткову кількість теплоти. Очевидно, для збільшення температури однакових мас води і гліцерину на ту саму кількість градусів потрібна різна кількість теплоти: для води вона більша, для гліцерину — менша.



Мал. 38. Нагрівання води та гліцерину

Питома теплоємність речовини. Властивість речовини отримувати (або віддавати) теплоту називають *питомою теплоємністю речовини*.



Питома теплоємність речовини — фізична величина, що показує, яка кількість теплоти потрібна для збільшення температури речовини масою 1 кг на 1 °С (або яка кількість теплоти виділяється речовиною масою 1 кг у разі охолодження на 1 °С).

Питому теплоємність речовини позначають буквою c .

Одиницею питомої теплоємності речовини є $1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}}$.

Установлено, що різні речовини мають різну питому теплоємність. У таблиці на форзаці наведено значення питомої теплоємності деяких речовин.

Питома теплоємність золота становить $130 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}}$. Це означає, що для нагрівання 1 кг золота на 1 °С потрібна кількість теплоти, що дорівнює 130 Дж (або внаслідок охолодження 1 кг золота на 1 °С виділяється кількість теплоти, що дорівнює 130 Дж).

Вода має дуже велику питому теплоємність (поглинає і віддає багато тепла). Саме тому влітку поблизу глибоких водойм не так жарко, як у місцях, віддалених від води. Узимку вода охолоджується і віддає значну кількість теплоти, через це зима поблизу великих водойм не така люта.

Зауважимо, що питома теплоємність речовини змінюється внаслідок переходу її з одного стану в інший. Наприклад, питома теплоємність води — 4200 Дж/(кг · °С), а питома теплоємність льоду — 2100 Дж/(кг · °С).

Обчислення кількості теплоти. Щоб обчислити кількість теплоти, що потрібна для нагрівання тіла, або кількість теплоти, що виділяється тілом під час охолодження, треба питому теплоємність речовини, з якої

виготовлене тіло, помножити на масу цього тіла й різницю між його початковою і кінцевою температурами:

$$Q = cm(t - t_0), \text{ або } Q = cm\Delta t.$$

Оскільки під час отримання теплоти внутрішня енергія тіла збільшується і, відповідно, збільшується його температура, то різниця температур Δt буде додатною, і кількість теплоти, одержана тілом, також додатна: $Q > 0$.

У процесі охолодження кінцева температура тіла (t) менша за початкову (t_0), тому розрахована кількість теплоти матиме від'ємне значення: $Q < 0$.

Підбиваємо підсумки

- Щоб обчислити кількість теплоти, необхідну для нагрівання тіла або віддану ним під час охолодження, потрібно питому теплоємність речовини (c) помножити на масу цього тіла (m) і різницю температур між кінцевою (t) і початковою (t_0) температурами тіла: $Q = cm(t - t_0)$, або $Q = cm\Delta t$.
- Питомою теплоємністю речовини (c) — це фізична величина, що показує, яка кількість теплоти потрібна для збільшення температури речовини масою 1 кг на 1 °С (або яка кількість теплоти виділяється речовиною масою 1 кг у разі охолодження на 1 °С).

Я знаю, вмію і розумію



1. Що таке кількість теплоти?
2. Опишіть дослід, який показує, що кількість теплоти залежить від речовини, з якої виготовлене тіло.
3. Що показує питома теплоємність речовини?
4. Від чого залежить кількість теплоти, передана тілу під час нагрівання? Запишіть у зошиті формулу для обчислення кількості теплоти.



ПОЯСНІТЬ

1. Що потребує більшої енергії під час нагрівання — каструля з водою чи кавова чашка з водою?
2. Якщо, нагріваючись на 80 °С, стальна кулька поглинає 300 Дж теплоти, то скільки теплоти вона віддасть, охоловши на 80 °С?
3. У двох однакових чайниках, розташованих на конфорках однакової потужності, кип'ятять воду. У першому — кришка постійно «підстрибує», а в другому — є нерухомою. Поясніть це явище.

Експериментальні й дослідницькі завдання

Визначте кількість теплоти, що виділяється під час ковзання тіла по похилій площині без початкової швидкості. Обладнання: похила площина, лінійка, тіло відомої маси, секундомір.



ВЧИМОСЯ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ЗАДАЧІ

Задача

У залізну каструлю масою 1 кг налили воду масою 2 кг. Яку кількість теплоти треба надати каструлі з водою, щоб їхня температура змінилася від 10 до 100 °С?

Дано:

$$m_1 = 1 \text{ кг}$$

$$c_1 = 460 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}}$$

$$m_2 = 2 \text{ кг}$$

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

$$t_0 = 10^\circ\text{С}$$

$$t = 100^\circ\text{С}$$

$$Q = ?$$

Розв'язання:

Розв'язуючи задачу, слід враховувати, що обидва тіла — каструля і вода — нагріваються разом. Між ними відбувається теплообмін, їхні температури можна вважати однаковими. Тому температури і каструлі, і води змінилися однаково:

$$\Delta t = 100^\circ\text{С} - 10^\circ\text{С} = 90^\circ\text{С}.$$

Але кількості теплоти, що їх отримали каструля і вода, не будуть однаковими, бо маси й питомі теплоємності цих тіл різні.

Кількість теплоти, яку отримала каструля:

$$Q_1 = c_1 m_1 \Delta t,$$

$$Q_1 = 460 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}} \cdot 1 \text{ кг} \cdot 90^\circ\text{С} = 41\,400 \text{ Дж}.$$

Кількість теплоти, що отримала вода: $Q_2 = c_2 m_2 \Delta t$,

$$Q_2 = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}} \cdot 2 \text{ кг} \cdot 90^\circ\text{С} = 756\,000 \text{ Дж}.$$

Для нагрівання каструлі й води затрачено кількість теплоти:

$$Q = Q_1 + Q_2,$$

$$Q = 40 \text{ кДж} + 760 \text{ кДж} = 800 \text{ кДж}.$$

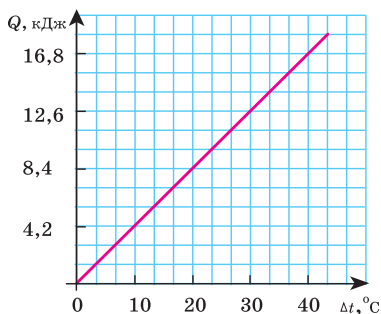
Відповідь: $Q = 800 \text{ кДж}$.



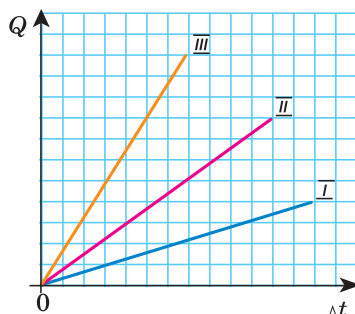
Вправа 5

- Обчисліть кількість теплоти, потрібну для нагрівання: а) алюмінієвої ложки масою 50 г від 20 до 90 °С; б) 1,5 л води від 20 °С до 100 °С (воду нагрівають у залізній каструлі масою 1,5 кг).
- Як зміниться кількість теплоти, потрібна для нагрівання тіла на 20 °С, якщо його маса збільшиться вдвічі?
-  Як можна використовувати теплову енергію води океану для обігріву житла на узбережжі?
- Для нагрівання металевої деталі масою 10 кг від 20 до 120 °С потрібна така сама кількість теплоти, яка виділяється під час охолодження 1 кг води на 90 °С. Визначте питому теплоємність речовини металевої деталі.

5. На малюнку 39 зображено графік фізичного процесу. Що це за процес? Якщо вважати, що процес відбувається з речовиною масою 100 г, чи можна встановити, що це за речовина?



Мал. 39. До завдання 5



Мал. 40. До завдання 6

6. На малюнку 40 зображено графіки залежності кількості теплоти від зміни температури для трьох тіл однакової маси, але виготовлених з різних матеріалів. Порівняйте питомі теплоємності цих тіл.
7. Для нагрівання повітря в кімнаті об'ємом 50 м^3 витрачено 645 кДж енергії. Визначте, на скільки градусів підвищилась температура в кімнаті завдяки цій енергії.
8. До якої температури охолоне 5 л окропу, віддавши в навколишнє середовище 1680 кДж теплоти?
9. В алюмінієвій каструлі масою 900 г нагрівається вода об'ємом 5 л від 10°C до 100°C . Порівняйте, яка кількість теплоти витрачається на нагрівання каструлі й на нагрівання води.



Тепловий баланс

Ви дізнаєтесь

- Як складати рівняння теплового балансу
- Як застосовувати закон збереження енергії до теплових процесів

Рівняння теплового балансу. На практиці досить часто виникає потреба у визначенні значень фізичних величин, що характеризують теплообмінні процеси, після встановлення теплової рівноваги. Наприклад, визначити температуру суміші внаслідок змішування гарячої і холодної води або обчислити кількість теплоти, отриманої тілом під час теплообміну, або визначити температуру тіла, яку воно матиме в результаті дослідів.

У всіх цих випадках треба складати рівняння відносно кількості теплоти, яку втрачають або набувають усі тіла, що перебувають у теплообмінному процесі.

Під час розрахунку теплообмінних процесів застосовують певні правила, що дають змогу встановити умови перебігу теплових явищ і процесів й обчислити шукану величину.

Перше правило: усі тіла, між якими тривалий час відбувається теплообмін, досягають стану теплової рівноваги, і їхні температури набувають однакового значення.

Друге правило: за законом збереження енергії, який справджується для всіх природних явищ і процесів, теплота не може безслідно зникнути або виникнути з нічого.

У зв'язку із цим кажуть про *умову теплового балансу*: у замкненій системі під час теплопередачі одні тіла віддають таку саму кількість теплоти, яку отримують інші тіла.

Третє правило: у фізиці прийнято вважати кількість теплоти додатною, якщо тіло отримує теплову енергію, і від'ємною, якщо воно віддає її. На підставі цього правила записують рівняння теплового балансу:

загальна кількість теплоти, яку отримали тіла, за модулем дорівнює загальній кількості теплоти, яку віддали інші тіла внаслідок теплообміну:

$$\left| Q_{\text{віддали}}^- \right| = \left| Q_{\text{отримали}}^+ \right|$$

або $Q_{\text{віддали}}^- + Q_{\text{отримали}}^+ = 0$

Ці правила визначають певну послідовність дій під час розв'язування фізичних задач на розрахунок теплообмінних процесів.

1. З'ясувати, які тіла беруть участь у теплообміні.
2. Встановити, якої температури досягають тіла у стані теплової рівноваги. Якщо за умовою задачі вона не задана, позначити її літерою t .
3. З'ясувати, які з тіл віддають теплоту, а які — отримують її. Записати формулу кількості теплоти для кожного з тіл, що перебувають у теплообмінному процесі (слід завжди від більшого значення температури віднімати менше).
4. Скласти рівняння теплового балансу, у лівій частині якого записати суму кількостей теплоти, яку отримали тіла внаслідок теплообміну, у правій частині — суму кількостей теплоти, що віддали тіла під час теплообміну.
5. Розв'язати рівняння відносно шуканої величини та визначити її числове значення.

Пригадайте

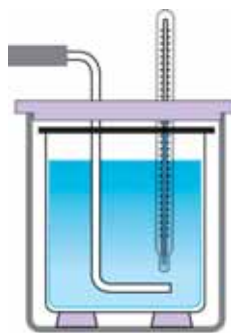
- Що таке кількість теплоти
- За якою формулою обчислюють кількість теплоти



а



б



в

Мал. 41. Калориметр:
а — зовнішній вигляд;
б — складові калориметра;
в — схематичне зображення

Калориметр. Рівняння теплового балансу, по суті, виражає закон збереження енергії, за умови, що теплообмін відбувається всередині теплоізованої системи (немає зовнішніх втрат тепла). Для цього, виконуючи лабораторні роботи, ви будете використовувати калориметр (мал. 41, с. 51).

Калориметр складається з двох посудин циліндричної форми, уміщених одна в одну. Між посудинами розташовується шар теплоізолятора (повітря, пінопласту тощо). Посудину більших розмірів прикривають кришкою, до якої можна прикріпити термометр і пристрій для перемішування рідини. Усі ці заходи допомагають зменшити втрати тепла під час теплообміну. Отже, таку систему з певною точністю можна вважати теплоізованою.



1. Наведіть приклади теплоізованої системи.
2. Для розв'язування яких фізичних задач доцільно використовувати рівняння теплового балансу?
3. Запишіть рівняння теплового балансу. У чому полягає його зміст?
4. За яких умов рівняння теплового балансу є справедливим?

Експериментальні й дослідницькі завдання

Чи правильні такі твердження: а) рівняння теплового балансу виражає закон збереження енергії для теплових процесів; б) рівняння теплового балансу виражає закон збереження кількості теплоти?



ВЧИМОСЯ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ЗАДАЧІ

У цій і подальших задачах, якщо не вказано значення тиску, вважайте температуру окропу рівною температурі кипіння води (100°C).

Задача 1

Змішали воду масою $0,8\text{ кг}$, що має температуру 25°C , і окріп масою $0,2\text{ кг}$. Температуру утвореної суміші виміряли, вона становила 40°C . Обчислити кількість теплоти, яку віддав, остигаючи, окріп, і кількість теплоти, яку отримала, нагріваючись, холодна вода. Порівняйте ці кількості теплоти.

Дано:

$$m_1 = 0,8\text{ кг}$$

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

$$m_2 = 0,2\text{ кг}$$

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

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

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

$$Q_1 - ? \quad Q_2 - ?$$

Розв'язання:

Вода, яку влили в окріп, нагрілась від 25 до 40°C і отримала кількість теплоти

$$Q_1 = c_1 m_1 (t - t_1),$$

$$Q_1 = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 0,8\text{ кг} \cdot (40^\circ\text{C} - 25^\circ\text{C}) = 50\,400\text{ Дж}.$$

Окріп охолонув від 100 до 40°C , до того ж він віддав кількість теплоти:

$$Q_2 = c_2 m_2 (t_2 - t),$$

$$Q_2 = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 0,2 \text{ кг} \cdot (100^\circ\text{C} - 40^\circ\text{C}) = 50400 \text{ Дж}.$$

Бачимо, що кількість теплоти, яку віддала гаряча вода, і кількість теплоти, яку отримала холодна вода, однакові.

Задача 2

Алюмінієвий калориметр, маса якого дорівнює 100 г, містить 100 г води кімнатної температури. У калориметр поклали тіло масою 150 г, температура якого становить 80°C . Через деякий час, після встановлення теплової рівноваги, температура в калориметрі дорівнювала 27°C . Визначте питому теплоємність тіла, яке поклали в калориметр.

Дано:

$$m_1 = 0,1 \text{ кг}$$

$$c_1 = 900 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$m_2 = 0,1 \text{ кг}$$

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

$$m_3 = 0,15 \text{ кг}$$

$$t_1 = t_2 = 20^\circ\text{C}$$

$$t_3 = 80^\circ\text{C}$$

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

$$c_3 = ?$$

Розв'язання:

Унаслідок теплообміну між калориметром, водою і тілом температура в калориметрі підвищилась від 20°C до 27°C , тіло до того ж охоллоло від 80°C до 27°C .

За умови теплового балансу $Q_{\text{отримали}} = Q_{\text{віддали}}$, кількість теплоти Q_3 , яку віддало тіло, дорівнює сумі кількості теплоти, яку отримали вода в калориметрі Q_2 і сам калориметр Q_1 , тобто: $Q_1 + Q_2 = Q_3$.

Оскільки $Q_1 = c_1 m_1 (t - t_1)$, $Q_2 = c_2 m_2 (t - t_2)$ і $Q_3 = c_3 m_3 (t_3 - t)$, то можна записати:

$$c_1 m_1 (t - t_1) + c_2 m_2 (t - t_2) = c_3 m_3 (t_3 - t),$$

$$\text{звідки } c_3 = \frac{c_1 m_1 (t - t_1) + c_2 m_2 (t - t_2)}{m_3 (t_3 - t)}.$$

$$c_3 = \frac{900 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 0,1 \text{ кг} \cdot 7^\circ\text{C} + 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 0,1 \text{ кг} \cdot 7^\circ\text{C}}{0,15 \text{ кг} \cdot 53^\circ\text{C}} = 450 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}.$$

$$\text{Відповідь: } c_3 = 450 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}.$$

Задача 3

Якою стане температура води, якщо змішати 100 г окропу і 100 г води, температура якої дорівнює 20°C ?

Дано:

$$m_1 = 0,1 \text{ кг}$$

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

$$m_2 = 0,1 \text{ кг}$$

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

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

$$t = ?$$

Розв'язання:

Вода, яку влили в окріп, нагрілась від 20°C до t і отримала кількість теплоти $Q_1 = c_1 m_1 (t - t_1)$.

Окріп охолонув від 100°C до t , до того ж він віддав кількість теплоти: $Q_2 = c_2 m_2 (t_2 - t)$.

За умови теплового балансу:

$$Q_{\text{отримали}} = Q_{\text{віддали}}, \text{ або } c_1 m_1 (t - t_1) = c_2 m_2 (t_2 - t).$$

За умовою задачі $c_1 = c_2$ та $m_1 = m_2$.

$$\text{Тоді: } t - 20^{\circ}\text{C} = 100^{\circ}\text{C} - t;$$

$$2t = 120^{\circ}\text{C};$$

$$t = 60^{\circ}\text{C}.$$

Відповідь: температура суміші $t = 60^{\circ}\text{C}$.

Якою була б відповідь, якби змішували не по 100 г, а наприклад, по 500 г холодної і гарячої води? А якщо взяти будь-які рівні об'єми холодної і гарячої води? Зробіть висновок.



Вправа 6

1. Взяти 100 г води за температури 20°C і 100 г води за температури 60°C . Яка температура встановиться, якщо воду змішати?
2. На скільки градусів нагріється мідний паяльник масою 200 г, якщо йому надати такої самої кількості теплоти, що йде на нагрівання олова масою 10 г від 20 до 232°C ?
3. Для приготування ванни, місткість якої 200 л, змішали холодну воду за температури 10°C з гарячою за температури 60°C . Які об'єми холодної і гарячої води треба взяти, щоб у ванні встановилася температура 40°C ?
4. У каstrулі змішали 0,8 кг води за температури 25°C і 0,2 кг окропу. Якою стала температура суміші?
5. У калориметр, у якому міститься 200 г води за температури 10°C , поклали мідний брусок масою 50 г, температура якого становить 100°C . Визначте температуру, яка встановилася у калориметрі.
6. У калориметр, теплоємність якого дорівнює $63 \frac{\text{Дж}}{^{\circ}\text{C}}$ (теплоємність

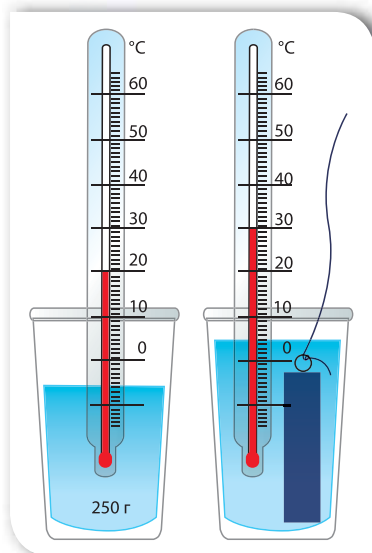
калориметра визначається добутком питомої теплоємності речовини і

маси калориметра $C = c \cdot m$), налили 250 г олії за температури 12°C . Після того, як в олію вкинули мідне тіло, масою 500 г і температурою 100°C , у калориметрі встановилася температура 33°C . Визначте за даними досліду питому теплоємність олії.

7. За даними досліду, зображеного на малюнку 42, визначте кількість теплоти, яку віддало тіло, занурене у воду. Теплоємність посудини з термометром — $50 \frac{\text{Дж}}{^{\circ}\text{C}}$.

8*. У 200 г води температурою 20°C поміщують 300 г заліза, температура якого 10°C , і 400 г міді температурою 25°C . Визначте температуру теплової рівноваги.

9*. У скляну посудину, маса якої 120 г і температура — 20°C , налили гарячу воду, маса якої 200 г і температура — 100°C . Через 5 хв температура посудини з водою стала дорівнювати 40°C . Яка кількість теплоти втрачається за одну секунду? Процес втрати тепла вважати сталим.



Мал. 42. До завдання 7



ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

Вивчення теплового балансу за умов змішування води різної температури

Мета роботи: порівняти кількість теплоти, що віддана теплою водою, з кількістю теплоти, що отримана холодною водою, під час їхнього змішування.

Прилади та матеріали: термометр, посудина з теплою водою (40°C), посудина з холодною водою, калориметр, мензурка.

Вказівки щодо виконання роботи

1. За допомогою термометра виміряйте температуру холодної води t_1 у посудині. Запишіть значення температури в таблицю.
2. Налийте в калориметр 100 г теплої води. Виміряйте й запишіть у таблицю значення її температури t_2 .
3. Не виймаючи термометра, вилийте в калориметр 100 г холодної води.
4. Обережно помішуючи термометром воду, стежте за його показаннями. Тільки-но температура перестане змінюватися, запишіть показання термометра t в таблицю.
5. Обчисліть зміну температури холодної води $\Delta t_1 = t - t_1$ та теплої води $\Delta t_2 = t_2 - t$.
6. Обчисліть кількість теплоти, яку отримала холодна вода: $Q_1 = cm_1(t - t_1)$.
7. Обчисліть кількість теплоти, яку віддала тепла вода: $Q_2 = cm_2(t_2 - t)$.
8. Порівняйте їх і зробіть висновок.



Маса холодної води, m_1 , кг	Маса теплої води, m_2 , кг	Температура холодної води, t_1 , $^{\circ}\text{C}$	Температура теплої води, t_2 , $^{\circ}\text{C}$	Температура суміші, t , $^{\circ}\text{C}$	Кількість теплоти, що отримала холодна вода, Q_1 , Дж	Кількість теплоти, що віддала тепла вода, Q_2 , Дж



ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

Визначення питомої теплоємності речовини

Мета роботи: навчитись визначати питому теплоємність речовини.

Прилади та матеріали: калориметр, термометр, мензурка, посудина з водою, важільні терези з набором важків, циліндр металевий (на нитці), фільтрувальний папір, посудина з окропом (одна на клас).

Вказівки щодо виконання роботи



1. Налийте в калориметр 150–200 мл води кімнатної температури. Виміряйте та запишіть температуру t_1 і масу m_1 цієї води.
2. З дозволу вчителя підійдіть з калориметром до посудини з киплячою водою, в якій містяться металеві циліндри. Аккуратно перемістіть циліндр у калориметр.
3. На робочому місці опустіть у калориметр термометр. Обережно помішуючи термометром воду, стежте за його показаннями. Після досягнення теплової рівноваги виміряйте температуру води в калориметрі t .
4. Вийміть циліндр із води, промокніть його фільтрувальним папером. За допомогою важільних терезів визначте масу циліндра m_2 .
5. Обчисліть кількість теплоти, яку отримала вода в калориметрі: $Q_1 = c_1 m_1 (t - t_1)$.
6. Обчисліть кількість теплоти, яку віддав гарячий циліндр: $Q_2 = c_2 m_2 (100^\circ\text{C} - t)$.
7. Складіть рівняння теплового балансу. Із співвідношення визначте питому теплоємність речовини циліндра c_2 .
8. За таблицею питомих теплоємностей визначте речовину, із якої виготовлено циліндр.

Початкова температура води, t_1 , $^\circ\text{C}$	Кінцева температура води, t , $^\circ\text{C}$	Маса води, m_1 , кг	Маса тіла, m_2 , кг	Кількість теплоти, що отримує вода, Q_1 , Дж	Кількість теплоти, що віддає тіло, Q_2 , Дж	Питома теплоємність тіла, c_2 , Дж/(кг $\cdot$ $^\circ\text{C}$)

9. Порівняйте табличне й експериментальне значення теплоємності. Зробіть висновок.



Перевірте себе (§ 1–12)



Рівень А (початковий)

1. Унаслідок охолодження стовпчика ртуті в термометрі...
 - А зменшується об'єм атомів ртуті
 - Б зменшується відстань між атомами ртуті
 - В припиняється рух атомів
 - Г збільшується відстань між атомами
2. Енергію, яку тіло отримує або втрачає внаслідок теплообміну, називають...
 - А кількістю теплоти
 - Б питомою теплоємністю
 - В внутрішньою енергією
 - Г кінетичною енергією
3. У якому агрегатному стані речовина має найбільшу теплопровідність?
 - А у твердому
 - Б у рідкому
 - В у газоподібному
 - Г в усіх агрегатних станах теплопровідність речовини однакова
4. Енергію руху і взаємодії мікрочастинок речовини називають...
 - А кінетичною енергією
 - Б внутрішньою енергією
 - В кількістю теплоти
 - Г потенціальною енергією
5. У якому випадку енергія від одного тіла до іншого передається тільки завдяки тепловому випромінюванню?
 - А унаслідок нагрівання води в електричному чайнику
 - Б унаслідок нагрівання повітря в кімнаті від радіатора центрального опалення
 - В унаслідок нагрівання шин автомобіля під час гальмування
 - Г унаслідок нагрівання поверхні Землі Сонцем
6. Будівельники метро залишають у стінах тунелю кільцеві щілини завширшки 2–3 см, враховуючи явище...
 - А кристалізації
 - Б дифузії
 - В лінійного розширення
 - Г для економії матеріалу

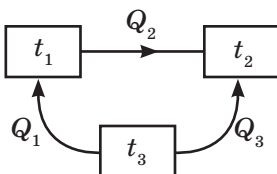
Рівень В (середній)

1. Чи буде охолоджуватись нагріте тіло в безповітряному просторі?
 - А ні, оскільки відсутні інші тіла, з якими воно перебуває в контакті
 - Б так, завдяки конвекції
 - В так, завдяки тепловому випромінюванню
 - Г так, завдяки теплопередачі

2. За температури $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ довжина алюмінієвого дроту становила 2000 м. Визначте довжину дроту за температури $200\text{ }^{\circ}\text{C}$.

А 2004,8 м
 Б 1990,4 м
 В 2009,6 м
 Г 2008,5 м

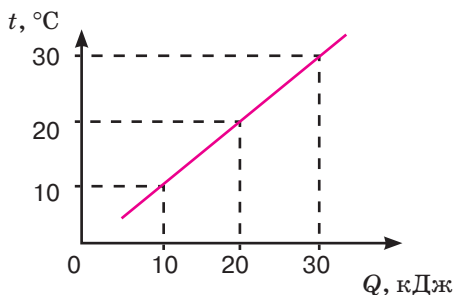
3. На малюнку показано напрямки теплообміну між тілами, що мають різні температури. Оберіть правильне співвідношення між температурами цих тіл.



А $t_1 > t_2 > t_3$
 Б $t_2 > t_1 > t_3$
 В $t_1 = t_2 = t_3$
 Г $t_3 > t_1 > t_2$

Рівень С (достатній)

1. Експериментально досліджувалася зміна температури $0,5\text{ кг}$ рідини внаслідок її нагрівання. За отриманим графіком визначте питому теплоємність цієї рідини.



А $1\text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C})$
 Б $0,5\text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C})$
 В $1,5\text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C})$
 Г $2\text{ кДж}/(\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C})$

2. Воду масою 1 кг нагріли. Для цього їй передали 84 кДж енергії. Якою стала температура води, якщо початкова температура була рівною $10\text{ }^{\circ}\text{C}$?
3. Яка кількість теплоти необхідна для того, щоб в алюмінієвій каструлі масою 500 г нагріти 2 л води на $20\text{ }^{\circ}\text{C}$?

Рівень D (високий)

1. Металеву кульку масою 900 г нагріли до $155\text{ }^{\circ}\text{C}$, опустили в посудину із 3 л води, температура якої була $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. У результаті теплообміну встановилася температура $15\text{ }^{\circ}\text{C}$. З якого металу виготовлена кулька? Нагріванням посудини знехтувати.
2. Яка довжина ребра алюмінієвого куба, якщо для його нагрівання на $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ було затрачено $24\,840\text{ Дж}$ теплоти?

§ 13

Кристалічні та аморфні тіла

Пригадаймо, що нам відомо про тверде тіло. Повторіть § 5, у якому розглядаються особливості руху та взаємодії молекул речовини у твердому агрегатному стані. Вам уже відомо, що тверде тіло характеризується такими особливостями: сталістю форми та об'єму, коливальним характером теплового руху молекул, більшою середньою потенціальною енергією взаємного притягання молекул у порівнянні з їхньою кінетичною енергією. Розрізняють *кристалічні* (від грец. *krystallos* — лід) й *аморфні* (від грец. *amorphos* — той, що без форми) тверді тіла.

Кристалічні тіла. Кристалічними називають такі тверді тіла, атоми або молекули яких здійснюють теплові коливання біля положень рівноваги, що утворюють так звані вузли кристалічної ґратки.

Між молекулами кристалів існує значна сила взаємодії, тому кристали зберігають сталим не лише свій об'єм, а й форму. Правильна геометрична форма є істотною зовнішньою ознакою будь-якого кристала. Існують різні види кристалічних ґраток, але головною їх особливістю є чітка періодичність розміщення атомів у просторі. Тому кажуть, що в кристалічних тілах існує *дальній* порядок у розташуванні атомів. Залежно від природи частинок, що містяться у вузлах кристалічних ґраток, та відповідно до фізичної

Ви дізнаєтесь

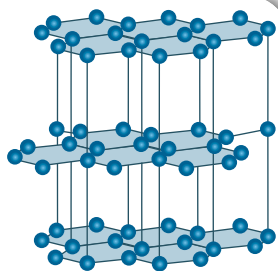
- Про особливості будови твердих тіл
- За якими ознаками класифікують тверді тіла

Пригадайте

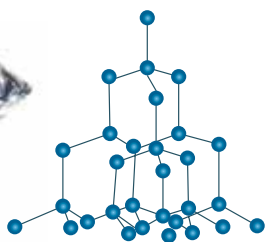
- Характеристики речовини, що перебуває у твердому агрегатному стані



Мал. 43.
Типи кристалів



а



б

Мал. 44. Кристалічні ґратки:
а) графіту; б) алмазу

природи сил, що діють між ними, розрізняють чотири види кристалів: йонні, атомні, молекулярні, металеві (мал. 43, с. 59).

Властивості кристала значною мірою визначаються видом кристалічної ґратки. Пояснимо це на прикладі графіту. Кристалічна ґратка графіту має шарувату структуру (мал. 44, а), тобто в кожному шарі атоми Карбону розташовані у вершинах правильних шестикутників. Усередині шару взаємодія атомів доволі сильна, але самі шари слабо пов'язані один з одним. Саме тому кристал графіту легко розшаровується: коли ми пишемо олівцем, на папері залишаються тонкі шари графіту. На відміну від графіту, в кристалі алмазу атоми Карбону розташовані не лише у вершинах, а й на гранях (мал. 44, б). До того ж усі атоми мають міцні зв'язки зі своїми найближчими сусідами. Саме цими жорсткими зв'язками між атомами й зумовлена унікальна твердість алмазу.

Кристалічні тіла ще поділяють на *монокристали* та *полікристали*. Тіла, що складаються з одного кристала, називають *монокристалами* (від грец. «моно» — один). Тіла, що складаються з великої кількості зрощених монокристалів, називають *полікристалами* (від грец. «полі» — багато).

Найважливішою властивістю будь-якого кристалічного тіла є наявність певної температури плавлення, за якої воно перетворюється в рідину, не розм'якшуючись перед цим.

Аморфні тіла. В аморфних тілах, так само як і у твердих, атоми або молекули коливаються відносно положень рівноваги. Ці положення не мають чіткого розташування у просторі, хоча найближчі «сусіди» й зберігають деякий порядок у розташуванні, який називають *ближнім*. Прикладами аморфних тіл є смола, скло, бурштин.

Аморфні тіла мають певні особливості. На відміну від кристалів, аморфні тіла розбиваються на частини довільної форми. Наприклад, розглядаючи під мікроскопом товчене скло, ми не помітимо шматочків, що мають правильну геометричну форму. Ще однією характерною ознакою аморфних тіл є їх текучість. З підвищенням температури аморфні тіла поступово розм'якшуються, перетворюючись на в'язку рідину. У цьому виявляється їхня істотна відмінність від кристалічних тіл: *аморфні тіла не мають певної температури плавлення.*

Ще однією особливістю аморфних тіл є їх пластичність.

Анізотропія та ізотропія. Фізичні властивості твердих тіл можна також розділити на такі дві категорії. Одна з них включає властивості, які не пов'язані з вибором напрямку всередині твердого тіла (густина, питома теплоємність). Властивості іншої категорії (пружність, теплове розширення, теплопровідність, питомий опір, показник заломлення та ін.) можуть бути різними для різних напрямків у твердому тілі. Це означає, що якщо шматок твердого тіла (найчастіше монокристал), наприклад нагрівати, то цей процес буде різним залежно від того, з боку якої грані його нагрівають.

Залежність фізичних властивостей від напрямку називають **анізотропією**.



Анізотропією називають залежність фізичних властивостей від напрямку.

Анізотропія є характерною рисою кристалів, але виявити її можна не в будь-яких кристалічних тіл, а тільки в монокристалах. Причина анізотропії полягає в тому, що кристали мають строго впорядковану будову. Наведений приклад із розшаровування кристала графіту є проявом його анізотропії.

Полікристали й аморфні тверді тіла, на відміну від монокристалів, *ізотропні*, тобто їхні фізичні властивості не залежать від напрямку.

Кристалічні тіла можуть бути ізотропними стосовно однієї властивості й анізотропними — стосовно іншої. Наприклад, кристал кухонної солі ізотропний щодо коефіцієнта теплового розширення, але анізотропний щодо механічних властивостей.

Підбиваємо підсумки

- Кристалічними називають тверді тіла, атоми або молекули яких здійснюють теплові коливання біля положень рівноваги, що утворюють так звані вузли кристалічної ґратки.
- Для кристалічних тіл характерним є дальній порядок у розташуванні атомів. Кристалічні тіла поділяють на монокристали й полікристали.
- Найважливішою властивістю будь-якого кристалічного тіла є наявність деякої фіксованої температури плавлення, за якої воно перетворюється в рідину, не розм'якшуючись перед цим.
- Атоми аморфних тіл зберігають ближній порядок. Основні особливості аморфних тіл: текучість, в'язкість, відсутність фіксованої температури плавлення.
- Залежність фізичних властивостей від напрямку називають анізотропією. Анізотропія є характерною рисою монокристалів. Полікристали й аморфні тверді тіла є ізотропними, тобто їхні фізичні властивості не залежать від напрямку.

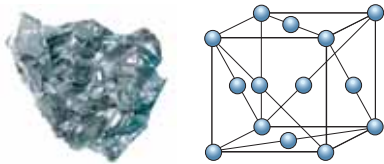
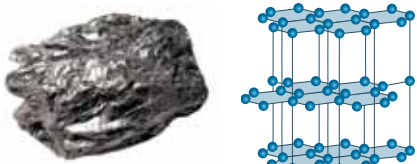
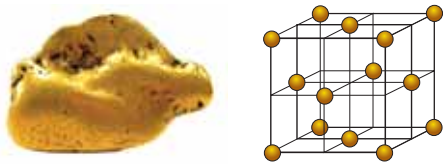
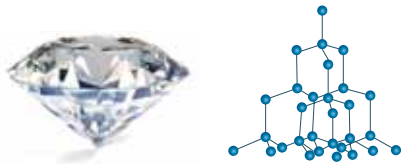
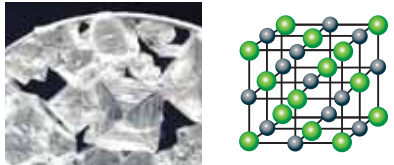
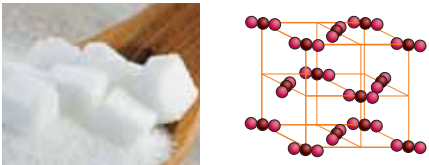
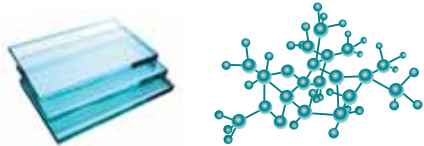
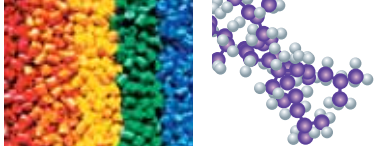




1. Які тіла називають кристалічними?
2. На які дві групи поділяють кристалічні тіла?
3. Порівняйте особливості монокристалів і полікристалів.
4. Які тіла називають аморфними?
5. Назвіть особливості аморфних тіл.
6. Чим кристалічні тіла відрізняються від аморфних?
7. Що називають анізотропією кристалів?

**ПОЯСНІТЬ**

Розгляньте малюнки, на яких зображені тверді тіла та схематичні зображення їхньої будови. За якими ознаками ви б їх класифікували? За якими ознаками ви би класифікували кристалічні речовини? Чи є серед речовин, зображених на малюнках, такі, що не відповідають жодній із класифікацій? Що це за речовини?

	
Цинк	Графіт
	
Золото	Алмаз
	
Кам'яна сіль	Цукор
	
Скло	Полімери



ДОМАШНІ ДОСЛІДИ ТА СПОСТЕРЕЖЕННЯ

Виростити кристал у домашніх умовах не так уже й важко. Приготуйте кухонну сіль, склянку або іншу скляну посудину, нитку, скріпку та олівець (мал. 45). Процес вирощування кристала проходить у кілька етапів.

Наповніть склянку холодною водою (краще взяти дистильовану воду) і помістіть у ємність з теплою водою (50–60 °C).

Додайте побільше харчової солі (за приблизними підрахунками, 195 г кухонної солі (або 150–200 г мідного купоросу) на 0,5 л води). Упродовж 5–7 хв сіль повинна розчинитися. У процесі можна трохи підігрівати воду й додавати ще солі. Усе ретельно перемішуйте.

Щоб домогтися насиченого розчину, додавайте сіль доти, доки ви не помітите осад на дні склянки. Це сигнал, що розчин досяг потрібної консистенції. (Краще перелити отриманий розчин в іншу ємність, позбувшись осаду.)

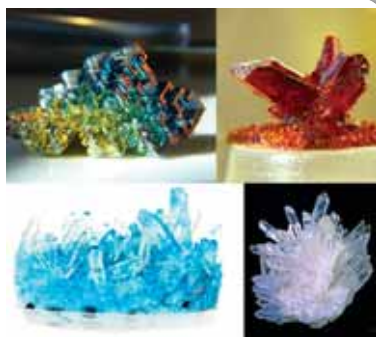
Робимо «затравку». Для цього виберіть великий кристалик солі та покладіть його на дно склянки. Можна закріпити його на нитці в центрі, так щоб кристалик не торкався стінок і дна. Для цього прив'яжіть нитку до олівця й покладіть його зверху. У ролі «затравки» може слугувати й прив'язана до кінця нитки скріпка (мал. 45).

Дослід проведемо за кімнатної температури. Щоб захистити склянку від пилу, покладіть зверху серветку. Без потреби склянку краще не переміщувати.

Процес зростання кристала почнеться відразу, а через кілька днів уже стане помітним.

Подбайте про збереження готового кристала. Можна покрити його прозорим лаком для нігтів. Це захистить кристал від випаровування води й не дасть йому розсипатися.

Можна спробувати виростити кристал не тільки із харчової солі, а й з мідного купоросу, цукру, бромиду та інших речовин.



Мал. 45. Вирощування кристалів у домашніх умовах

§14

Розрахунок кількості теплоти під час плавлення/ тверднення тіл

Ви дізнаєтесь

- Чому не змінюється температура під час плавлення
- Як обчислити теплоту плавлення

Пригадайте

- Основні відмінності між кристалічними й аморфними тілами

Плавлення твердих тіл. Як було з'ясовано в попередньому параграфі, тверді тіла поділяються на кристалічні й аморфні. Найважливішою властивістю будь-якого кристалічного тіла є наявність деякої фіксованої температури плавлення, за якої воно перетворюється в рідину, не розм'якшуючись перед цим. Щоб розплавити кристалічне тверде тіло, треба спочатку нагріти його до певної температури. В аморфних тіл фіксованої температури плавлення немає — вони починають плавитись відразу після початку їхнього нагрівання.

Сили взаємодії між атомами в кристалічних ґратках різних твердих тіл не однакові, тому одні кристалічні тіла плавляться за низьких температур, інші — за високих. Лід, наприклад, плавиться за температури 0°C , свинець — за 327°C , олово — за 232°C , а сталь — за 1500°C . Тому лід плавиться в кімнаті, кусок олова або свинцю можна розплавити в сталевій ложці, нагріваючи її над полум'ям плити, а сталь плавлять у спеціальних печах, досягаючи потрібної температури.

Температурою плавлення речовини називають температуру, за якої речовина переходить із твердого в рідкий агрегатний стан.

Дослід показує, що речовини тверднуть *за тієї самої температури, за якої плавляться*. Наприклад, вода кристалізується (а лід плавиться) за температури 0°C , а чисте золото плавиться і кристалізується за 1539°C .

Якщо нагрівати будь-яке кристалічне тіло, то можна помітити, що його температура підвищується тільки до моменту початку плавлення тіла. За весь час процесу плавлення температура тіла не змінюється, оскільки вся енергія витрачається на руйнування зв'язків між атомами та молекулами. За цієї температури частина тіла перебуває в рідкому, а частина — у твердому стані.

Питома теплота плавлення. Оскільки в різних речовин атоми й молекули взаємодіють з неоднаковою силою, то для їх плавлення потрібна різна кількість теплоти. Для характеристики енергетичних затрат, пов'язаних із переходом речовини із твердого стану в рідкий, вводять фізичну величину, яка називається питомою теплотою плавлення, позначається λ (читається «лямбда»).

Питома теплота плавлення — це фізична величина, що показує, яка кількість теплоти потрібна для переходу 1 кг речовини із твердого стану в рідкий за температури плавлення.

Питома теплота плавлення вимірюється в *джоулях на кілограм*, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$.
(Значення температури плавлення і питомої теплоти плавлення окремих речовин наведені на форзацах у таблицях.)

Обчислення кількості теплоти. Щоб визначити кількість теплоти, необхідну для плавлення твердого тіла будь-якої маси, треба питому теплоту плавлення речовини λ помножити на масу тіла m :

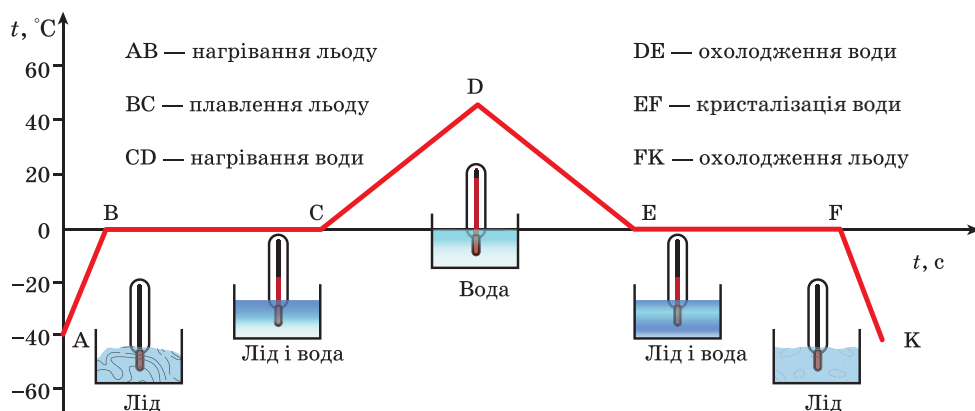
$$Q_{\text{пл}} = \lambda m.$$

Зворотний процес — перехід із рідкого стану у твердий — відбувається за умови втрати рідиною енергії. Якщо під час плавлення тверде тіло поглинає енергію, то під час тверднення — навпаки, рідина віддає енергію. Як і у випадку плавлення, для характеристики цього процесу вводять поняття питомої теплоти кристалізації. Її фізичний зміст такий самий, як і питомої теплоти плавлення: це кількість теплоти, необхідна для переходу 1 кг речовини з рідкого стану у твердий за температури кристалізації.

Отже, для переходу 1 кг речовини із твердого стану в рідкий, або навпаки — з рідкого у твердий, їй потрібно отримати або віддати однакову кількість теплоти.

Графічне зображення плавлення/тверднення. Процеси нагрівання і плавлення, а також зворотні процеси: охолодження і тверднення — можна зобразити графічно. Для цього по осі ординат відкладають значення температури речовини, а по осі абсцис — час, протягом якого триває процес. Наприклад, на малюнку 46 графічно зображено процеси нагрівання і плавлення льоду, нагрівання води та зворотні процеси.

Зверніть увагу, ділянки, що відповідають процесу нагрівання льоду та нагрівання води, мають різний нахил, який залежить від значення питомої теплоємності речовини: що більшим є її значення, то менший нахил.



Мал. 46. Графік залежності температури від часу

Підбиваємо підсумки

- Кристалічні тіла плавляться і тверднуть за деякої, сталої для кожної речовини, температури, яку називають температурою плавлення. Температура плавлення речовини дорівнює температурі її кристалізації.
- Під час процесу плавлення (тверднення) речовини її температура не змінюється.
- Для плавлення кристалічного тіла масою m йому потрібно надати кількість теплоти, пропорційну масі тіла $Q = \lambda m$.



Я знаю, вмію і розумію



1. Який процес називається плавленням? Схарактеризуйте умови плавлення твердих тіл.
2. У чому полягає фізичний зміст питомої теплоти плавлення?
3. Чому під час плавлення кристалічних тіл температура залишається сталою?
4. У чому виявляється закон збереження і перетворення енергії в разі плавлення і кристалізації речовини?



ПОЯСНІТЬ

1. Чому ртуть не використовується в термометрах, якими вимірюють температуру полярники?
2. Чи можна залізний цвях розплавити в алюмінієвій ложці?



ВЧИМОСЯ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ЗАДАЧІ

Задача 1

Яка кількість теплоти потрібна, щоб розплавити 0,6 кг алюмінію, взятого за температури 20°C ?

Дано:

$$m = 0,6 \text{ кг}$$

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

$$c = 920 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$$\lambda = 393\,000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

$$t_{\text{пл}} = 660^\circ\text{C}$$

$$Q = ?$$

Розв'язання:

Значення c , λ і $t_{\text{пл}}$ дізнаємось із таблиць. Щоб розплавити алюміній, його спершу слід нагріти до температури плавлення 660°C .

Для цього необхідна кількість теплоти: $Q_1 = cm(t_{\text{пл}} - t)$.

$$Q_1 = 920 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 0,6 \text{ кг} \cdot (660^\circ\text{C} - 20^\circ\text{C}) = 353\,280 \text{ Дж.}$$

На процес плавлення витрачається кількість теплоти

$$Q_2 = \lambda m,$$

$$Q_2 = 393\,000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot 0,6 \text{ кг} = 235\,800 \text{ Дж.}$$

Таким чином, щоб розплавити 0,6 кг алюмінію, взятого за температури 20°C , необхідно затратити таку кількість теплоти:

$$Q = Q_1 + Q_2 = 353\,280 \text{ Дж} + 235\,800 \text{ Дж} = 589\,080 \text{ Дж} \approx 589 \text{ кДж.}$$

Відповідь: $Q \approx 589 \text{ кДж.}$

Задача 2

Яка кількість енергії виділяється, якщо свинцеве тіло об'ємом 100 см^3 кристалізується і охолоджується від температури плавлення до 27°C ?

Дано:

$$V = 100 \text{ см}^3$$

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

$$\rho = 11\,300 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\lambda = 24\,000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

$$Q = ?$$

СІ

$$10^{-4} \text{ м}^3$$

Розв'язання:

Масу тіла визначимо за його густиною і об'ємом: $m = \rho V$ (табличне значення густини свинцю $11\,300 \text{ кг/м}^3$),

$$m = 11\,300 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 = 1,13 \text{ кг}.$$

Під час кристалізації виділяється кількість теплоти $Q_1 = \lambda m$,

$$Q_1 = 24\,000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot 1,13 \text{ кг} = 27\,120 \text{ Дж}.$$

Під час охолодження відповідно — $Q_2 = cm(t_{\text{пл}} - t)$, де температура плавлення свинцю $t_{\text{пл}} = 327^\circ\text{C}$,

$$Q_2 = 140 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 1,13 \text{ кг} \cdot (327^\circ\text{C} - 27^\circ\text{C}) = 47\,460 \text{ Дж}.$$

Таким чином, загальна кількість енергії, що виділяється під час кристалізації і охолодження свинцевого тіла:

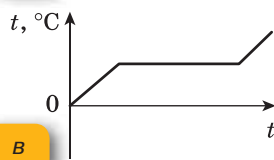
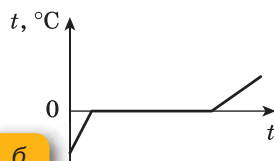
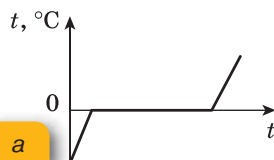
$$Q = Q_1 + Q_2 = 27\,120 \text{ Дж} + 47\,460 \text{ Дж} = 74\,580 \text{ Дж}.$$

Відповідь: $Q = 74\,580 \text{ Дж}$.

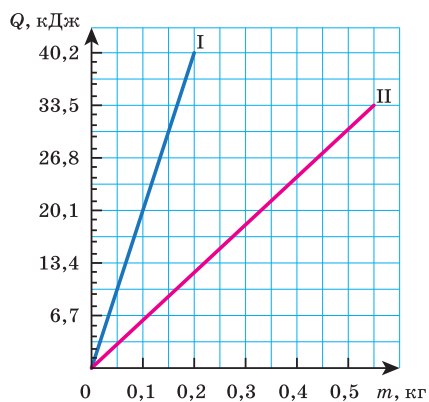
**Вправа 7**

- Лід і свинець масою 1 кг кожен узято за їх температур плавлення. Для плавлення якого із цих тіл потрібна більша кількість теплоти? У скільки разів?
- У скільки разів більше енергії потрібно для плавлення льоду за 0°C , ніж для нагрівання такої самої маси льоду на 1°C ?
- Шматок льоду занесли з вулиці, де температура -5°C , у сарай, де температура 0°C . Чи почне танути лід у сараї?
- У посудині міститься лід за температури -10°C . Посудину поставили на пальник, який за однакові інтервали часу віддає однакову кількість теплоти. Який із графіків (мал. 47) відповідає описаному випадку й у чому є помилковими інші графіки?

- Вчені Каліфорнійського університету дослідили, що за два місяці 2019 року розтануло 600 мільярдів тонн льоду в Гренландії — через це рівень Світового океану піднявся на 2,2 міліметра. За прогнозами вчених, до кінця XXI століття тала вода з острова може спричинити підвищення рівня Світового океану на 7 сантиметрів. Скільки льоду має розтанути за цей час?



Мал. 47. Графіки зміни температури льоду внаслідок нагрівання



Мал. 48. Графіки залежності кількості теплоти від маси

Про які заходи боротьби із глобальним потеплінням вам відомо?

6. Взимку дороги України обробляються переважно сіллю, піщано-соляною сумішшю, а іноді — просто піском, гранітною крихтою, відсівом або шлаком. Останнім часом для цього застосовують бішофіт (мінерал класу галогенідів, $\text{MgC}_{12} \cdot 6\text{H}_2\text{O}$). З'ясуйте, які негативні екологічні наслідки від такої обробки доріг. Які ваші пропозиції щодо очищення доріг від снігу й льоду?

7. На малюнку 48 зображено залежність кількості поглинутої під час плавлення теплоти від маси речовини. Визначте питому теплоту плавлення для кожної речовини. Що це за речовини?

8*. До якої температури слід нагріти залізний кубик, щоб він повністю занурився в лід, температура якого 0°C ? Вважайте, що вся теплота, віддана кубиком, іде на плавлення льоду.



ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

Визначення питомої теплоти плавлення льоду

Мета роботи: експериментально визначити питому теплоту плавлення льоду.

Прилади та матеріали: калориметр, терези з важками, вода, термометр, мензурка, лід.

Вказівки щодо виконання роботи

1. Визначте масу внутрішньої посудини калориметра m і запишіть її в таблицю.
2. За допомогою мензурки відміряйте 100–200 мл води та перелийте її в калориметр. Виміряний об'єм (V_1) запишіть в таблицю.
3. Знаючи об'єм води в калориметрі, визначте її масу, вважаючи, що густина води 1 г/см^3 . Обчислене значення маси води (m_1) запишіть в таблицю.
4. За допомогою термометра виміряйте початкову температуру води t_0 і запишіть це значення в таблицю. Вийміть термометр із води, висушіть його серветкою і покладіть у футляр.
5. Шматок льоду потримайте за кімнатної температури, щоб його температура стала рівною 0°C і він почав танути. Акуратно висушіть його серветкою. Киньте шматочок льоду у воду та почекайте, поки він повністю розтане.
6. Виміряйте температуру води в калориметрі t . Після цього вийміть термометр із води, висушіть його серветкою і покладіть у футляр.

7. Виміряйте масу M внутрішньої посудини калориметра з водою після танення льоду.
8. Визначте масу льоду, що розтанув $m_2 = M - m - m_1$. Отримане значення запишіть у таблицю.
9. Запишіть питому теплоємність калориметра та води, скориставшись відповідними таблицями.
10. Запишіть рівняння теплового балансу й обчисліть питому теплоту плавлення льоду.
11. Порівняйте отримане значення з табличним значенням.
12. Зробіть висновок, у якому вкажіть причини похибок, що призвели до неточних результатів.

Маса внутрішньої посудини калориметра, m , г	Об'єм води, V_1 , мл	Маса води, m_1 , г	Початкова температура води, t_0 , °C	Температура води після танення льоду, t , °C	Маса внутрішньої посудини калориметра з водою, M , г	Маса льоду, що розтанув, m_2 , г



Випаровування і конденсація

Пароутворення і конденсація. Як ви вже знаєте, пароутворення — це процес перетворення рідини в пару. Конденсація — явище перетворення пари в рідину. Розрізняють два види пароутворення: випаровування і кипіння.

У цьому параграфі розглянемо детальніше механізми випаровування і конденсації.

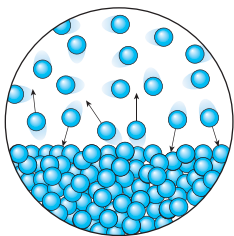
Випаровування. Ми знаємо, що молекули рідини, так само як молекули твердого тіла або газу, безперервно рухаються з різними швидкостями. Окремі молекули рідини рухаються із швидкостями як більшими, так і меншими від середньої швидкості. Якщо якась «швидка» молекула виявиться біля поверхні рідини, то вона може подолати притягання сусідніх молекул і вилетіти з рідини (мал. 49, с. 70). Молекули, що вилетіли з поверхні рідини, утворюють над нею пару — відбувається процес випаровування.

Ви дізнаєтесь

- Як можна регулювати інтенсивність випаровування

Пригадайте

- Особливості руху й взаємодії молекул речовини в газо-подібному й рідкому стані



Мал. 49. Процес випаровування

Випаровування — перехід речовини з рідкого або твердого агрегатного стану в газоподібний (пару), який відбувається на вільній поверхні рідини.

Швидкість випаровування залежить від кількох причин.

Якщо аркуш паперу змочити в одному місці ефіром, в іншому водою, а ще в іншому — олією, то помітимо, що ефір випарується значно швидше, ніж інші речовини (мал. 50).

Отже, **швидкість випаровування залежить від різновиду рідини**. Швидше випарується та рідина, молекули якої притягаються одна до одної з меншою силою. Адже в цьому разі подолати притягання і вилетіти з рідини може більша кількість молекул.

Через те, що деяка кількість молекул, які рухаються швидко, є в рідині за будь-якої температури, **то й випаровування відбувається за будь-якої температури**. Це підтверджують спостереження. Наприклад, калюжі випаровуються і влітку, у спеку, і восени, коли вже холодно. Але влітку вони висихають швидше. Це пояснюється тим, що за вищої температури більша швидкість молекул. Вони можуть подолати сили притягання навколишніх молекул і вилетіти з поверхні рідини. **Тому рідина випарується швидше за вищої температури** (мал. 51).

Одночасно з переходом молекул з рідини в пару відбувається і зворотний процес. Безладно рухаючись над поверхнею рідини, частина молекул, що її залишили, знову в неї повертаються.

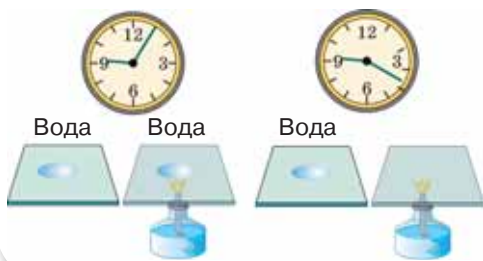
Якщо рідина випарується в **закритій посудині** (мал. 52, а), то досить швидко кількість молекул, які вилеті-

ли з рідини, дорівнюватиме кількості молекул пари, що повертаються назад у рідину. Тому кількість рідини в закритій посудині не змінюється, а в просторі над рідиною буде міститись максимально можлива кількість пари в заданому об'ємі.

У **відкритій посудині** (мал. 52, б) кількість рідини внаслідок випаровування поступово зменшується, бо більшість молекул пари розсіюється



Мал. 50. Швидкість випаровування залежить від різновиду рідини



Мал. 51. Швидкість випаровування залежить від температури

в повітрі, не повертаючись у рідину. Тільки невелика їх частина повертається назад у рідину, сповільнюючи цим процес випаровування. Тому під час вітру, який відносить молекули пари, рідина випаровується швидше. **Швидкість випаровування залежить від наявності та швидкості потоків повітря і його вологості.** Вологість повітря визначається кількістю водяної пари в ньому. Якщо вологість повітря становить 100 %, то це означає, що кількість водяної пари, яка міститься в ньому, — максимальна.

Якщо у вузьку і широку посудину налити однаковий об'єм води, то можна помітити, що в широкій посудині вода випарується значно швидше. Наприклад, налита в блюдце вода випарується швидше, ніж налита у склянку. Це пояснюється тим, що рідина випаровується з вільної поверхні рідини, і що більшою є площа вільної поверхні рідини, то більше молекул одночасно вилітає з неї в повітря. Отже, **швидкість випаровування рідини залежить від площі її вільної поверхні.**

Вилітаючи з рідини, молекули долають сили притягання з боку решти молекул, тобто виконують роботу проти цих сил. Не всі молекули рідини можуть виконати таку роботу, а тільки ті з них, які мають достатню для цього кінетичну енергію (достатню швидкість). Але якщо під час випаровування з рідини вилітають найшвидші молекули, то середня швидкість решти молекул рідини стає меншою, отже, і середня кінетична енергія молекул, що залишаються в рідині, зменшується. Це означає, що внутрішня енергія рідини, яка випаровується, зменшується. Тому, якщо немає припливу енергії до рідини ззовні, то під час випаровування вона охолоджується. Виходячи з води навіть у спекотний день, ми відчуваємо холод. Вода під час випаровування з поверхні нашого тіла забирає від нього певну кількість теплоти.

Проте під час випаровування води, наливої у склянку, ми не помічаємо зниження її температури. Чим це можна пояснити? Річ у тім, що випаровування в цьому разі відбувається повільно й температура води залишається сталою завдяки теплоті, отриманій з навколишнього повітря.

Ми говорили, що одночасно з випаровуванням відбувається і конденсація (мал. 53, с. 72). Конденсація пари супроводжується виділенням енергії. Літніми вечорами, коли повітря стає холоднішим, випадає роса. Це водяна пара, що була в повітрі, унаслідок охолодження конденсується, і маленькі крапельки води осідають на траві й листі. Конденсацією пари пояснюється утворення хмар. Водяна пара, що піднімається над землею, утворює у верхніх, холодніших шарах повітря хмари, які складаються з безлічі найдрібніших краплинок води.



а



б

Мал. 52.
Випаровування:
а — у закритій
посудині;
б — у відкритій
посудині



Мал. 53. Конденсація водяної пари

Слід зазначити, що випаровуватися можуть не тільки рідини, а й тверді тіла. Перехід із твердого стану в газоподібний, минаючи рідкий, називають *сублімацією*. Прикладом сублімації є висихання білизни на морозі. Тобто у водяну пару перетворюється лід, а не вода.

Зворотний процес — перехід із газоподібного стану в твердий — називається *десублімацією*. Прикладом десублімації є утворення інею із водяної пари.

Підбиваємо підсумки

- Випаровування — це перехід речовини з рідкого або твердого агрегатного стану в газоподібний (пару), який відбувається на вільній поверхні рідини.
- Швидкість випаровування залежить від багатьох факторів: від різновиду рідини, від температури, від площі вільної поверхні, від наявності вітру над поверхнею, від того, закритий чи відкритий простір над поверхнею.
- Якщо немає припливу енергії до рідини ззовні, то під час випаровування, вона охолоджується.



Я знаю, вмію і розумію



1. Що називають пароутворенням; конденсацією; випаровуванням; парою?
2. Як пояснити зниження температури рідини в результаті її випаровування? Чому рідина випаровується за будь-якої температури?
3. Від чого залежить швидкість випаровування рідини?
4. Як називається процес, зворотний до випаровування? Чим ці процеси відрізняються з енергетичної точки зору?
5. Що таке сублімація? Наведіть приклади.



ПОЯСНІТЬ

1. Чому для виготовлення парфумів використовують спирт, а не воду?
2. Чому ґрунт висихає швидше у вітряну погоду?
3. Чому в закритій посудині рідина вихолоджується повільніше?
4. Подихайте на дерев'яну поверхню, а потім на дзеркало. Порівняйте процеси та поясніть.



Кипіння. Розрахунок кількості теплоти під час пароутворення/конденсації

Кипіння. За певної температури (температури кипіння) рідини починають інтенсивно випаровуватися не лише з вільної поверхні, а й в усьому об'ємі. Це явище називають *кипінням*.

Ви дізнаєтесь

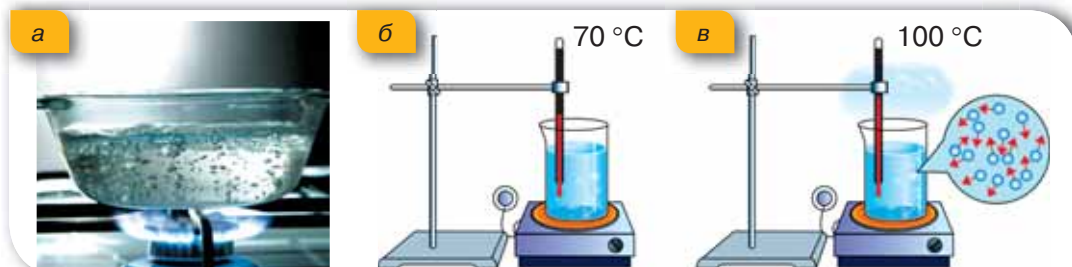
- Чим кипіння відрізняється від випаровування

Пригадайте

- Особливості руху та взаємодії молекул речовини в газоподібному й рідкому стани

Кипіння — перехід рідини в пару, який характеризується інтенсивним випаровуванням рідини не тільки з її вільної поверхні, а й з усього об'єму.

Нагріватимемо воду в посудині (мал. 54, а). Через деякий час дно і стінки посудини вкриються бульбашками. Це бульбашки повітря, яке завжди буває розчиненим у воді. Під час нагрівання рідини вода випаровується всередину бульбашки. З підвищенням температури бульбашка заповнюється не тільки повітрям, розчиненим у воді, а й водяною парою. Зі збільшенням кількості водяної пари всередині бульбашок їх об'єм поступово збільшується, а відповідно, збільшується і виштовхувальна архімедова сила, що діє на бульбашку. Бульбашки відриваються від поверхні стінок і дна посудини й піднімаються до поверхні рідини. Якщо вода в посудині ще не прогріта повністю і верхні її шари залишаються холодними, бульбашки стискаються, створюючи характерний шум, який ми чуємо перед початком кипіння рідини. Якщо ж вода прогрілася повністю, а ми продовжуємо її нагрівати, то вона випаровується всередину бульбашок інтенсивніше. Кількість пари всередині бульбашок збільшується, відповідно підвищується й тиск пари. Унаслідок цього об'єм бульбашок збільшується, і за певної температури



Мал. 54. Кипіння води

рідини бульбашки починають спливати на поверхню і лопатися, а водяна пара, що містилася в бульбашках, виходить назовні. Іноді можна спостерігати туман, який утворюється над посудиною: водяна пара змішується з холодним повітрям і конденсується у вигляді маленьких крапельок. Самої пари, звичайно, не видно.

Під час кипіння температура рідини залишається сталою, оскільки вся теплота, що надається рідині, витрачається на внутрішнє випаровування в усьому об'ємі.

Температура кипіння. Температуру, за якої кипить рідина, називають *температурою кипіння*. У кожної речовини вона має своє значення і залежить від різних факторів, зокрема від зовнішнього тиску. Це пояснюється тим, що бульбашкам із парою для виходу назовні треба подолати його протидію. Тому з підвищенням зовнішнього тиску зростатиме температура кипіння, і навпаки, зі зниженням зовнішнього тиску температура кипіння зменшуватиметься. Наприклад, у високих горах вода кипітиме за значно нижчої температури, ніж за нормального атмосферного тиску.

Речовини, які у звичайних умовах є газами, за достатнього охолодження перетворюються в рідини, що киплять за дуже низьких температур, а речовини, які у звичайних умовах спостерігаємо у твердому стані, перетворюються під час плавлення в рідини, що киплять за дуже високої температури.

Питома теплота пароутворення. Щоб рідина в процесі пароутворення не змінювала своєї температури, їй треба надавати енергію. Так, щоб випарувати воду масою 1 кг за температури 35 °С, потрібно $2,4 \cdot 10^6$ Дж, а за температури кипіння 100 °С — $2,3 \cdot 10^6$ Дж.

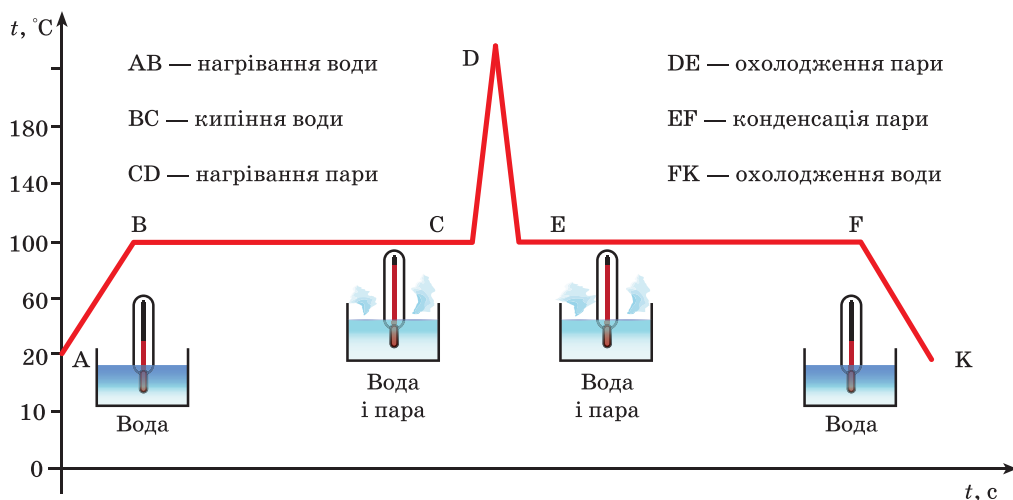
Питома теплота пароутворення — це фізична величина, що показує, яка кількість теплоти потрібна, щоб перетворити рідину масою 1 кг у пару без зміни температури рідини.

Питому теплоту пароутворення позначають літерою L (або літерою r). Одиницею питомої теплоти пароутворення є *джоуль на кілограм*, $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$.

Кожна рідина має свою питому теплоту пароутворення. Найчастіше під час розв'язування задач використовують значення питомої теплоти пароутворення за температури кипіння і нормального атмосферного тиску (див. форзац).

Обчислення кількості теплоти. Щоб обчислити кількість теплоти, яка потрібна для перетворення в пару рідини будь-якої маси m , узятій за температури кипіння, треба питому теплоту пароутворення L помножити на масу:

$$Q_{\text{вип}} = Lm.$$



Мал. 55. Графік залежності температури від часу

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

Процеси нагрівання і кипіння можна зобразити графічно. Для цього по осі ординат відкладають значення температури речовини, а по осі абсцис — час, протягом якого триває процес. Наприклад, на малюнку 55 графічно зображено процеси нагрівання і кипіння води та нагрівання утвореної водяної пари, а також обернені процеси: охолодження пари, конденсації і охолодження води.

Підбиваємо підсумки

- Пароутворення відбувається двома способами — випаровуванням і кипінням.
- Кипіння — це перехід рідини в пару, який характеризується інтенсивним випаровуванням рідини не тільки з її вільної поверхні, а й з усього об'єму всередину бульбашок пари, які утворюються.
- Кипіння настає за фіксованої температури кипіння. З підвищенням зовнішнього тиску температура кипіння зростає, і навпаки, зі зниженням зовнішнього тиску температура кипіння зменшується.
- Щоб обчислити кількість теплоти, що потрібна для перетворення в пару рідини будь-якої маси m , узятій за температури кипіння, треба питому теплоту пароутворення L помножити на масу: $Q_{\text{вип}} = Lm$.



1. У чому полягає суть явища кипіння?
2. Як впливає зовнішній атмосферний тиск на процес кипіння?
3. Чи змінюється в процесі кипіння температура? Чому?
4. Від чого залежить кількість теплоти, потрібна для випаровування рідини або яка виділяється під час конденсації пари?

**ПОЯСНІТЬ**

1. Чи може вода закипіти за температури $80\text{ }^{\circ}\text{C}$?
2. У великій каструлі з водою, що стоїть на вогні, плаває менша каструля з водою (мал. 56). Матеріал каструль — дуже добрий провідник тепла (метал). У якій із каструль вода википить швидше? Чи кипітиме вода в маленькій каструлі, яка плаває у великій каструлі, де кипить вода?
3. Чому ділянки AB і CD графіка нагрівання води і водяної пари (мал. 55, с. 75) мають різний нахил?



Мал. 56.
До завдання 2

**ВЧИМОСЯ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ЗАДАЧІ****Задача**

Яка кількість енергії потрібна для перетворення води масою 2 кг, узятій за температури $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, у пару?

Дано:

$$m = 2 \text{ кг}$$

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

$$t_{\text{кип}} = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$$

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

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

 $Q = ?$
Розв'язання:

Загальна кількість затраченої енергії: $Q = Q_1 + Q_2$, де Q_1 — енергія, затрачена на нагрівання води від 20 до $100\text{ }^{\circ}\text{C}$: $Q_1 = cm(t_{\text{кип}} - t)$, а Q_2 — енергія, затрачена на перетворення води в пару без зміни її температури: $Q_2 = Lm$.

Підставивши числові значення величин, дістанемо:

$$Q = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}} \cdot 2 \text{ кг} \cdot (100\text{ }^{\circ}\text{C} - 20\text{ }^{\circ}\text{C}) + 2,3 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot 2 \text{ кг} \approx 5,3 \cdot 10^6 \text{ Дж}.$$

Відповідь: $Q \approx 5,3 \cdot 10^6 \text{ Дж}$.

**Вправа 8**

1. Що має більшу внутрішню енергію: 1 кг води за температури $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ чи 1 кг водяної пари, узятій за тієї самої температури?
2. Яка кількість теплоти виділяється під час конденсації 2,5 кг водяної пари, якщо її температура $100\text{ }^{\circ}\text{C}$?
3. Водяну пару масою 1 кг узято за температури $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Скільки енергії віддасть вона навколишньому середовищу в разі конденсації і подальшого охолодження до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$?

4. Яку кількість теплоти потрібно витратити, щоб 4 кг льоду, взятого за температури $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, перетворити в пару температурою $100\text{ }^{\circ}\text{C}$?
5. У посудину, у якій міститься 1,5 кг води температурою $15\text{ }^{\circ}\text{C}$, впустили 200 г водяної пари температурою $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Яка температура встановиться в посудині після конденсації пари?
6. Прісну воду добувають з морської води випаровуванням або виморожуванням. Який із цих способів економніший? Розгляньте різні версії залежно від початкових умов.
7. Відомо, що під час важкої фізичної праці людина виділяє близько 2 л поту. Яку масу води можна нагріти від 0 до $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ завдяки енергії, що витрачається на випаровування 2 л поту. Врахуйте, що випаровування відбувається не за температури кипіння. Якби піт не випаровувався, то на скільки градусів нагрілося б тіло людини масою 60 кг? Вважається, що питома теплоємність тіла людини приблизно така сама, як і води, оскільки клітини живих організмів складаються на 80–95 % з води.



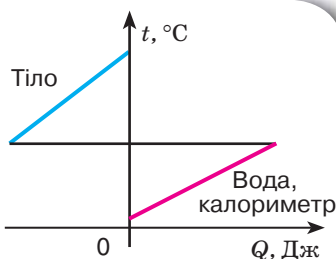
Розв'язання основних типів задач із розділу «Теплові явища»

Усі задачі цієї теми умовно можна поділити на такі групи:

1. Задачі, у яких відбувається обмін енергією без агрегатних перетворень.
2. Задачі, у яких відбуваються зміни агрегатних станів і відомі кінцеві стани речовини (кінцева температура).
3. Задачі, у яких відбуваються зміни агрегатних станів, але невідома кінцева температура.
4. Графічні задачі.

Перші дві групи задач розв'язують способом складання рівняння теплового балансу, з якого визначається невідома величина. Такі задачі можна розв'язати в загальному вигляді, а потім, підставляючи числові значення заданих величин, зробити обчислення.

Задачі третього типу неможливо розв'язати в загальному вигляді. Залежно від числових значень вихідних даних одні процеси можуть протікати, а інші — ні. А від того, які процеси протікають і в якому напрямку, залежить вид рівняння теплового балансу. Розв'язування таких задач необхідно починати з виявлення процесів, що відбуваються першими, у результаті яких виділяється теплота. Потім обчислюють відповідну кількість теплоти, визначаючи напрямок подальших можливих процесів.



Мал. 57. Графіки залежності температури від кількості теплоти

У розв'язанні задач четвертого типу використовується графічний метод.

У задачах, де в теплообміні беруть участь вода, калориметр і нагріте тверде тіло, маси, теплоємності й температури яких відповідно дорівнюють m_1, c_1, t_1 ; m_2, c_2, t_2 ; m_3, c_3, t_3 , найчастіше потрібно дати відповіді на такі запитання: *яка температура t встановиться в калориметрі?* або *Яка маса або теплоємність тіла?* У цьому випадку процеси, що відбуваються, можна проілюструвати схематичними графіками залежності температури від кількості теплоти, відданої тілу (мал. 57).

Нехай нагріте тіло буде охолоджуватись, а вода й калориметр — нагріватися. Цей процес буде відбуватися доти, поки не встановиться загальна температура t . Кількість теплоти, що виділиться нагрітим тілом, дорівнює кількості теплоти, що поглинається водою і калориметром.

Запишемо рівняння теплового балансу:

$$Q_1 + Q_2 = Q_3;$$

$$m_1 c_1 (t - t_1) + m_2 c_2 (t - t_2) = m_3 c_3 (t_3 - t).$$

Після приведення подібних доданків отримаємо:

$$m_1 c_1 t + m_2 c_2 t + m_3 c_3 t = m_1 c_1 t_1 + m_2 c_2 t_2 + m_3 c_3 t_3.$$

Звідси

$$t = \frac{m_1 c_1 t_1 + m_2 c_2 t_2 + m_3 c_3 t_3}{m_1 c_1 + m_2 c_2 + m_3 c_3}.$$

Якщо в задачі $c_1 = c_2 = c_3$ (наприклад, *змішування холодної і гарячої води*), то *температуру суміші рідин* визначають за формулою:

$$t = \frac{m_1 t_1 + m_2 t_2 + m_3 t_3}{m_1 + m_2 + m_3}.$$

Якщо за умовою задачі кінцева температура t відома, а *визначити необхідно теплоємність твердого тіла*, то отримаємо:

$$c_3 = \frac{m_1 c_1 (t - t_1) + m_2 c_2 (t - t_2)}{m_3 (t_3 - t)};$$

для маси тіла:

$$m_3 = \frac{m_1 c_1 (t - t_1) + m_2 c_2 (t - t_2)}{c_3 (t_3 - t)}.$$

Розв'язання задач третього типу розглянемо на такому прикладі.

У калориметрі міститься вода масою 400 г за температури 5 °С. До неї долили ще 200 г води температурою 10 °С і поклали 400 г льоду температурою –60 °С. Визначте температуру, що встановиться в калориметрі. Як зміниться кількість льоду?

Дано:

$m_1 = 400 \text{ г}$

$m_2 = 200 \text{ г}$

$m_3 = 400 \text{ г}$

$t_1 = 5^\circ \text{C}$

$t_2 = 10^\circ \text{C}$

$t_3 = -60^\circ \text{C}$

$c_{\text{л}} = 2100 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ \text{C})$

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

$t = ? \quad \Delta m = ?$

Розв'язання:

Проаналізуємо умову задачі.

Під час охолодження всієї маси води до 0°C вона виділить кількість теплоти $Q_{\text{в}} = c_{\text{в}} \cdot (m_1 t_1 + m_2 t_2) = 16,8 \text{ кДж}$. Легко пересвідчитись, що це менше кількості теплоти λm_3 , необхідної для плавлення всього льоду.

Значить, $t < 0^\circ \text{C}$. З іншого боку, на нагрівання льоду до 0°C витратиться кількість теплоти $Q_{\text{л}} = c_{\text{л}} m_3 t_3 = 50,4 \text{ кДж}$.

Це менше, ніж виділилося б теплоти від час замерзання всієї води. Тому $t > 0^\circ \text{C}$. Отже, ми дійшли висновку, що $t = 0^\circ \text{C}$. Для охолодження води й нагрівання льоду до цієї температури необхідна кількість теплоти:

$$Q = 50,4 \text{ кДж} - 16,8 \text{ кДж} = 33,6 \text{ кДж}.$$

Вона може виділитися лише завдяки замерзанню води масою:

$$\Delta m = \frac{Q}{\lambda} = 0,10 \text{ кг}.$$

Отже, під час встановлення теплової рівноваги маса льоду збільшиться на $\Delta m = 100 \text{ г}$ і буде складати $m = m_3 + \Delta m = 500 \text{ г}$.

Відповідь: $t = 0^\circ \text{C}$; маса льоду збільшиться до 500 г .

Розв'язання графічних задач розглянемо на такому прикладі. У калориметрі міститься 1 кг льоду за температури -20°C . Кількість теплоти, що надається системі, постійна й дорівнює 100 Дж/с . Побудуйте графік залежності температури в калориметрі від часу.

Дано:

$Q_{\text{т}} = 100 \text{ Дж/с}$

$m = 1 \text{ кг}$

$t = -20^\circ \text{C}$

$c_{\text{л}} = 2100 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ \text{C})$

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

$c_{\text{вп}} = 2200 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ \text{C})$

$\lambda = 3,3 \cdot 10^5 \text{ Дж/кг}$

$L = 2,26 \cdot 10^6 \text{ Дж/кг}$

Побудувати графік залежності температури від часу.

Розв'язання:

У процесі постійного нагрівання відбудуться такі процеси: нагрівання льоду, танення льоду, нагрівання утвореної з льоду води до стану кипіння, випаровування і нагрівання пари. Визначимо, яка кількість теплоти витрачається на відповідний процес і час кожного процесу.

Кількість теплоти, необхідна для нагрівання льоду до температури $t_0 = 0^\circ \text{C}$, становить:

$$Q_1 = c_{\text{л}} m (t - t_0).$$

Після підстановки числових значень отримаємо

$$Q_1 = 4,2 \cdot 10^4 \text{ Дж}.$$

Кількість теплоти, що потрібна для того, щоб лід розтанув:

$$Q_2 = m \lambda, \quad Q_2 = 3,3 \cdot 10^5 \text{ Дж}.$$

Кількість теплоти, що потрібна для нагрівання води до кипіння:

$$Q_3 = c_{\text{в}} m (100^\circ \text{C} - 0^\circ \text{C}), \quad Q_3 = 4,2 \cdot 10^5 \text{ Дж}.$$

Для випаровування води потрібна кількість теплоти:

$$Q_4 = Lm, \quad Q_4 = 2,26 \cdot 10^4 \text{ Дж.}$$

Потім буде відбуватися нагрівання пари. Кількість теплоти, що необхідна для нагрівання пари до 120°C , дорівнює:

$$Q_5 = c_{\text{вп}} m (120^\circ\text{C} - 100^\circ\text{C}),$$

$$Q_5 = 4,4 \cdot 10^5 \text{ Дж.}$$

Інтервал часу, за який лід нагріється до 0°C :

$$\Delta t_1 = \frac{Q_1}{Q_t}, \quad \Delta t_1 = 0,12 \text{ год.}$$

Інтервал часу, за який лід повністю розтане:

$$\Delta t_2 = Q_2 / Q_t, \quad \Delta t_2 = 0,92 \text{ год.}$$

Інтервал часу, за який відбудеться цей процес нагрівання, дорівнює:

$$\Delta t_3 = Q_3 / Q_t, \quad \Delta t_3 = 1,2 \text{ год.}$$

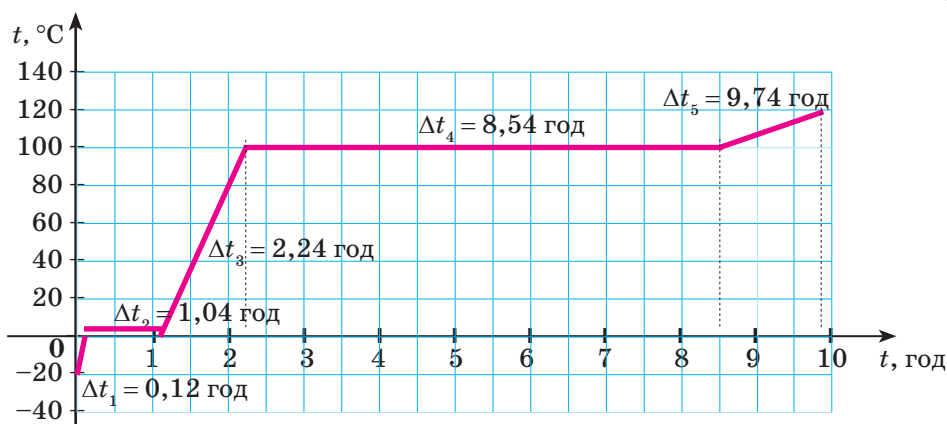
Інтервал часу, за який відбудеться повне випаровування:

$$\Delta t_4 = 6,3 \text{ год.}$$

Інтервал часу, за який відбудеться нагрівання пари, дорівнює:

$$\Delta t_5 = 1,2 \text{ год.}$$

За отриманими даними побудуємо залежність температури в калориметрі від часу (мал. 58).



Мал. 58. Залежність температури в калориметрі від часу

Перевірте себе (§ 13–17)

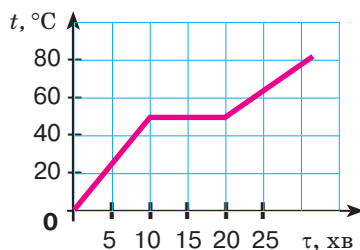
Рівень А (початковий)

1. Чому ручку праски виготовляють із пластмаси?

А для краси
 Б щоб праска була легшою
 В для економії металу
 Г пластмаса — поганий провідник тепла

2. На малюнку показано залежність температури кристалічного тіла від часу його нагрівання. Яка температура плавлення тіла, якщо потужність нагрівника є постійною?

А 80 °С
 Б 60 °С
 В 50 °С
 Г 40 °С



3. Мідну, залізну й алюмінієву кульки однакової маси нагріли в киплячій воді, а потім поклали на лід. Під якою з кульок розплавиться більше льоду?

А під мідною
 Б під залізною
 В під алюмінієвою
 Г під мідною і алюмінієвою однаково

4. З підвищенням температури швидкість випаровування зростає. Це зумовлено:

1) збільшенням кількості молекул, що мають енергію, потрібну для їх виходу з рідини;
 2) послабленням сил взаємодії між молекулами;
 3) зменшенням тиску пари над рідиною.

Виберіть правильні твердження.

А тільки 1
 Б тільки 2
 В тільки 3
 Г 1, 2, 3

5. Установіть відповідність між назвою процесу і зміною агрегатного стану.

1 сублімація	А перетворення рідини в пару
2 конденсація	Б перетворення пари в рідину
3 плавлення	В перетворення твердого тіла в газ
4 кристалізація	Г перетворення твердого тіла в рідину
5 випаровування	Д перетворення рідини у тверде тіло

Рівень В (середній)

1. Оберіть основну відмінність фізичних властивостей аморфних і кристалічних твердих тіл.

А аморфні тіла мають меншу густину, ніж кристалічні
 Б аморфні тіла не мають певної температури плавлення
 В аморфні тіла мають відмінну від кристалічних швидкість руху молекул
 Г аморфні тіла легко змінюють форму

2. Речовина безперервно отримує енергію, а її температура не змінюється. Що відбувається з речовиною?

А плавиться

В кристалізується або кипить

Б кипить

Г плавиться або кипить

3. Температура кипіння води — 80°C . Це можливо

А за пониженого зовнішнього атмосферного тиску

Б за підвищеного зовнішнього атмосферного тиску

В якщо воду кип'ятити дуже швидко

Г якщо у воду вкинути шматок льоду

Рівень С (достатній)

1. У якій посудині температура води вища: у відкритій чи в закритій накривкою? Посудини однакові, перебувають в однакових умовах.

А у відкритій

Б у закритій

В однакова

Г залежить від зовнішнього тиску

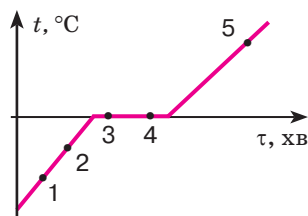
2. Тіло нагрівають нагрівником постійної потужності. На малюнку зображено графік залежності температури тіла від часу. Порівняйте внутрішню енергію тіла в точках, позначених на графіку.

А $U_1 > U_2 > U_3 > U_4 > U_5$

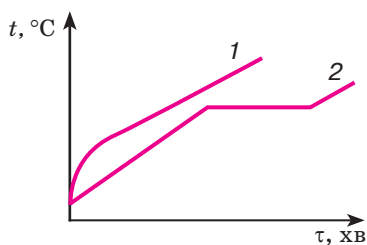
Б $U_1 < U_2 < U_3 < U_4 < U_5$

В $U_5 < U_3 = U_4 < U_2 < U_1$

Г $U_5 > U_3 = U_4 > U_2 > U_1$



3. На малюнку показані залежності зміни температури речовин від часу з початку нагрівання. Який графік відповідає твердому кристалічному тілу? Відповідь обґрунтуйте.



Рівень D (високий)

1. Скільки теплоти виділиться під час конденсації $0,2\text{ кг}$ водяної пари, яка має температуру 100°C , і під час охолодження одержаної з неї води до 20°C ?
2. У льодову заглибину вливають свинець. Скільки влили свинцю, якщо він вихолодився до температури 0°C і до того ж розтопив лід масою 270 г ?



Згорання палива.

Розрахунок кількості теплоти внаслідок згорання палива

Горіння. Досить часто людина добуває теплову енергію, спалюючи різні речовини. Це пояснюється тим, що горіння супроводжується виділенням теплоти.



Горіння — це фізико-хімічний процес, під час якого відбувається окиснення речовини з виділенням теплоти і світла.

Горіння відбуватиметься, якщо є: горюча речовина, окисник і джерело займання. Перебіг горіння залежить від співвідношення кількості горючої речовини й окисника, а також енергетичної спроможності джерела займання.

Ми не будемо розглядати всі можливі фізико-хімічні процеси горіння і види горючих речовин, зупинимося лише на деяких з них. Зокрема, на процесах горіння, пов'язаних з окисненням вуглецю. Звичайне паливо (вугілля, нафта, бензин тощо) містить вуглець. Під час горіння атоми вуглецю сполучаються з атомами кисню, який є в повітрі. Кожний атом вуглецю сполучається з двома атомами кисню, утворюючи молекулу оксиду вуглецю (IV) (вуглекислого газу). Реакція супроводжується виділенням енергії (мал. 59). Розрізняють повне та неповне згорання палива. У процесі повного згорання вся хімічна енергія палива переходить у теплову.

Щоб розпочався процес горіння, потрібне джерело займання (мал. 60, с. 84). Так, щоб запалити речовину в повітрі, спочатку потрібно її нагріти до певної температури — температури займання. Для різних речовин вона є різною. Так, наприклад, дерево займається за температури приблизно 200 °C, вугілля — 350 °C.

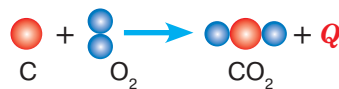
Теплота, що виділяється під час горіння, підтримує температуру речовини вищою за температуру займання, унаслідок чого горіння підтримується самостійно.

Ви дізнаєтесь

- Які фізичні й хімічні процеси відбуваються під час горіння
- Яке паливо є найкращим джерелом енергії

Пригадайте

- Чим фізичні явища відрізняються від хімічних



Горюча речовина + окисник =
продукти згорання + тепло

Мал. 59. Реакція горіння



Температура горіння сірника — **1500 °C**
 Температура полум'я — **750–850 °C**
 Температура займання дров — **180–200 °C**
 Температура горіння дров — **800–1000 °C**



Мал. 60. Умови початку горіння

Важливо знати, що для припинення горіння речовину, що горить, потрібно охолодити до температури, нижчої від температури займання, або припинити доступ кисню. Ці обидва способи використовують під час гасіння пожежі водою. Коли вода потрапляє на джерело вогню, вона випаровується і відбирає від тіл, що горять, теплоту. Їхня температура різко зменшується. Водяна пара, що утворюється, утруднює доступ кисню, і горіння припиняється.

Обчислення кількості теплоти, що виділяється внаслідок згорання палива. Питома теплота згорання. Процес горіння супроводжується виникненням полум'я (теплом і світлом) та виділенням диму (продукти згорання). З фізичної точки зору нас буде цікавити питання: від чого залежить кількість теплоти, що виділяється під час горіння?

Відомо, що різні речовини під час горіння виділяють різну кількість теплоти, тобто горючі речовини можна порівнювати за певною фізичною величиною. Такою величиною є *питома теплота згорання*.



Питома теплота згорання — це фізична величина, що показує, яка кількість теплоти виділяється в результаті повного згорання палива масою 1 кг.

Питому теплоту згорання палива позначають літерою q (читається «кю»), її одиниця — $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$.

Є різні види палива: *тверде* (дрова, вугілля, сланці, торф); *рідке* (бензин, гас, дизельне пальне, спирт та ін.); *газоподібне* (метан, пропан, бутан, ацетилен та ін.). У таблиці на форзаці наведені значення їх питомої теплоти згорання.

Щоб обчислити кількість теплоти, яка виділяється від згорання будь-якої маси палива, треба питому теплоту згорання помножити на масу палива, що згоріло:

$$Q_{\text{зг}} = qm.$$

Коефіцієнт корисної дії нагрівника. Для теплообміну часто застосовують нагрівники, за допомогою яких можна використати теплоту згорання палива, — газові пальники, спиртівки, печі. Кількість теплоти, яка утворюється в нагрівнику під час згорання палива, частково витрачається на нагрівання тіл, а частина її розсіюється в навколишнє середовище, поглинається самим нагрівником тощо. Тому кажуть про коефіцієнт корисної дії

(ККД) нагрівника, який показує, яку частину становить кількість теплоти, що витрачається на нагрівання (Q) відносно кількості теплоти, що виділяється від згорання палива ($Q_{\text{зг}}$):

$$\text{ККД} = \frac{Q}{Q_{\text{зг}}} \cdot 100\%.$$

ККД нагрівника характеризує ефективність використання теплоти, отриманої внаслідок згорання палива. Для того щоб підвищити ККД нагрівника, необхідно збільшувати корисну енергію, тобто зменшувати втрати теплоти не за призначенням.

Підбиваємо підсумки

- Горіння — це фізико-хімічний процес, який супроводжується виділенням тепла і світла.
- Питомою теплою згорання палива (q) називають фізичну величину, що показує, яка кількість теплоти виділяється в разі повного згорання 1 кг цього виду палива.
- Загальна кількість теплоти Q , що виділяється внаслідок згорання деякої маси m палива, обчислюється за формулою: $Q = qm$.



Я знаю, вмію і розумію



1. Що таке горіння? Опишіть фізичне явище, що лежить в основі використання палива як джерела енергії.
2. Чому для одержання теплової енергії використовують паливо?
3. Що називають питомою теплою згорання палива? Які види палива мають найбільшу питому теплоту згорання?
4. Що характеризує ККД нагрівника?



ПОЯСНІТЬ

1. Чому одним сірником можна запалити дерев'яну тріску, але неможливо запалити великий шматок деревини?
2. Чому, гасячи багаття, його розгортають по землі?
3. Як правильно прочитати вираз $q = \frac{Q_{\text{зг}}}{m}$: а) «питома теплота згорання прямо пропорційна кількості теплоти, що виділяється, і обернено пропорційна масі пального, що згоріло»; б) «питома теплота згорання палива чисельно дорівнює кількості теплоти, що виділяється внаслідок повного згорання 1 кг такого палива»?



ВЧИМОСЯ РОЗВ'ЯЗЦВАТИ ЗАДАЧІ

Задача 1

Яка кількість теплоти виділиться під час згорання 40 кг кам'яного вугілля? Скільки води можна нагріти від 10 до 60 °С, витративши всю теплоту на її нагрівання?

Дано:

$$m = 40 \text{ кг}$$

$$t_0 = 10^\circ \text{C}$$

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

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

$$q = 25 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

$$Q - ?$$

$$m_{\text{води}} - ?$$

Розв'язання:

Унаслідок згорання палива виділяється кількість теплоти:

$$Q_{\text{зг}} = qm,$$

$$Q = 25 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot 40 \text{ кг} = 1000 \cdot 10^6 \text{ Дж} = 10^9 \text{ Дж}.$$

З формули кількості теплоти $Q = cm(t - t_0)$ визначимо масу води, враховуючи, що

$$Q = 10^9 \text{ Дж}, \quad m = \frac{Q}{c(t - t_0)} = 4800 \text{ кг}.$$

Відповідь: $Q = 10^9 \text{ Дж}$, $m = 4800 \text{ кг}$.

Задача 2

Скільки треба спалити спирту, щоб нагріти 0,5 л води від 20 до 80 °С, якщо для нагрівання води витрачається 60 % теплоти, що виділяється під час згорання спирту?

Дано:

$$V = 0,5 \text{ л}$$

$$t_0 = 20^\circ \text{C}$$

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

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

$$q = 26 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

$$\eta = 0,6$$

$$m_2 - ?$$

СІ

$$0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$$

Розв'язання:

Масу води визначаємо за її густиною та об'ємом:

$$m_1 = \rho V = 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 = 0,5 \text{ кг}.$$

Ураховуючи, що ККД нагрівника показує, яку частину становить кількість теплоти, що йде на нагрівання по відношенню до кількості теплоти, що виділяється від згорання палива, можна записати:

$$\eta = \frac{Q}{Q_{\text{зг}}} = \frac{cm_1(t - t_0)}{qm_2}, \text{ або: } \eta qm_2 = cm_1(t - t_0).$$

Маса спирту, що згорає: $m_2 = \frac{cm_1(t - t_0)}{\eta q},$

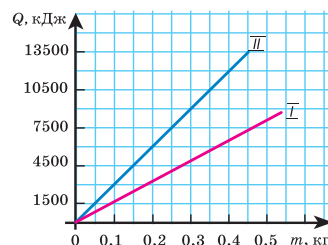
$$m_2 = \frac{4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ \text{C}} \cdot 0,5 \text{ кг} \cdot 60^\circ \text{C}}{0,6 \cdot 26 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}} \approx 0,008 \text{ кг}.$$

Відповідь: $m_2 \approx 0,008 \text{ кг}$.

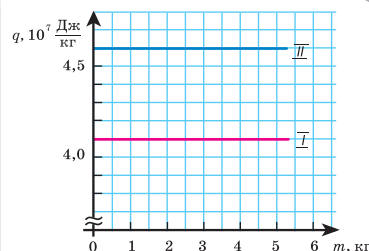


Вправа 9

1. Яку масу води, узятої за температури $10\text{ }^{\circ}\text{C}$, можна нагріти до $50\text{ }^{\circ}\text{C}$, спаливши 30 г спирту, якщо вважати, що вся теплота, що виділяється під час згорання спирту, витрачається на нагрівання води?
2. На скільки більше теплоти виділяється в результаті повного згорання бензину масою 7 кг порівняно з повним згоранням кам'яного вугілля тієї самої маси?
3. Чи однаково прогріється піч, якщо в ній спалювати сухі дрова масою $14,5\text{ кг}$ або кам'яне вугілля масою 8 кг ? Час горіння вважайте однаковим.
- 4*. Яка кількість теплоти виділяється внаслідок повного згорання пальної суміші, що складається з бензину об'ємом 2 л і спирту об'ємом $1,5\text{ л}$? Яким має бути відношення маси бензину до маси спирту, щоб питома теплота згорання цієї суміші становила 42 МДж/кг ?
5. Унаслідок згорання палива масою 5 кг виділилось 210 МДж теплоти. Що це за паливо?
6. На малюнку 61 зображено графіки залежності кількості теплоти, що виділяється внаслідок згорання двох видів палива (I і II), від їхньої маси. Визначте питому теплоту згорання кожного з видів палива. У скільки разів кількість теплоти, що виділяється внаслідок згорання $0,3\text{ кг}$ палива (I), менша від кількості теплоти, що виділяється внаслідок згорання $0,3\text{ кг}$ палива (II)?
7. Використовуючи графіки (мал. 62) залежності питомої теплоти згорання палива для двох видів палива (I і II) від їхньої маси, визначте сумарну кількість теплоти, що виділяється внаслідок повного згорання палива (I) масою 2 кг і палива (II) масою 3 кг . Що це за види палива?
8. На скільки градусів можна нагріти воду масою 20 кг , спаливши газ масою 100 г , якщо вважати, що теплота, яка виділяється в результаті згорання, повністю витратиться на нагрівання води?
9. Скільки енергії виділилось під час горіння спиртівки, якщо вода масою 100 г нагрілась від 30 до $80\text{ }^{\circ}\text{C}$, а теплота, затрачена на нагрівання води, становить 20% тієї теплоти, що виділилась?
- 10*. Сільськогосподарські машини витрачають за рік у середньому 15 млн тонн дизельного палива. Якщо механізатори зекономлять 1% палива під час оброблення 1 га , то в країні заощадиться 230 тис. тонн дизельного палива. Яку кількість енергії буде збережено?



Мал. 61. До завдання 6



Мал. 62. До завдання 7



ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

Визначення коефіцієнта корисної дії нагрівника

Мета роботи: навчитись визначати коефіцієнт корисної дії нагрівника.

Прилади та матеріали: штатив, терези, набір важків, мензурка, термометр, склянка з водою, шматочок сухого спирту, сірники, внутрішня посудина від калориметра.

Вказівки щодо виконання роботи

1. Визначте ціну поділок шкал вимірювальних приладів.
2. Випишіть потрібні вам табличні дані заздалегідь. Усі виміряні дані також записуйте у таблицю.
3. Визначте масу шматочка сухого спирту M .
4. Визначте масу сталевий посудини m_2 .
5. За допомогою мірного циліндра відміряйте 80–100 мл води. Виміряний об'єм V запишіть у таблицю.
6. Знаючи об'єм води, знайдіть її масу, вважаючи, що густина води 1 г/см^3 . Обраховане значення маси води m_3 запишіть у таблицю.
7. За допомогою термометра виміряйте початкову температуру води t_0 .
8. Налийте відміряний вами об'єм води в металеву (алюмінієву) посудину, яку завчасно закріпіть на штативі. Розташуйте під нею спиртівку (пальник).
9. Запаліть спирт і почекайте, поки вода нагріється до температури $70\text{--}90^\circ\text{C}$. За допомогою наручного годинника визначте час горіння спирту τ .
10. За допомогою термометра виміряйте кінцеву температуру води t .
11. Вийміть термометр із води, висушіть його серветкою і покладіть у футляр.
12. Визначте масу спирту, який залишився, Δm , запишіть її у таблицю.
13. Визначте масу спирту, що згорів, $m = M - \Delta m$.
14. Визначте ККД нагрівника за формулою $\eta = \frac{(c_{\text{води}} m_3 + c_{\text{пос}} m_2)(t - t_0)}{qm} \cdot 100\%$.
15. Визначте потужність нагрівника $N = \frac{qm}{\tau}$.
16. Зробіть висновок, у якому поясніть результати. Запропонуйте способи підвищення ККД нагрівника.

Маса сухого спирту, M , г	Маса посудини, m_2 , г	Об'єм води V , мл	Маса води m_3 , г	Початкова температура води, t_0 , $^\circ\text{C}$	Кінцева температура води, t , $^\circ\text{C}$	Маса спирту, що залишився, Δm , г	Маса спирту, що згорів, m , г	ККД нагрівника, η , %



Види машин і механізмів. Перетворення енергії в механічних і теплових процесах

Види машин і механізмів. Здавна люди займалися конструюванням механізмів, які допомагали виконувати важку роботу. Спочатку вони використовували прості механізми — важелі, похилу площину, блоки тощо. Відтоді як людство пізнало закономірності перебігу теплових явищ, учені намагались винайти спосіб використання теплової енергії, зокрема перетворення її в механічну.

З'ясуємо, що таке механізм і машина, що в них спільного та чим вони відрізняються.

Ви дізнаєтесь

- Про види машин і механізмів
- Що потрібно знати, щоб сконструювати машину

Пригадайте

- Приклади перетворення механічної енергії

Механізм — це система взаємопов'язаних тіл, що призначена для перетворення руху одного або декількох тіл у потрібний рух інших тіл.

Механізм складає основу більшості машин і застосовується в різноманітних технічних об'єктах.

Машина — технічний об'єкт, що складається із взаємопов'язаних функціональних частин (деталей, вузлів, пристроїв, механізмів тощо), який використовує енергію для виконання покладених на нього функцій.

Пилосмок і холодильник, літак і підйомний кран, ткацький верстат і комбайн, велосипед та автомобіль — усе це приклади машин (мал.63, с. 90). Зверніть увагу на те, що, незважаючи на відмінності в зовнішньому вигляді та призначенні, матеріалах, з яких їх зроблено, вони мають спільну назву — «машини». *Чому?* По-перше, тому що всі вони виконують потрібну людині роботу. По-друге, для її виконання всім машинам потрібна енергія. І по-третє, спільним для всіх машин є наявність трьох основних частин: робочого органа, двигуна та механізму, що їх зв'язує. За відсутності однієї із частин машина не працюватиме.

Робочі органи машин можуть бути різними. У гелікоптера — пропелер, в екскаватора — ківш, у велосипеда — колеса. Назва «робочий



Мал. 63. Деякі види машин

орган» свідчить про те, що ця частина допомагає людині виконувати ту роботу, задля якої машину створили.

Призначення двигуна — перетворювати один вид енергії на інший. У двигунах таких машин, як автомобіль, мотоцикл, трактор, хімічна енергія палива перетворюється на теплову, а потім — на механічну.

Двигуни пиломоска, пральної машини перетворюють електричну енергію, що надходить до них з електромережі, на механічну. Усі двигуни, зокрема й електродвигуни, під час роботи нагріваються. Це означає, що частина спожитої енергії перетворюється на теплову.

У велосипеда або ручної м'ясорубки двигуна немає. Чому ж їх також називають машинами? Тому що роль двигуна в них відіграє людина, витрачаючи на виконання роботи свою енергію.

Робочий орган і двигун з'єднані між собою механізмом. У багатьох машин — це прості механізми (важіль, блок, ланцюг, пасок) або їх поєднання. Так, механізм велосипеда є поєднанням таких простих механізмів: важіль, вісь, зубчасте колесо (шестерня), ланцюг.

До сучасних досягнень людини в удосконаленні машин можна зарахувати об'єднання кількох машин в одну. Прикладом таких машин є комбайни, без яких не обійтися під час збирання врожаю зернових культур і цукрових буряків, добування вугілля і навіть роботи на кухні. Так, зернозбиральний комбайн поєднує жниварку (скошує зернові рослини), молотарку (обмолочує рослини), віялку (очищує зерно), транспортер (переміщує зерно на вантажівку), скиртоукладач (збирає солом у скирти).

А чи можна поєднати в одній машині телевізор, магнітофон, калькулятор, телефон, друкарську машинку? Здогадалися? Це комп'ютер, смартфон або інший гаджет.

Попередником сучасних комп'ютерів була електронно-обчислювальна машина. Одну з перших електронно-обчислювальних машин побудовано в Києві в 1951 р. під керівництвом академіка С. О. Лебедева.

Перетворення енергії в механічних і теплових процесах. Пригадаймо, що нам відомо про перетворення енергії. Вивчаючи механічні явища в 7 класі, ви переконалися, що кінетична енергія тіла може перетворюватися в його потенціальну енергію і навпаки.

Пригадаємо дослід з м'ячем. М'яч, піднятий над землею, має потенціальну енергію. Якщо утримувати м'яч — його кінетична енергія дорівнюватиме нулю. Як тільки відпустити м'яч, він почне падати. З кожною миттю його висота зменшуватиметься, а отже, зменшуватиметься і потенціальна енергія. Водночас він набуває швидкості — отже, його кінетична енергія збільшується. Перед самим дотиком до землі потенціальна енергія м'яча дорівнює нулю, а кінетична енергія є максимальною. Тоді говорять, що потенціальна енергія тіла перетворилась у кінетичну. До того ж повна механічна енергія системи тіл, що дорівнює сумі їх потенціальної і кінетичної енергії, залишилась незмінною.

Отже, якщо тіла взаємодіють в ізолюваній системі (у системі, в якій відсутні сили тертя), то їхня повна механічна енергія зберігається: $E_k + E_{\text{п}} = \text{const}$. Це закон збереження механічної енергії.

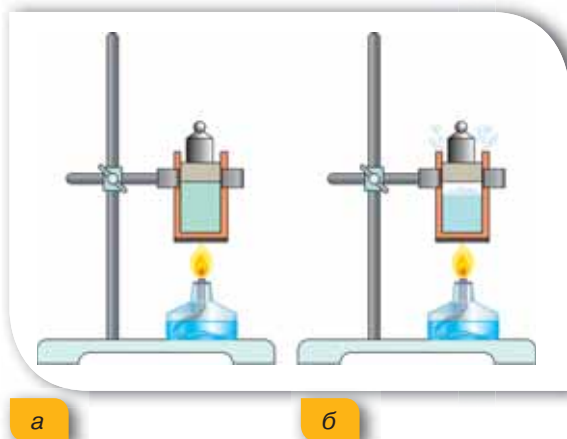
У природі та техніці можна спостерігати багато фізичних явищ і процесів, у яких відбувається не лише перетворення складових механічної енергії, а й взаємоперетворення інших її видів.

На початку вивчення теплових явищ ми з'ясували, що механічна енергія тіла може перетворюватися у його внутрішню енергію. Шайба, що вільно ковзає по льоду, з часом зупиниться під дією сили тертя. Її кінетична енергія не зникне, а перетвориться в теплову: температура шайби та льоду дещо підвищиться.

Отже, можливий і зворотний процес: *перетворення внутрішньої енергії тіла в механічну*.

Переконаємось у цьому на дослідах. Візьмемо циліндр із поршнем, покладемо на нього вантаж, наприклад гирю, і почнемо нагрівати газ у циліндрі під поршнем (мал. 64, а). З підвищенням температури газу поршень почне поступово рухатися вгору, оскільки внаслідок нагрівання газ розширюється. Отже, під час теплообміну газ виконує механічну роботу, піднімаючи вантаж на певну висоту. Якщо нагрівання газу припинити, то завдяки теплообміну з навколишнім середовищем його температура й об'єм зменшуватимуться, а поршень почне рухатися вниз.

Як «робоче тіло» може бути використана і звичайна вода (мал. 64, б). Унаслідок нагрівання вода закипає,



Мал. 64. Виконання механічної роботи завдяки зміні внутрішньої енергії:
а — газу; б — водяної пари

тиск утвореної водяної пари збільшується і вона виштовхує поршень. Отже, унаслідок нагрівання збільшується внутрішня енергія води, яка згодом перетворюється на пару. Внутрішня енергія пари переходить у механічну енергію поршня, завдяки якій виконується механічна робота.

Такі перетворення можна виразити в кількісних співвідношеннях. Позначимо зміну внутрішньої енергії тіла ΔU , виконану тілом роботу A і надану тілу кількість теплоти Q . Тоді перетворення енергії в теплових процесах можна записати у вигляді $Q = \Delta U + A$ (за умови, що перетворення відбуваються в замкненій системі без зовнішніх утрат енергії). Цей вираз має назву *першого закону термодинаміки* (термодинаміка — фізична теорія, яка вивчає взаємне перетворення теплової і механічної енергії).

Перший закон термодинаміки: кількість теплоти, передана системі, витрачається на збільшення внутрішньої енергії системи та виконання нею роботи:

$$Q = \Delta U + A.$$

Підбиваємо підсумки

- Механізм складає основу більшості машин і застосовується в різноманітних технічних об'єктах.
- Спільним для всіх машин є наявність трьох основних частин: робочого органа, двигуна й механізму, що їх зв'язує.
- Перетворення енергії (за умови, що перетворення відбуваються в замкненій системі без зовнішніх утрат енергії) в теплових процесах підпорядковується співвідношенню: кількість теплоти Q , передана системі, витрачається на збільшення внутрішньої енергії системи ΔU та виконання нею роботи A : $Q = \Delta U + A$.

Я знаю, вмію і розумію



1. Що спільного й відмінного між механізмом і машиною?
2. Який фізичний закон є визначальним для пояснення принципу роботи простого механізму? теплової машини?
3. Як відбувається перетворення енергії в механічних і теплових процесах?
4. У чому полягає закон збереження і перетворення енергії в механічних і теплових процесах?



ПОЯСНІТЬ



Відомо, що середня потужність, яку розвиває звичайна людина під час фізичної праці, становить 50 Вт. Визначте «механічний ККД» людини, зайнятої фізичною працею, якщо її робочий день 7 год, а калорійність денного раціону дорівнює $20,9 \cdot 10^6$ Дж.



Теплові машини

Теплова машина. У попередньому параграфі ми з'ясували, що перетворення енергії в теплових процесах (за умови, що перетворення відбуваються в замкненій системі без зовнішніх утрат енергії) підпорядковується співвідношенню: кількість теплоти Q , передана системі, витрачається на збільшення внутрішньої енергії системи ΔU та виконання нею роботи A : $Q = \Delta U + A$.

Першим у практичних цілях використав цей принцип англійський винахідник Джеймс Ватт, котрий у 1784 р. створив першу парову машину, яка тривалий час використовувалась як універсальний двигун, що приводив у рух паровози та пароплави й навіть перші автомобілі та літаки.

Принцип перетворення теплової енергії в механічну завдяки виконанню роботи покладено в основу дії всіх теплових машин. До теплових машин належать двигуни внутрішнього згорання, парові й газові турбіни, дизельні й турбореактивні двигуни тощо. Із часу винайдення ці машини постійно вдосконалюються, але їх будова ґрунтується на закономірностях перетворення теплової енергії в механічну.

Ви дізнаєтесь

- Як працює теплова машина

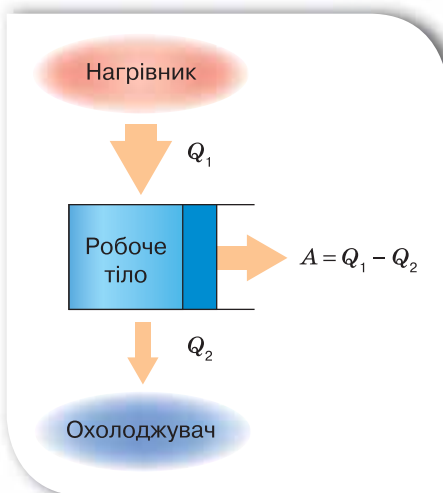
Пригадайте

- Приклади перетворення механічної енергії

Теплова машина — пристрій для перетворення внутрішньої енергії в механічну.

Принцип дії теплової машини. У 1824 р. французький учений Саді Карно встановив, що теплова машина конструктивно має складатися з нагрівника (джерела теплоти), робочого тіла, яке виконує роботу (наприклад, пара в парових двигунах або суміш повітря і пари бензину в двигунах внутрішнього згорання), і охолоджувача (яким часто є навколишнє повітря) (мал. 65).

Коефіцієнт корисної дії теплової машини. У 1851 р. англійський фізик Вільям Томсон (лорд Кельвін) сформулював закон, який відіграв вирішальну роль у створенні теплових машин. Цей закон є основою термодинаміки (теорії теплових процесів), його ще називають законом збереження енергії в теплових процесах, або другим законом термодинаміки.



Мал. 65. Принцип дії теплової машини



Саді Карно
(1796–1832)

Французький учений, який уперше визначив максимальний ККД теплової машини



Джеймс Ватт
(1736–1819)

Англійський винахідник, який отримав патент на пристрій, що давав можливість використовувати енергію пари в промисловості

Другий закон термодинаміки — у природі неможливий процес, єдиним результатом якого є виконання механічної роботи лише завдяки охолодженню джерела теплової енергії без нагрівання навколишніх тіл.

Це означає, що неможливо створити так званий вічний двигун, тобто теплову машину, яка б діставала енергію у вигляді теплоти від одного тіла й повністю передавала її у формі роботи іншому тілу. Отже, для теплових машин (як і для механічних) існує поняття корисної і затраченої енергії. І кожна теплова машина характеризується коефіцієнтом корисної дії (ККД), який визначає її спроможність перетворювати теплову енергію в механічну роботу.

Затрачена енергія — це кількість теплоти, що надається нагрівнику Q_1 .

Корисна енергія — це механічна робота, виконана тепловою машиною A .

За законом збереження енергії ця енергія дорівнює різниці кількості теплоти Q_1 , яку віддає нагрівник робочому тілу, і кількості теплоти Q_2 , яку віддає робоче тіло охолоджувачу: $A = Q_1 - Q_2$.

За означенням, ККД теплової машини дорівнює відношенню виконаної роботи A до наданої кількості теплоти Q_1 :

$$\text{ККД} = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}.$$

Оскільки виконана робота A завжди менша від наданої кількості теплоти Q_1 , то можна зробити висновок, що ККД теплових машин завжди менший від 1.

Інколи ККД визначають у відсотках. Тоді необхідно значення ККД помножити на 100 %. Теплові двигуни мають невисокий ККД, як правило, — 20–30 %.

Підбиваємо підсумки

- Теплова машина конструктивно має складатися з нагрівника, робочого тіла, яке виконує роботу, і охолоджувача.
- Згідно з другим законом термодинаміки в природі неможливий процес, єдиним результатом якого є виконання механічної роботи лише завдяки охолодженню джерела теплової енергії без нагрівання навколишніх тіл.

Я знаю, вмію і розумію



1. Як відбувається перетворення енергії в теплових процесах?
2. Які механізми називають тепловими машинами?
3. З яких конструктивних елементів складається будь-яка теплова машина?
4. Який фундаментальний закон покладено в основу дії теплових машин?
5. Чому не можна створити вічний двигун?
6. Що характеризує ККД теплової машини?



ПОЯСНІТЬ

1. Чи можна створити таку теплову машину, в якій для виконання механічної роботи, що становить 1 Дж, витрачається внутрішня енергія, яка дорівнює 1 Дж?
2. Чому теплові машини мають порівняно низький ККД?



ВЧИМОСЯ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ЗАДАЧІ

Задача 1

Визначте потужність двигуна автомобіля, якщо витрата бензину становить 10 л на 100 км шляху за умови, що середня швидкість руху автомобіля дорівнює 90 км/год. ККД двигуна — 25 %.

Дано:

$V = 10 \text{ л}$
 $s = 100 \text{ км}$
 $v = 90 \text{ км/год}$
 $\eta = 25 \%$
 $N = ?$

СІ

$10 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$
 $1 \cdot 10^5 \text{ м}$
 25 м/с
 $0,25$

Розв'язання:

Записуємо вираз для ККД двигуна:
 $\text{ККД} = \frac{A}{Q}$, де корисну роботу визначаємо через потужність $A = Nt$, а затрачену енергію — як кількість теплоти, що виділяється внаслідок згорання палива $Q = mq$.

Масу палива знайдемо через густину $m = \rho V$.

Час роботи двигуна визначаємо як час руху: $t = \frac{s}{v}$.

Із таблиць записуємо значення питомої теплоти згорання бензину 46 МДж/кг і його густину 760 кг/м³.

Формула для ККД набуває вигляду:

$$\eta = \frac{A}{Q} = \frac{Nt}{q\rho V} = \frac{Ns}{q\rho Vv}, \text{ звідки } N = \frac{\eta q\rho Vv}{s}.$$

Підставляємо значення:

$$N = \frac{0,25 \cdot 46 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot 760 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 10 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3 \cdot 25 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{1 \cdot 10^5 \text{ м}} = 21\,850 \text{ Вт}.$$

Відповідь: $N \approx 22 \text{ кВт}$.

Задача 2

Для забезпечення роботи парової турбіни використовують дизельне паливо масою $0,35 \text{ кг}$ на $1 \text{ кВт} \cdot \text{год}$ роботи. Обчисліть ККД турбіни.

Дано:	СІ	Розв'язання:
$m = 0,35 \text{ кг}$		Записуємо вираз для ККД двигуна:
$Nt = 1 \text{ кВт} \cdot \text{год}$	$3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж}$	$\text{ККД} = \frac{A}{Q}$, де корисну роботу визначаємо
$\eta - ?$		

через потужність $A = Nt$, а затрачену енергію — як кількість теплоти, що виділяється внаслідок згорання палива $Q = mq$.

Формула для ККД набуває вигляду: $\eta = \frac{A}{Q} = \frac{A}{qm}$.

Із таблиць записуємо значення питомої теплоти згорання дизельного палива, 42 МДж/кг .

Підставляємо значення: $\eta = \frac{3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж}}{42 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot 0,35 \text{ кг}} = 0,24$.

Відповідь: $\eta = 0,24$.

**Вправа 10**

- Визначте ККД теплової машини, яка для виконання корисної роботи 250 МДж витрачає $0,85 \text{ ГДж}$ енергії.
- Двигун теплової машини виконав корисну роботу, що дорівнює $2,6 \cdot 10^8 \text{ Дж}$. Визначте енергію, витрачену двигуном, якщо ККД двигуна становить 27% .
- Двигун теплової машини виконав корисну роботу, що дорівнює $3,6 \cdot 10^8 \text{ Дж}$, і використав для цього 40 кг кам'яного вугілля. Обчисліть ККД цього двигуна.
- Двигун теплової машини потужністю 36 кВт за годину роботи витратив 14 кг газу. Визначте ККД двигуна.
- Тепловий двигун отримує від нагрівника щосекунди $14\,200 \text{ кДж}$ теплоти й віддає холодильнику $12\,800 \text{ кДж}$. Який ККД має двигун?
- Для роботи турбіни, яка розвиває потужність $100\,000 \text{ кВт}$, за добу спалюється в топках парових котлів 960 т кам'яного вугілля. Визначте ККД паротурбінної установки.
- Конструктор-початківець дізнався про три винаходи. Використання першого з них давало змогу заощадити 30% палива, другого — 25% , а третього — 45% . Було вирішено побудувати таку машину, в якій би використовувались усі три винаходи, розраховуючи заощадити $30 \% + 25 \% + 45 \% = 100 \%$ палива. Наскільки обґрунтовані надії «конструктора»?
- Визначте потужність двигуна автомобіля, якщо витрати бензину становлять 38 л на 100 км шляху за умови, що середня швидкість руху дорівнює 36 км/год . ККД двигуна — 38% .

§21

Теплові двигуни

Двигуни внутрішнього згорання. До теплових машин належать двигуни внутрішнього згорання, парові й газові турбіни, дизельні й турбореактивні двигуни та ін. Одним із найпоширеніших видів теплової машини є двигун внутрішнього згорання (ДВЗ), який нині широко використовується в різних транспортних засобах, зокрема в автомобілях.

Залежно від виду палива, що використовується у двигуні внутрішнього згорання, і способу його запалення розрізняють бензинові та дизельні (названі на честь їх винахідника, німецького інженера Рудольфа Дізеля) двигуни.

Розглянемо принцип дії таких двигунів внутрішнього згорання (мал. 66). Основним елементом двигуна є циліндр із поршнем, де відбувається згорання палива. (Як правило, їх кілька. Тому кажуть про дво-, чотири- чи восьмициліндрові двигуни.)

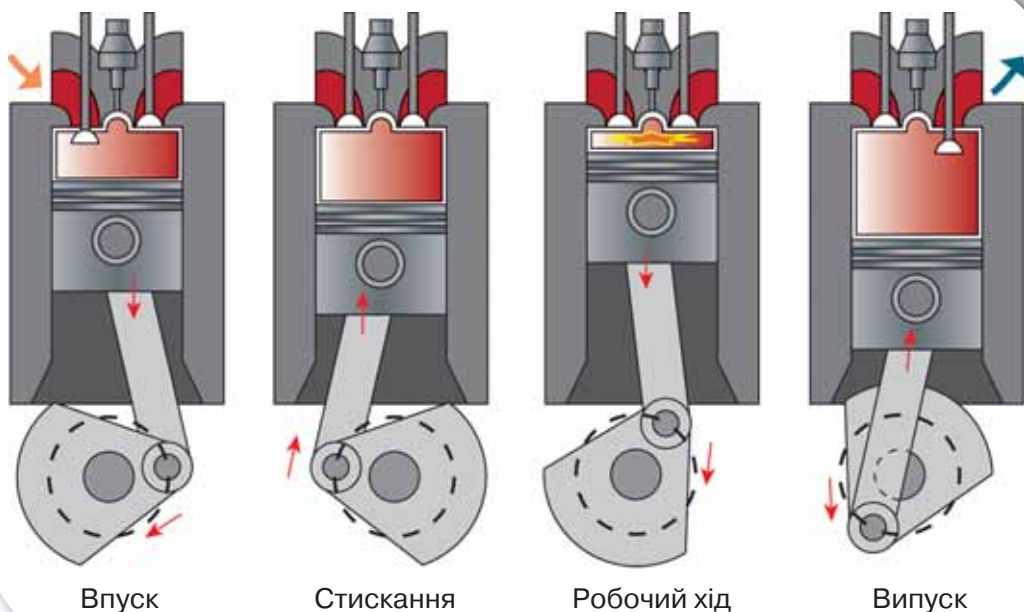
Циліндр має два отвори з клапанами — впускним і випускним. Робота ДВЗ ґрунтується на чотирьох послідовних процесах — тактах, які весь час повторюються.

Ви дізнаєтесь

- Про різні види теплових двигунів

Пригадайте

- Принцип дії теплової машини



Мал. 66. Схема роботи чотиритактного ДВЗ



**Ніколаус Август
Отто
(1832–1891)**

Німецький інженер та підприємець, винахідник-самоучка, конструктор двигуна внутрішнього згорання



**Рудольф Дізель
(1858–1913)**

Німецький інженер, винахідник, створив двигун внутрішнього згорання, названий на його честь — дизельний двигун

Перший такт — це впуск пальної суміші, що здійснюється через впускний клапан, коли поршень рухається вниз. Після того як поршень досягне нижньої точки, всмоктування палива припиняється. Обидва клапани закриті. Під час **другого такту**, коли поршень рухається вгору, відбувається стискання суміші, унаслідок чого її температура підвищується. У верхній точці поршня суміш запалюється іскрою від електричної свічки (у бензинових двигунах) або від високої температури сильно стиснутого газу (в дизельних двигунах). Суміш спалахує. Унаслідок значного нагрівання газ розширюється і тисне на поршень. Сила тиску штовхає поршень донизу, відбувається **третій такт** — робочий хід, під час якого виконується робота. За допомогою спеціального з'єднання рух поршня передається колінчастому валу, який з'єднано з колесами автомобіля. Виконуючи роботу, суміш розширюється і одночасно охолоджується. Після проходження поршнем нижньої точки відкривається випускний клапан, і під час руху поршня вгору відбувається **четвертий такт** — випуск відпрацьованих газів. Таким чином, робочий цикл чотиритактного двигуна завершується, і знову все починається з першого такту.

Різні види двигунів внутрішнього згорання мають широке застосування (мал. 67). У своєму житті ви обов'язково матимете можливість користуватись технікою, що працює за допомогою двигуна внутрішнього згорання. Вивчити конструктивні особливості, переваги і недоліки таких двигунів ви можете вже сьогодні.



Мал. 67.
Застосування
двигунів
внутрішнього
згорання

Парова та газова турбіни. Для перетворення теплової енергії в механічну на теплових й атомних електростанціях використовують турбіни. Турбіни як основний рушійний елемент застосовують також у газотурбінних двигунах, що широко використовуються в авіації. Залежно від робочого тіла (пари або газу) розрізняють парові й газові турбіни.

В основу дії турбін покладено обертання дисків із лопатками під тиском водяної пари або газу.

Основною робочою частиною парової турбіни є вал 1, на якому закріплено диски 3 з лопатками 4 (мал. 68). Через паропровід 2 струмини пари з великою швидкістю спрямовуються на лопаті й обертають ротор турбіни. Через вихідний паропровід 5 відпрацьована пара виводиться з турбіни. Внаслідок цього відбувається перетворення внутрішньої енергії пари в механічну енергію обертання її ротора. Принцип дії парової турбіни ґрунтується на явищі, за якого гарячий газ (пара) розширюється під час виходу із сопла та, виконуючи механічну роботу, охолоджується.

Конструкції парових турбін постійно вдосконалюються, але незважаючи на це їх ККД не перевищує 40 %. Основні втрати енергії в паровій турбіні виникають через неповне використання внутрішньої енергії пари. Пара, яка залишає парову турбіну, є досить гарячою. Її внутрішня енергія менша, ніж на вході в турбіну, але цієї енергії достатньо, щоб використати її, наприклад, для обігріву приміщень.

Втрати енергії в паровій турбіні будуть меншими за умови збільшення різниці температур пари, що входить до сопла, і пари, що виходить із турбіни.

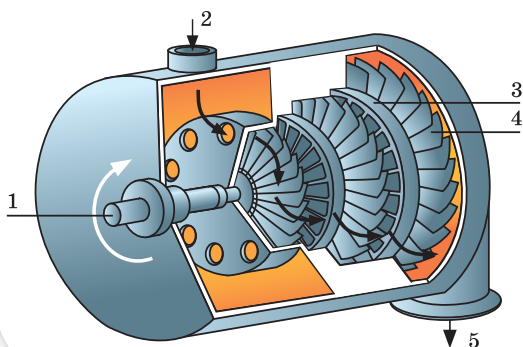
Для зменшення температури пари на виході з турбіни на її роторі розміщують систему дисків з лопатками — утворюється багатоступінчата турбіна. Виконавши роботу з обертання одного диска, пара дещо охолоджується і спрямовується на лопаті наступних дисків. Цей процес повторюється доти, поки пара охолочиться до температури близько 100 °С.

Промислові парові турбіни є тепловими двигунами великої потужності й використовуються на теплових й атомних електростанціях.

Крім електростанцій, парові турбіни можуть приводити в рух гвинти великих надводних морських суден і підводних човнів.

На відміну від парових, у газових турбінах ротор обертається під тиском гарячої газової суміші, яка утворюється внаслідок згорання рідкого палива в самій турбіні. Її конструкція є простішою, оскільки відбувається спрощений процес перетворення внутрішньої енергії газу в механічну енергію рухомого ротора турбіни. Це дає змогу не використовувати котел, в якому утворюється пара високої температури під час нагрівання води.

Сучасні газові турбіни розвивають потужність близько 150 МВт. Вони використовуються в газотур-



Мал. 68. Схема дії парової турбіни



Мал. 69. Потужна промислова багатоступінчата турбіна виробництва «Турбоатом»



Мал. 70. Пам'ятник паровій турбіні в м. Харкові

бінних силових генераторах теплових електростанцій, двигунах, що встановлюються на літаках.

Одне з найбільших у світі турбінобудівних підприємств «Турбоатом» розташоване в м. Харкові (мал. 69). Підприємство спеціалізується на виробництві парових турбін для теплових й атомних електростанцій, гідрравлічних турбін для гідроелектростанцій і гідроакумуючих електростанцій, газових турбін для теплових електростанцій.

Підбиваємо підсумки

- До теплових машин належать двигуни внутрішнього згорання, парові й газові турбіни, дизельні й турбореактивні двигуни та ін.



Я знаю, вмію і розумію



1. Які види двигунів внутрішнього згорання ви знаєте?
2. Назвіть процеси, що відбуваються в чотиритактному двигуні внутрішнього згорання.
3. Які бувають турбіни? Що покладено в основу дії парової турбіни? Де використовують турбіни?
4. Які переваги мають газові турбіни порівняно з паровими?



ПОЯСНІТЬ

1. У потужних двигунах внутрішнього згорання використовують водяне охолодження, а не повітряне. Чому?
2. Чому промислові парові турбіни роблять багатоступінчастими?

§22

Холодильні машини. Кондиціонери. Теплові насоси

Холодильні машини. Вивчаючи особливості теплообміну між тілами, ви побачили, що у природі теплота переходить від більш нагрітих тіл до менш нагрітих. За звичайних умов теплота самостійно не може переходити від менш нагрітих (холодніших) тіл до більш нагрітих. Про це свідчить і другий закон термодинаміки. Проте всі ви користуєтесь холодильниками, які охолоджують тіла. Як же вони працюють?

Річ у тім, що всі холодильні машини є різновидом теплових машин. У них енергія передається від одного тіла до іншого завдяки витратам енергії третього тіла, тобто виконання ним роботи. На відміну від інших теплових машин, які виконують роботу завдяки внутрішній енергії палива, у холодильних машинах внутрішня енергія тіла, що охолоджується, зменшується завдяки виконанню роботи іншим тілом.

Холодильною машиною, або холодильником, називають пристрій, у якому внутрішня енергія забирається в менш нагрітого тіла та передається тілу з більш високою температурою.

Можна вважати, що холодильна машина працює за принципом, «оберненим» до принципу дії теплової машини. Робоче тіло холодильної машини забирає теплоту Q_2 від охолоджувача й передає теплоту Q_1 нагрівнику, яким слугує навколишнє середовище (мал. 71). Для холодильної машини властиве співвідношення: $Q_1 = A + Q_2$, де Q_1 — теплота, що передається навколишньому середовищу; A — робота, яка виконується над робочим тілом холодильної машини; Q_2 — теплота, забрана від морозильної камери.

Дія побутового холодильника (мал. 72, с. 102) заснована на властивості рідин під час їх кипіння (випаровування) поглинати теплоту й віддавати її під час конденсації (перетворення пари знову в рідину). Подібне явище можна спостерігати, якщо протерти руки одеколоном. Рідина швидко випаровується, і зменшується її внутрішня енергія — відчувається прохолода.

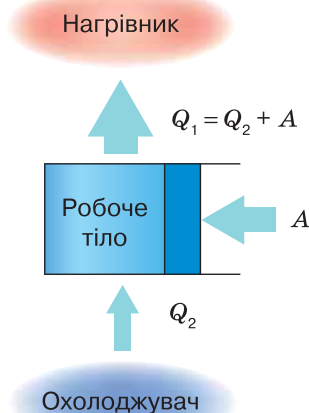
У холодильнику є спеціальна замкнена вигнута трубка-змійовик, усередині якої за допомогою насоса (компресора) циркулює

Ви дізнаєтесь

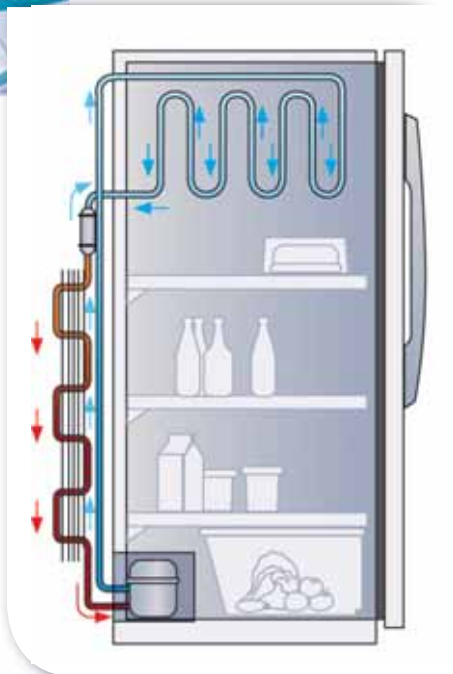
- Як працює холодильна машина, кондиціонер

Пригадайте

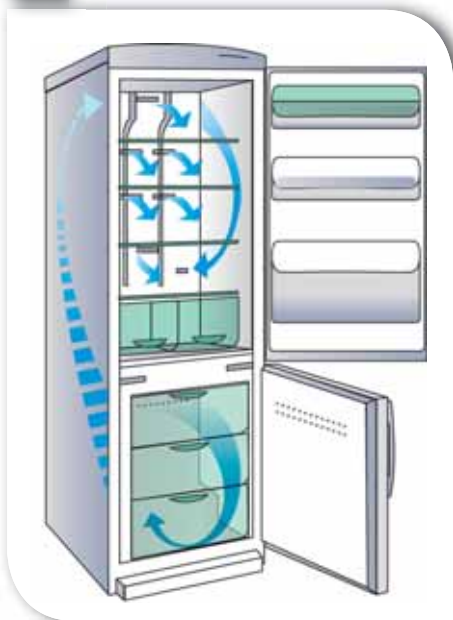
- Принцип дії теплової машини



Мал. 71. Принцип дії холодильної машини



а



б

Мал. 72. Побутові холодильники:
а — фреоновий; б — «No frost»

спеціальний зріджений газ (фреон), його називають холодоагентом.

Частина цієї трубки-змійовика розташована всередині холодильника, а частина — зовні. Коли рідкий фреон компресором прокачується по трубці-змійовику всередині холодильника (випарника), то він випаровується, перетворюється на газ і забирає теплоту від стінок змійовика, тобто охолоджує їх і весь простір усередині холодильника.

Коли той самий фреон тим же компресором подається в зовнішню частину трубки-змійовика (конденсатор), то він знову перетворюється в рідину (конденсується), віддає тепло, а потім знову надходить у випарник. За допомогою циркуляції холодоагенту в холодильнику постійно підтримується низька температура.

Сьогодні широко використовуються холодильники нового покоління із системою «Без інею» («No frost»), яка запобігає утворенню інею на внутрішніх робочих поверхнях і за якого холодильник не потребує ручного розморожування. У таких холодильниках випарник розміщують у нижній або верхній частині морозильної камери чи за нею. За допомогою турбіни (потужного електромотора з вентилятором) забезпечується циркуляція повітря, яке охолоджується випарником і по спеціальних повітряних каналах подається в морозильну та холодильну камери (мал. 72, б).

У побутових холодильниках підтримується температура від 0 до -6°C , у морозильних камерах — до -20°C , а у великих промислових холодильниках — до -40°C . Для отримання низьких температур у лабораторних умовах як охолоджувач використовують рідкий гелій, який за нормального атмосферного тиску кипить за температури -269°C .

Холодильні машини широко застосовуються у промисловості та побуті. Продукти харчування зберігають у побутових холодильниках і холодильних камерах. Для збереження і транспортування м'ясних і



а



б



Мал. 73. Холодильні установки: а — промисловий холодильник; б — залізничний та автомобільний рефрижератори

рибних продуктів використовують авторефрижератори, залізничні вагони-рефрижератори (мал. 73) та кораблі-рефрижератори.

Кондиціонер. Одним із видів холодильних машин, які сьогодні широко використовуються людиною, є кондиціонер — прилад, що працює за принципом холодильної машини й використовується для охолодження повітря.

За принципом дії кондиціонер схожий на холодильники системи «Без інею».

Кондиціонер складається із зовнішнього і внутрішнього блоків (мал. 74).

Зовнішній блок розміщують назовні будівлі (мал. 74, а). У зовнішньому блоці кондиціонера розташовують зовнішній вентилятор, конденсатор, компресор, регулятор потоку холодильного агенту. Внутрішній блок кондиціонера встановлюється всередині приміщень (мал. 74, б). Він складається з корпусу 1, фільтрів повітря 2, випаровувача 3, регуляторів напрямку потоку повітря 4, блока електронної системи керування 5, вентилятора. Випаровувач виготовляють у вигляді набору пластин або трубок, у яких відбувається випаровування холодильного агента.



а



б

Мал. 74. Кондиціонер: а — зовнішній блок; б — внутрішній блок

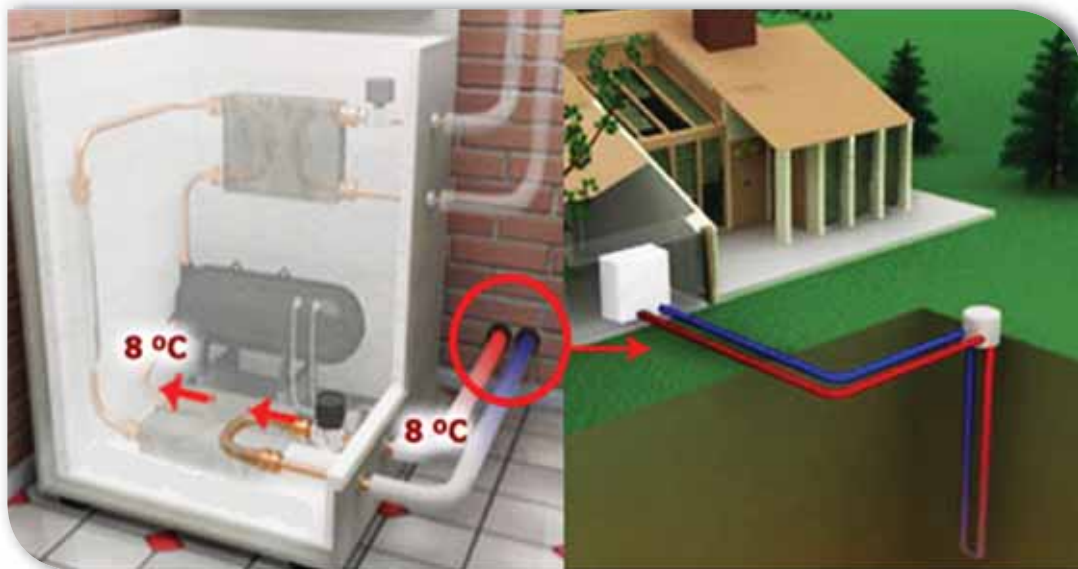
Сучасні кондиціонери виготовляють різних розмірів і функціонального призначення. Вони використовуються в побуті й на виробництві. Поширення набувають мобільні кондиціонери, які не потребують встановлення зовнішнього блока й легко переміщуються за потреби.

Теплові насоси. Тепловий насос працює за принципом, «оберненим» принципу дії теплової машини Карно. Уперше схему теплового насоса, що мав практичне значення, запропонував у 1852 р. лорд Кельвін, який назвав цей прилад «помножувачем тепла».

Прикладом теплового насоса є кондиціонер, який працює в режимі обігрівача. У цьому режимі тепловий агент тече в зворотному напрямку, у порівнянні з режимом охолодження повітря. Тепло відбирається в конденсаторі, розташованому назовні, і передається випаровувачу, нагріваючи повітря в приміщенні. Проте суттєвим недоліком використання кондиціонера як теплового насоса є досить обмежений температурний діапазон його роботи. Потужність обігріву зменшується зі зниженням температури зовнішнього середовища, оскільки стає складніше відбирати тепло. Тому сучасні кондиціонери рекомендується використовувати як теплові насоси за температури повітря не нижчої -5°C . Нові моделі кондиціонерів працюють на обігрів за температури до -10°C .

Усе більш популярними як альтернативні джерела теплової енергії стають ґрунтові та водні геотермальні теплові насоси. Принцип їхньої дії ґрунтується на тому, що труби з рідким тепловим агентом, що не замерзає, розміщують у свердловинах або водоймищах поблизу будівель (мал. 75).

Тепловий агент охолоджується в тепловому насосі (приблизно на 5°C) і повертається в ґрунт по трубі, де відновлює свою температуру. На вході теплового насоса рідина має більшу температуру, ніж на виході. Отримана різниця теплової енергії передається системі опалення або нагрівачеві води.



Мал. 75. Принцип дії ґрунтового геотермального теплового насоса

У сучасній теплоенергетиці теплові геотермальні насоси розглядаються як потужна альтернатива традиційним системам енергозабезпечення, що використовують теплові машини на природному органічному паливі. Тому одним із пріоритетних напрямів науково-практичних досліджень є створення високоенергетичних теплових насосів.

Підбиваємо підсумки

- Холодильні машини, кондиціонери, теплові насоси є різновидом теплових машин.
- Холодильна машина працює за принципом, «оберненим» до принципу дії теплової машини: робоче тіло холодильної машини забирає тепло Q_2 від охолоджувача й передає тепло Q_1 нагрівнику, яким слугує навколишнє середовище. Для холодильної машини властиве співвідношення:

$$Q_1 = Q_2 + A.$$

- У кондиціонері, так само як і в холодильниках, внутрішня енергія робочого тіла (холодильного агента) зменшується завдяки виконанню роботи іншим тілом (компресором).
- Тепловий насос — це пристрій, який передає тепло від середовища з меншою температурою до середовища з більш високою температурою.



Я знаю, вмію і розумію



1. Що таке холодильна машина? Який принцип її дії?
2. Які пристрої називають кондиціонерами?
3. Які фізичні явища лежать в основі принципу дії кондиціонера?
4. Де використовують кондиціонери в побуті та техніці?
5. Які прилади називають тепловими насосами? За яким принципом він працює?



ПОЯСНІТЬ

1. У чому відмінність принципу дії холодильної і теплової машин?
2. Чому як робоче тіло в холодильних машинах використовують зріджені гази, які киплять за низьких температур?



Перевірте себе (§ 18–26)



Рівень А (початковий)

1. Оберіть формулу, за якою визначають кількість теплоти, що необхідна для плавлення твердого тіла (за температури плавлення).

А $Q = cm\Delta t$

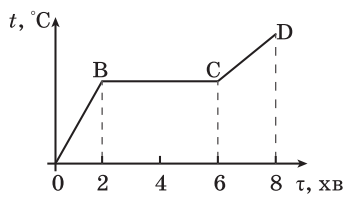
Б $Q = Lm$

В $Q = qm$

Г $Q = \lambda m$

2. На великих теплових електростанціях застосовують...
 - А двигуни внутрішнього згорання
 - Б реактивні двигуни
 - В парові турбіни
 - Г ядерні реактори
3. Що відбувається з температурою речовини під час її плавлення?
 - А збільшується
 - Б зменшується
 - В не змінюється
 - Г для одних речовин — збільшується, для інших — зменшується
4. Процес переходу речовини з рідкого агрегатного стану у твердий називається...
 - А випаровуванням
 - Б конденсацією
 - В кристалізацією
 - Г сублімацією
5. Речовини, які не мають сталої температури плавлення, називають...
 - А кристалічними
 - Б аморфними
 - В монокристалами
 - Г полікристалами
6. Двигун виконав роботу, яка дорівнює 100 кДж, віддавши в довкілля 300 кДж теплоти. Який ККД цього двигуна?
 - А 30 %
 - Б 23 %
 - В 33 %
 - Г 25 %

Рівень В (середній)

1. За один цикл тепловий двигун виконав роботу, що дорівнює 5 МДж, віддавши в навколишнє середовище 700 кДж теплоти. Скільки тепла отримав двигун на початку циклу?
 - А 6,95 МДж
 - Б 5,7 МДж
 - В 705 кДж
 - Г 570 кДж
2. Скільки часу триває плавлення твердої кристалічної речовини, яка має графік залежності температури від часу, що зображений на малюнку?
 
 - А 2 хв
 - Б 4 хв
 - В 6 хв
 - Г 8 хв
3. Яка кількість теплоти виділяється внаслідок конденсації 2 кг водяної пари, якщо її температура 100 °C?
 - А 4,6 МДж
 - Б 46 МДж
 - В 23 000 кДж
 - Г 46 кДж

Рівень С (достатній)

1. Укажіть назву палива, яке згораючи виділить більшу кількість теплоти.
А нафта
Б торф
В дрова
Г кам'яне вугілля
2. У калориметрі міститься вода масою 1 кг за температури 30 °С. У нього уміщують лід за температури 0 °С. Якою повинна бути маса льоду, щоб він увесь розтанув?
3. Яку кількість теплоти потрібно затратити, щоб 2 кг води за температури 30 °С нагріти до кипіння і 200 г випарувати?

Рівень D (високий)

1. Яка кількість теплоти необхідна, щоб з льоду масою 5 кг за температури –10 °С одержати воду температурою 100 °С?
2. Автомобіль проїхав 100 км і витратив 6 л бензину. Якою є сила тяги двигуна автомобіля, якщо його ККД 26 %?



Фізика атмосфери

Що таке метеорологія. Атмосфера — це газова оболонка, що оточує Землю. Наявність атмосфери — одна з найголовніших умов життя на планеті. Без їжі людина може обходитися місяць, без води — тиждень, а без повітря не проживе й кількох хвилин.

Сила земного тяжіння зумовлює тиск атмосфери біля поверхні, а також перешкоджає розльоту атмосферних газів у космічний простір.

Атмосфера, як елемент глобальної екосистеми, виконує кілька основних функцій:

- захищає живі організми від згубного впливу космічних випромінювань та ударів метеоритів;
- регулює сезонні й добові коливання температури (якби на Землі не існувало атмосфери, то добові коливання температури сягали б ± 200 °С);
- є носієм тепла й вологи;
- є депо газів, які беруть участь у фотосинтезі й забезпечують дихання;

Ви дізнаєтесь

- Про фізичні властивості атмосфери Землі

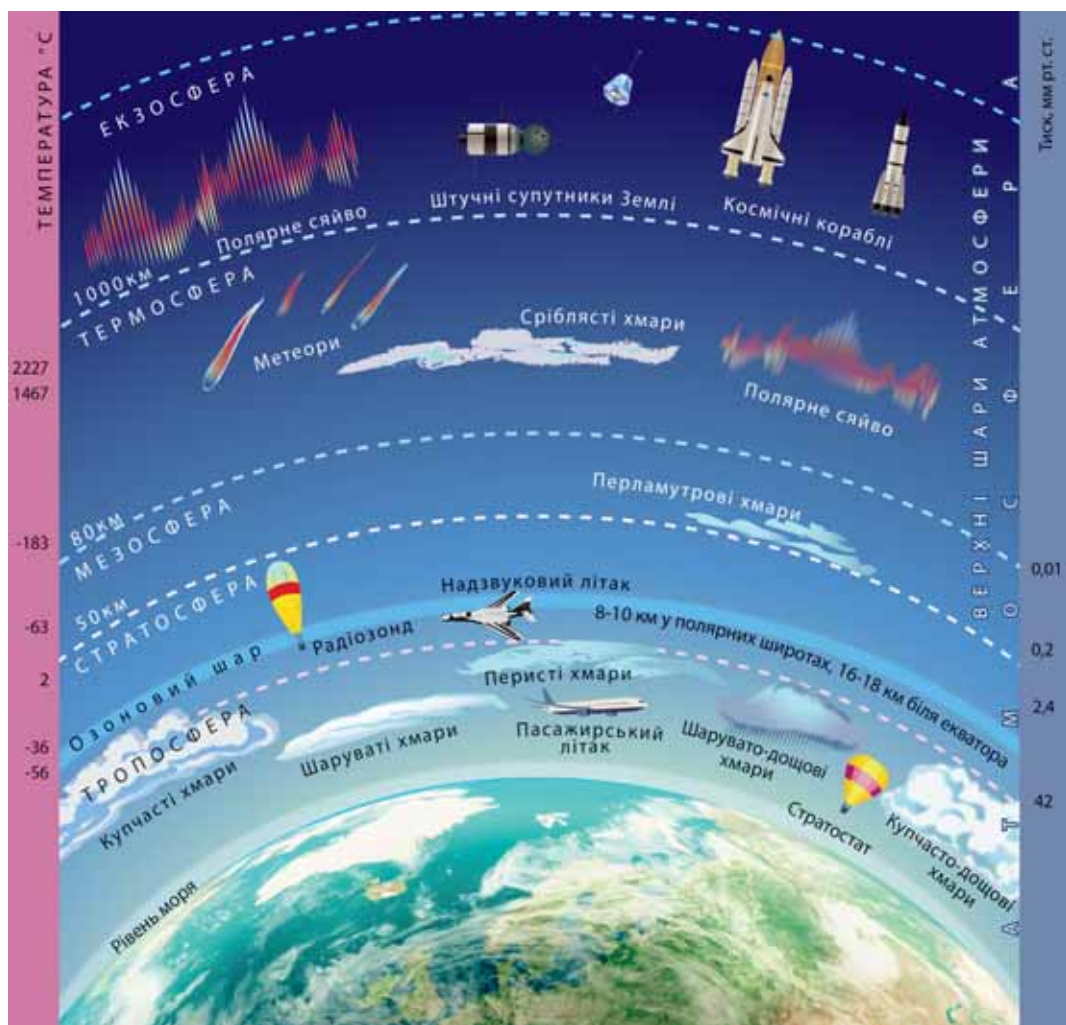
Пригадайте

- Що вам відомо про атмосферу Землі з уроків географії

- зумовлює низку складних екзогенних процесів (вивітрювання гірських порід, діяльність природних вод, мерзлоти, льодовиків тощо).

Як бачимо, атмосфера є об'єктом дослідження багатьох наук: географії, хімії, біології, екології, фізики. Існує і спеціальна наука про земну атмосферу — **метеорологія** (від грец. *meteoron* — «високо в небі» та грец. *logos* — «знання»).

Фізика атмосфери, як розділ метеорології, вивчає фізичні закономірності процесів і явищ, що відбуваються в атмосфері, зокрема будову атмосфери, властивості газів, що є складовими атмосфери, поглинання і випромінювання ними радіації, розподіл температури й тиску, випаровування і конденсацію водяної пари, утворення хмар й опадів, різні форми руху в атмосфері, електричні поля, оптичні й акустичні явища.

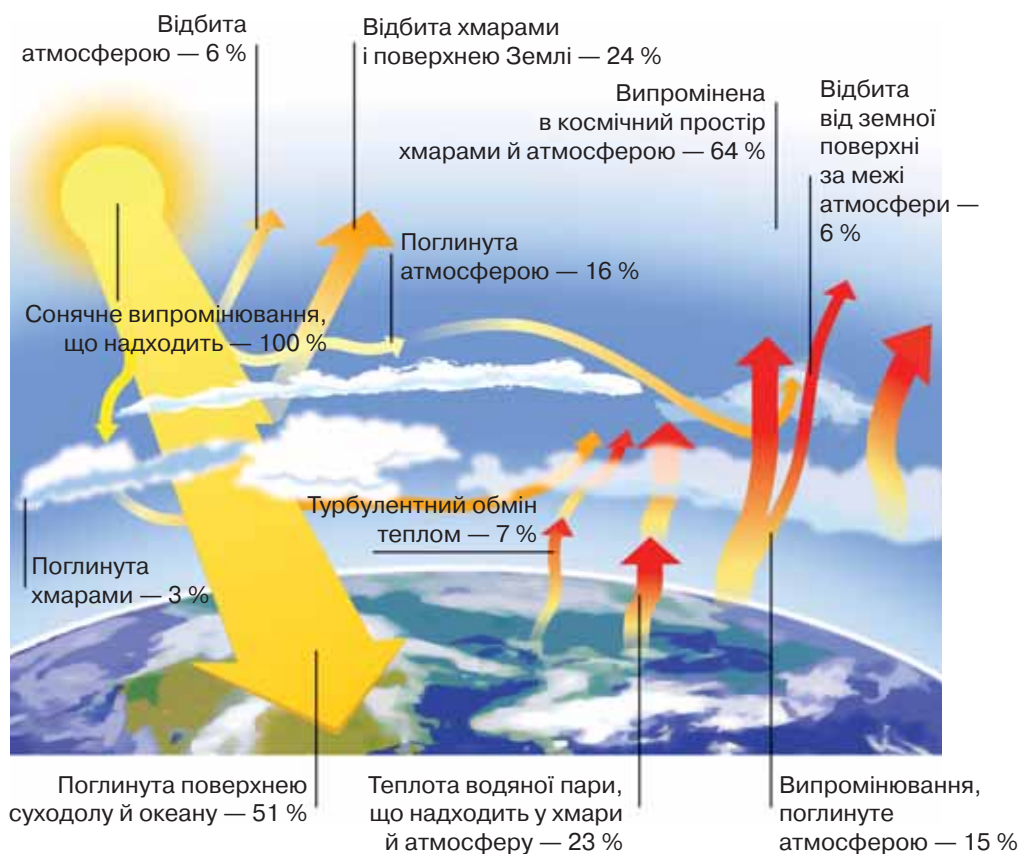


Мал. 76. Будова атмосфери

Структура і склад атмосфери. Атмосферу поділяють на такі шари (знизу вгору): тропосфера (до висоти 18 км), стратосфера (до 50 км), мезосфера (до 80 км), термосфера (1000 км), екзосфера (1900 км), геокорона (умовно до 20 тис. км) (мал. 76). Далі атмосфера поступово переходить у міжпланетний космічний вакуум.

Основна маса повітря (90 %) зосереджена в нижньому шарі — тропосфері. Маса повітря приблизно дорівнює $5 \cdot 10^{18}$ кг, а це, для порівняння, у 266 разів менше від маси води, яка є на нашій планеті, і становить мільйонну частку всієї маси Землі.

Основні компоненти повітря: азот N_2 — 78 % і кисень O_2 — 21 %, а також невелика кількість вуглекислого газу, водню та інших газів. Уміст водяної пари у повітрі постійно змінюється (від 0,2 до 3 %) залежно від її агрегатного стану. Крім газів, у повітрі містяться ще й домішки так званих аерозолів, тобто дуже дрібних крапель рідин і твердих частинок як природного, так і штучного походження. Від їхньої кількості й різновиду залежать процеси поглинання і розсіювання сонячної радіації, виникнення окремих оптичних явищ в атмосфері тощо.



Мал. 77. Схема теплообмінних процесів в атмосфері

З висотою різко зменшуються густина й атмосферний тиск, а температура змінюється нерівномірно та складно. Зміна температури в межах атмосфери на різних висотах пояснюється неоднаковим поглинанням сонячної енергії газами.

Тропосфера — найближчий до нас нижній шар атмосфери. Висота верхньої межі тропосфери залежить від температури: узимку вона ближче до земної поверхні, улітку — далі від неї. Найінтенсивніше теплові процеси протікають у тропосфері, причому атмосфера нагрівається знизу, від поверхні океану та суходолу. У тропосфері міститься до 80 % вологи всієї атмосфери. Для тропосфери характерне постійне вертикальне перемішування повітря, — тут утворюються хмари, звідси випадають опади.

Стратосфера характеризується низьким тиском, розрідженням повітря, повною відсутністю водяної пари та значним умістом озону (O_3) — хімічно активного газу синього кольору з різким запахом. Озоновий шар має надзвичайно важливе екологічне значення для біосфери. Він розташований на висоті 20–50 км і захищає все живе на Землі від згубної дії «жорсткого» ультрафіолетового випромінювання Сонця. Озоновий шар поглинає близько 97 % ультрафіолетового компонента сонячної радіації, небезпечного для організмів.

Теплообмінні процеси в атмосфері. У тропосфері відбуваються всі основні теплообмінні процеси (мал. 77, с. 109). Майже 90 % тепла постійно циркулює між поверхнею Землі та тропосферою. Цей механізм підігріву земної поверхні та нижніх шарів атмосфери називають *парниковим ефектом*. Парниковий ефект виникає через присутність в атмосфері Землі певних газів, які не пропускають у космос інфрачервоне випромінювання від поверхні нашої планети. До таких газів належить вуглекислий газ і водяна пара.

Водний баланс. Розвиток гідросфери також значною мірою залежав від атмосфери через те, що водний баланс і режим поверхневих і підземних басейнів й акваторій формувався під впливом режиму опадів і випаровування. Процеси гідросфери й атмосфери тісно пов'язані між собою. Вода випаровується з поверхні океанів, рік, озер, боліт, ґрунту, а також рослин. Вона накопичується в атмосфері у формі водяної пари.

Наявність водяної пари в атмосфері Землі зумовлює *вологість повітря*.

Вологість, тобто ступінь насичення повітря водяною парою, характеризують такими величинами. *Абсолютна вологість* — це кількість водяної (у кілограмах) пари, яка міститься в 1 м^3 повітря, тобто її густина. *Відносна вологість повітря* — це відношення абсолютної вологості до тої маси водяної пари, яка насичує повітря за такої самої температури. Як правило, відносну вологість виражають у відсотках. Абсолютна вологість переважно збільшується з підвищенням температури повітря. Відносна вологість із підвищенням температури зменшується; вона менша влітку та більша взимку. У межах України відносна вологість у середньому становить 65–75 %.

Вологість повітря постійно впливає на самопочуття людини. Для нормальної життєдіяльності за добу з поверхні шкіри та легенів людини випаровується в середньому від 800 до 2000 г води. У гарячому вологому повітрі процес випаровування води з поверхні шкіри людини послаб-

люється, водночас порушується і нормальний тепловий обмін в організмі. Тому за великої вологості й високої температури в людини з'являється кволість, зменшується її працездатність.

Інтенсивність випаровування з водних басейнів планети визначається в основному температурою, вологістю повітря і силою вітру й тому сильно змінюється від місця до місця. Велика частина атмосферної водяної пари надходить з теплих тропічних і субтропічних морів й океанів.

Водяна пара виноситься нагору й поширюється в атмосфері повітряними потоками. У міру того як тепле вологе повітря піднімається нагору, воно розширюється в результаті зниження тиску у високих шарах атмосфери й охолоджується. Подальший його підйом й охолодження спричинюють конденсацію надлишкової вологи на дрібних зважених у повітрі частинках і утворення хмар, що складаються з крапельок води.

Усередині хмар краплі падають, зіштовхуються і зливаються з іншими краплинами. Якщо крапля в хмарі проходить відстань близько 1 км, вона може стати досить важкою і випасти з неї дощовою краплею.

Дощ може утворюватися ще й інакше. Краплі у верхній, холодній, частині хмари можуть залишатися навіть за температури набагато нижчої від 0°C — звичайної температури замерзання води. Такі краплі води, що називаються переохолодженими, будуть кристалізуватися, тільки якщо в них є особливі частинки, що є центрами кристалізації. Замерзлі краплі розростаються в крижані кристали, а кілька крижаних кристалів можуть об'єднатися і утворити сніжинку. Сніжинки проходять крізь хмару й у холодну погоду досягають Землі у вигляді снігу. Однак у теплу погоду вони тануть і досягають поверхні у формі дощових крапель.

Кількість атмосферних опадів, що досягають поверхні Землі в певній місцевості у вигляді дощу, граду або снігу, оцінюється товщиною шару води (у міліметрах). Середня річна кількість опадів на всій поверхні Землі — близько 910 мм.

Підбиваємо підсумки

- Атмосфера — це газова оболонка, що оточує Землю.
- Основна маса повітря (90 %) зосереджена в нижньому шарі — тропосфері, у якій здійснюються основні теплообмінні процеси. Основні компоненти повітря: азот N_2 — 78 % і кисень O_2 — 21 %, а також невелика кількість вуглекислого газу, водню та інших газів. Уміст водяної пари в повітрі постійно змінюється (від 0,2 до 3 %).
- Найвнішність водяної пари в атмосфері Землі зумовлює вологість повітря.

Я знаю, вмію і розумію



1. Назвіть структуру атмосфери.
2. Назвіть основні складові повітря.
3. Яка роль озонового шару для біосфери?
4. Що таке вологість повітря?



§24

Рідкі кристали

Ви дізнаєтесь

- Про особливі різновиди речовин

Пригадайте

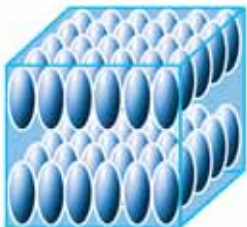
- Характеристики речовин, що перебувають у твердому й рідкому агрегатних станах

Рідкі кристали і їхні властивості. Наприкінці XIX ст. вчені відкрили речовини, які в певному температурному інтервалі можуть перебувати в проміжному агрегатному стані, який є подібним як до твердого, так і до рідкого. Ці речовини називають *рідкими кристалами*, а проміжний стан, у якому вони перебувають, — рідкокристалічним. У таких речовин дальній порядок у розташуванні молекул спостерігається лише в одному напрямку, а у двох інших напрямках є тільки ближній порядок. Тобто речовини мають ніби ниткоподібну структуру (мал. 78). Хоча ці речовини плинні подібно до звичайних рідин, проте їм властива наявність значних сил міжмолекулярної взаємодії, тому вони зберігають сталим свій об'єм.

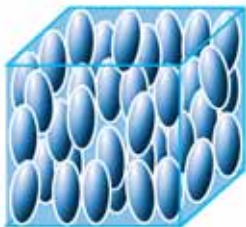
Рідкі кристали мають анізотропію фізичних властивостей так само, як тверді кристали.

Для кожної рідкокристалічної речовини є певний інтервал температур, за якого вона може існувати, оскільки значне підвищення температури спричиняє руйнування порядку в орієнтації молекул, і рідкий кристал перетворюється на звичайну рідину.

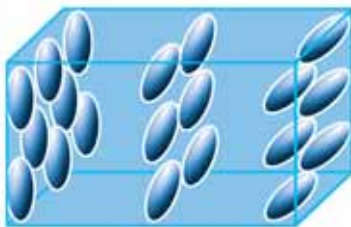
Використання рідких кристалів. Завдяки поєднанню властивостей твердих кристалів і рідин рідкокристалічним тілам властива висока чутливість до зовнішніх впливів (температури, тиску, електричного й магнітного полів). Тому їх використовують у різних електронних приладах і датчиках. Крім того, оскільки під впливом електричного поля деякі рідкі кристали змінюють колір, їх широко застосовують у виробництві диспле-



а



б



в

Мал. 78. Особливості розташування молекул рідкокристалічних тіл:
а — смектичний порядок; б — нематичний порядок; в — холестеричний порядок.

їв електронних годинників, комп'ютерів, термометрів, плоских екранів телевізорів і в багатьох інших сучасних електронних технічних та побутових приладах і пристроях (мал. 79).

Рідкі кристали нині інтенсивно досліджують у багатьох наукових закладах як унікальні матеріали для сучасних електричних пристроїв. Рідкі кристали надзвичайно цікаві та дивовижні. Наразі відомо понад десять тисяч органічних сполук, які є рідкими кристалами, і вивчено понад 3000 речовин, що утворюють рідкі кристали. До них належать речовини біологічного походження, наприклад ДНК (дезоксирибонуклеїнова кислота), що несе код спадкової інформації, і речовина мозку. Подальші дослідження цих речовин не тільки розширюють їх застосування, а й допомагають проникнути в таємниці біологічних процесів.

Одним з напрямів, над якими працюють фахівці з рідких кристалів, є розроблення гнучких дисплеїв й електронних книжок, газет і журналів. Сучасні технології дають змогу виготовляти надтонкі дисплеї комп'ютерів і телевізорів. У найближчому майбутньому дисплей комп'ютера матиме товщину, меншу ніж 1 мм, і буде абсолютно гнучким, як папір! Отже, фізика рідких кристалів є перспективною наукою, що динамічно розвивається і в якій кожен із вас зможе зробити нові відкриття. Тож навчайтеся наполегливо!



Мал. 79. Використання рідких кристалів

Підбиваємо підсумки

- Рідкі кристали — це речовини, які в певному температурному інтервалі можуть перебувати у специфічному агрегатному стані, у якому вони одночасно проявляють властивості кристала й рідини.
- Властивості рідких кристалів, притаманні рідинам: набувають форми посудини; відсутня кристалічна ґратка, тому течуть і є в'язкими.
- Рідким кристалам притаманні властивості кристалів: наявність порядку просторової орієнтації молекул, анізотропність.
- Рідкі кристали інтенсивно досліджують у багатьох наукових закладах як унікальні матеріали для сучасних електричних пристроїв.



1. Які речовини називають рідкими кристалами?
2. Назвіть основні властивості рідких кристалів.
3. Наведіть приклади речовин, що є рідкими кристалами.
4. Назвіть галузі застосування рідких кристалів.



Полімери



Ви дізнаєтесь

- Про особливі різновиди речовин



Пригадайте

- Характеристики речовин, що перебувають у твердому й рідкому агрегатних станах

Будова та властивості полімерів. У практичній діяльності людини великого значення набули аморфні речовини, які називають *полімерами*.

Полімери — природні та штучні сполуки, молекули яких складаються з великої кількості повторюваних однакових або різних за будовою атомних угруповань, з'єднаних між собою в довгі лінійні або розгалужені ланцюги. Структурні одиниці, з яких складаються полімери, називають мономерами (мал. 80).



Молекули етилену — мономери



Поліетилен — полімер

Мал. 80. Схематичне зображення мономерів і полімеру



Мал. 81. Приклади полімерів і полімерних матеріалів

Особливі властивості полімерів: еластичність — здатність до поновлення форми після значних деформацій; порівняно низька крихкість склоподібних і кристалічних полімерів (пластмаси, органічне скло); здатність молекул змінювати орієнтацію у просторі внаслідок механічного впливу (використовується у виробництві волокон і плівок); вони хороші електро- та теплоізолятори. Полімери мають високу в'язкість розчинів і здатні змінювати свої властивості навіть у разі незначних домішок (вулканізація каучуку, дублення шкіри). Недоліком багатьох полімерів є схильність до старіння.

За походженням полімери поділяють на *природні (натуральні)*, до яких належить велика група: білки, крохмаль, целюлоза, натуральний каучук, природний графіт та ін.; *синтетичні* — утворені синтезом з мономерів: поліетилен, полістирол; *штучні* — утворені з природних полімерів шляхом їх хімічної модифікації (наприклад, унаслідок взаємодії целюлози з азотною кислотою утворюється нітроцелюлоза) (мал. 81).

Практичне використання полімерів. Людина вже давно використовує полімерні матеріали у своєму житті, наприклад шкіру, хутро, вовну, шовк, вапно та цемент. У наш час завдяки цінним властивостям полімери використовуються в машинобудуванні, текстильній промисловості, сільському господарстві, медицині, автомобіле-, судно- й авіабудуванні та в побуті (мал. 82, с. 116).

З полімерів виготовляють волокна, лакофарбові покриття і плівки. Головна галузь використання плівкових полімерних матеріалів у сільському господарстві — будівництво й експлуатація плівкових теплиць, які дають змогу вирощувати продукцію цілий рік.

Використання полімерних матеріалів у машинобудуванні зростає настільки швидкими темпами, що їм немає аналогів в історії людства. Полімерам стали «довіряти» найвідповідальніші завдання, виготовляти з них дедалі більше складних і багатофункціональних деталей машин і механізмів, наприклад, полімери почали застосовувати у виробництві великогабаритних корпусних деталей машин і механізмів, що несуть значні навантаження. І ще один факт: чверть усіх дрібних суден і катерів, шлюпок, човнів тепер будується



Мал. 82. Використання полімерів і полімерних матеріалів

з пластичних мас. Майже три чверті внутрішнього оздоблення салонів легкових автомобілів, автобусів, літаків, суден і пасажирських вагонів виконується нині з декоративних пластиків, синтетичних плівок, тканин, штучної шкіри. Більше того, для багатьох машин й апаратів тільки використання антикорозійного покриття із синтетичних матеріалів забезпечило їх надійну, довгострокову експлуатацію навіть в екстремальних умовах космосу.

Підбиваємо підсумки

- Полімерами називають природні та штучні сполуки, молекули яких складаються з великої кількості повторюваних однакових або різних за будовою атомних угруповань, з'єднаних між собою в довгі лінійні або розгалужені ланцюги.
- За походженням полімери поділяють на природні (натуральні), синтетичні та штучні.



Я знаю, вмію і розумію



1. Які речовини називають рідкими полімерами?
2. Наведіть приклади штучних полімерів.
3. Наведіть приклади синтетичних полімерів.
4. Назвіть галузі застосування полімерів, їх переваги й недоліки.



ПОЯСНІТЬ



Які екологічні загрози можуть виникати внаслідок неправильного й недбалого використання полімерних матеріалів? Чому?

§ 26

Наноматеріали

Будова та властивості наноматеріалів. Основи нанотехнологій, як вважає значне число експертів, заклав лауреат Нобелівської премії Р. Фейнман у 1959 р. Відлік почався із засідання Американського фізичного товариства, де Р. Фейнман прочитав свою лекцію «Там, унизу, є багато вільного місця». Що мається на увазі? Ідеться про проблему контролю і управління будовою речовини в інтервалі дуже малих розмірів.

Нанотехнології — міждисциплінарні технології, що розроблені для об'єктів із розмірами, меншими за один мікрон, і дають змогу проводити дослідження, маніпуляції і обробку речовин у діапазоні розмірів від 0,1 до 100 нанометрів.

Основою наноматеріалів є наночастинки, розміри яких у мільярд разів менші від 1 м, або в мільйон разів менші від 1 мм. Наночастинка у стільки ж разів менша від лінійки завдовжки 1 м, у скільки разів товщина пальця менша від діаметра Землі. Більшість атомів мають діаметр від 0,1 до 0,2 нм. Найменші молекули мають розмір близько 1 нм.

Наноматеріал — це не один «універсальний» матеріал, чи просто дуже дрібні («нано») частинки, а великий клас різних матеріалів. Прикладом наноматеріалів є вуглецеві нанотрубки (мал. 83, с. 118).

У 1991 р. японський учений Суміо Ідзжима виявив довгі вуглецеві структури, які одержали назву *нанотрубок*. Нова молекулярна форма вуглецю відкрила цілу серію нових і несподіваних фізичних, механічних і хімічних властивостей. Ці унікальні властивості зробили нанотрубки ключовим елементом нанотехнологій. Нанотрубки можуть використовуватися для виготовлення молекулярних електронних пристроїв, нанотранзисторів й елементів пам'яті обчислювальних пристроїв. Вуглецеві нанотрубки набагато міцніші за графіт, хоча складаються з таких самих атомів Карбону. Ви вже знаєте, що в графіті атоми Карбону розташовані пошарово. Проте вам також відомо, що згорнутий у трубочку аркуш паперу набагато складніше зігнути й розірвати, ніж звичайний аркуш. Ось чому нанотрубки мають таку міцність. Завдяки унікальним механічним властивостям нанотрубок можна виготовляти вуглецеві матеріали надзвичайної міцності для автомобільної і аерокосмічної промисловості.

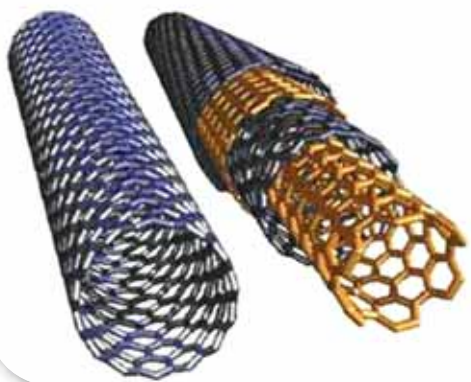
Ще однією формою з'єднання молекул вуглецю є фулерени, які являють собою опуклі замкнуті багатогранники, складені з парного числа атомів вуглецю (мал. 84). Своєю назвою ці сполуки зобов'язані інженеру

Ви дізнаєтесь

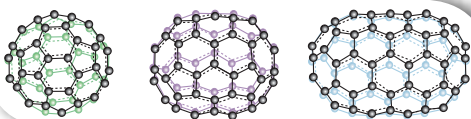
- Про особливі різновиди речовин

Пригадайте

- Характеристики частинок речовин



Мал. 83. Схематичне зображення одношарової (ліворуч) і багатшарових (праворуч) вуглецевих нанотрубок



Мал. 84. Фулерени

та дизайнеру Річарду Фуллеру, чий геодезичні конструкції побудовано за цим принципом.

Фулерен — винятково стійке з'єднання. У кристалічному вигляді він не реагує з киснем повітря, стійкий до дії кислот і лугів. Фулерен має змогу утворювати сполуки, використовуючи внутрішню порожнину вуглецевої кулі, діаметр якої достатній, щоб у ній міг розміститися атом металу чи невелика молекула. Отже, відкривається шлях до одержання хімічних сполук зовсім нового типу, де атом механічно утримується всередині замкненого середовища.

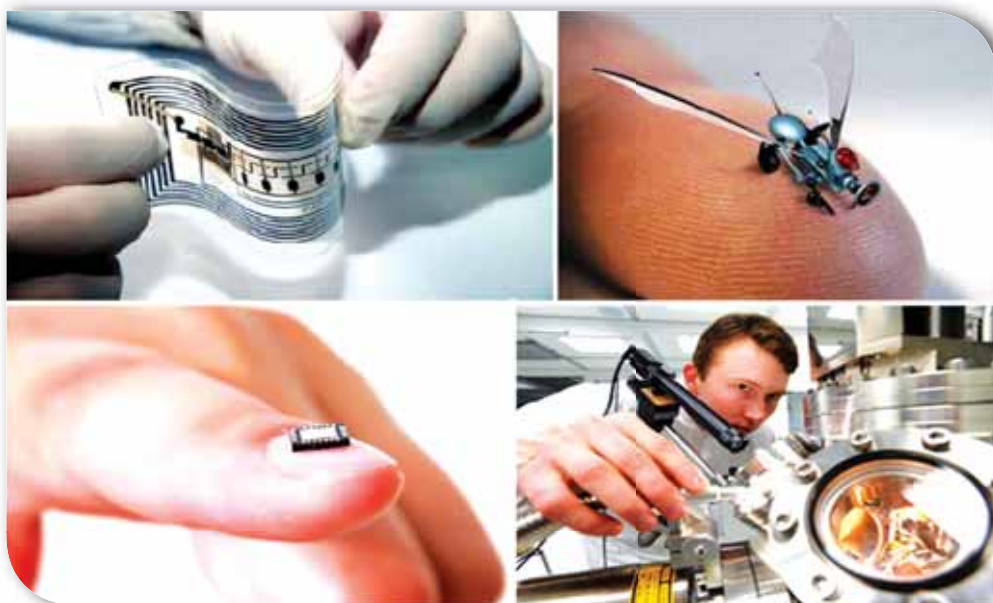
Одним з методів, що використовується для вивчення нанооб'єктів, є скануючо-зондна мікроскопія. За допомогою скануючо-зондного мікроскопа можна не тільки побачити окремі атоми, а й вибірково впливати на них, зокрема, переміщувати атоми по поверхні. Ученим уже вдалося створити двовимірні наноструктури на поверхні, використовуючи цей метод. Наприклад, у дослід-

ницькому центрі компанії з дослідження наноматеріалів, послідовно переміщаючи атоми Ксенону по поверхні монокристала нікелю, співробітники змогли викласти логотип компанії, використовуючи 35 атомів Ксенону.

Практичне використання наноматеріалів. У найближчі роки прогнозується прискорений розвиток нанотехнологій та виготовлення і використання нових наноматеріалів, що забезпечить істотні зміни в таких галузях промисловості, як машинобудування, оптоелектроніка, мікроелектроніка, автомобільна промисловість, а також сільське господарство, медицина й екологія (мал. 85).

Завдяки специфічним властивостям наночастинок наноматеріали перевищують «звичайні» за багатьма параметрами. Наприклад, міцність металу, одержаного за допомогою нанотехнологій, перевищує міцність звичайного в 1,5–3 рази, стійкість до корозії більша в 10–12 разів, крім того, такий метал у 50–70 разів твердіший за звичайний.

Створення нанопорошків дасть змогу одержувати керамічні матеріали, надпровідники, сонячні батареї, фільтри й багато інших технічних засобів з новими фізичними та хімічними властивостями. Нанотехнології дають змогу створювати матеріали із самоочисними, водовідштовхувальними й іншими корисними властивостями.



Мал. 85. Використання наноматеріалів

Підбиваємо підсумки

- Наноматеріалами називають матеріали, основні фізичні характеристики яких визначаються властивостями нанооб'єктів, що містяться в них. Це кристалічні або аморфні системи, розмір частинок яких менший від 100 нм.
- Сучасна наука класифікує такі види наноматеріалів: наночастинки; фулерени; нанотрубки та нановолокна; нанопористі структури (речовини); нанодисперсії; наноплівки; нанокристалічні матеріали.

Я знаю, вмію і розумію



1. Що означає частка *нано*?
2. Які особливості наноматеріалів?



ПОЯСНІТЬ

У чому, на вашу думку, полягає необхідність розвитку нанотехнологій?

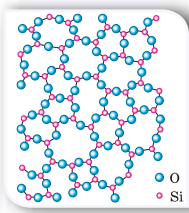


Підсумки до розділу «Теплові явища. Теплові машини та механізми»

Після вивчення розділу «Теплові явища. Теплові машини та механізми» вам стали більш зрозумілими ті природні та штучні явища і процеси, що пояснюються особливостями руху й взаємодії часток речовини, її внутрішньою будовою. Ваші знання теплових явищ і процесів будуть більш цілісними й операційними, коли ви навчитеся їх систематизувати, застосовувати загальні принципи, теорії, ідеї до аналізу конкретних питань і практичного втілення знань у конкретних життєвих ситуаціях. Особливо такі вміння стануть у пригоді в ситуаціях, коли вам потрібно буде діяти не за інструкцією, а шукати неординарні способи вирішення проблем.

1. Ви можете описати деякі фізичні характеристики речовини, що пояснюються тепловим рухом.

Тепловим рухом називають безперервний, неупорядкований (хаотичний) рух молекул й атомів.

Фізичні характеристики	Агрегатні стани речовини			
	Тверді тіла		Рідини	Гази
	Кристалічні	Аморфні		
Розташування молекул у речовині				
	Молекули розміщені близько одна до одної — відстані між ними сумірні з розмірами самих молекул		Молекули розташовані досить щільно одна до одної, на відстанях, сумірних із розмірами самих молекул	Молекули розташовані безладно. Відстань між молекулами набагато більша за їхні розміри
	Дальній порядок — упорядковане розташування в усьому об'ємі		Ближній порядок — упорядковане розташування тільки між сусідніми молекулами	
Характер теплового руху	Молекули коливаються відносно деяких стабільних положень			Вільно й хаотично рухаються
			Можуть здійснювати поступальні рухи	

Продовження таблиці

Фізичні характеристики	Агрегатні стани речовини			
	Тверді тіла		Рідини	Гази
	Кристалічні	Аморфні		
Характер взаємодії молекул	Діють міжмолекулярні сили притягання і відштовхування			Молекули слабо взаємодіють між собою
Форма й об'єм	Мають задану форму й об'єм		Зберігає об'єм, але не тримає форми. Має вільну поверхню	Не зберігають ані форми, ані об'єму. Легко стискаються (або розширюються)
	Рідкі кристали — це речовини, для яких характерне особливе розташування молекул: у двох напрямках для молекул характерним є ближній порядок, а в одному — існує певна впорядкованість. Плазма — різновид газоподібного стану. Складається з йонів та окремих електронів			
Внутрішня енергія	Визначається середнім значенням потенціальної енергії взаємодії молекул (атомів)		Визначається сумою середніх значень кінетичної і потенціальної енергій руху та взаємодії молекул (атомів)	Визначається середнім значенням кінетичної енергії руху молекул (атомів)
Теплопровідність	Найкращу теплопровідність мають метали, найгіршу — пористі матеріали			Практично не проводять тепло
Залежність властивостей від температури	За нагрівання (що не перевищує критичних значень температур) розширюються (без зміни агрегатного стану)			
	За температури плавлення переходять у рідкий стан	Починають плавитись від початку нагрівання	За температури кипіння переходять у газоподібний стан	За дуже великих температур переходять у стан плазми
			За охолодження (до температури плавлення) тверднуть	За охолодження (до температури кипіння) конденсуються (зріджуються)

Ви можете зауважити, що в таблиці подано не всі фізичні характеристики речовини, адже вам доводилося чути, що метали проводять електричний струм, а діелектрики — ні, що вода та скло прозорі й крізь них може проходити світло, що уран — радіоактивний елемент. Це справді так. Розширювати свої знання про фізичні властивості речовини ви будете під час вивчення інших розділів фізики. У цьому розділі ви розглянули властивості, що пояснюються на молекулярному (атомарному) рівні, без урахування внутрішньої будови частинок речовини.

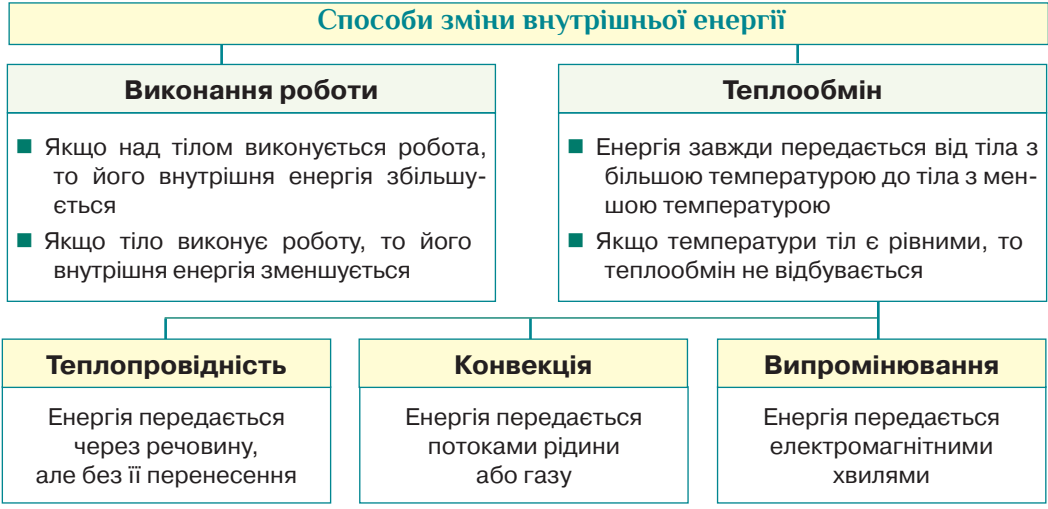
2. Ви вмієте описувати теплові характеристики тіл і теплові процеси за допомогою відповідних фізичних величин.

Назва фізичної величини	Визначення	Символ для позначення	Прилад для вимірювання / одиниця	Формула для визначення
Температура	Фізична характеристика теплового стану речовини, з якої складається тіло; визначається середньою кінетичною енергією хаотичного руху частинок речовини	За шкалою Цельсія позначають літерою t	Побутовий термометр / градус Цельсія ($^{\circ}\text{C}$)	—
		За шкалою Кельвіна — літерою T	Термометри / кельвін (К) (основна одиниця температури в СІ)	$T = t + 273,15$
Коефіцієнт лінійного розширення	Показує, на яку частку змінюється довжина тіла відносно його початкової довжини внаслідок зміни температури на 1°C	α	$\frac{1}{^{\circ}\text{C}}$	$\alpha = \frac{\Delta l}{l_0 \Delta t}$
Коефіцієнт об'ємного розширення	Показує, на яку частку змінюється об'єм тіла відносно його початкового об'єму в разі зміни температури тіла на 1°C	β	$\frac{1}{^{\circ}\text{C}}$	$\beta = \frac{\Delta V}{V_0 \Delta t}$
Внутрішня енергія	Енергія руху та взаємодії частинок, з яких складається речовина	U	Дж (джоуль)	—
Кількість теплоти	Частина внутрішньої енергії, яку дістає чи втрачає тіло внаслідок теплопередачі	Q	Дж (джоуль)	$Q = cm(t - t_0)$ $Q_{\text{вип}} = Lm$ $Q_{\text{пл}} = \lambda m$
Питома теплоємність речовини	Фізична величина, що показує, яка кількість теплоти потрібна для збільшення температури речовини масою 1 кг на 1°C	c	$\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}}$	$c = \frac{Q}{m(t - t_0)}$
Питома теплота плавлення	Фізична величина, що показує, яка кількість теплоти необхідна для перетворення 1 кг речовини із твердого стану в рідкий за температури плавлення	λ	$\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	$\lambda = \frac{Q_{\text{пл}}}{m}$

Продовження таблиці

Назва фізичної величини	Визначення	Символ для позначення	Прилад для вимірювання / одиниця	Формула для визначення
Питома теплота пароутворення	Фізична величина, що показує, яка кількість теплоти потрібна, щоб перетворити рідину масою 1 кг у пару без зміни температури	L (або літера r)	$\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	$L = \frac{Q_{\text{вип}}}{m}$
Питома теплота згорання	Фізична величина, що показує, яка кількість теплоти виділяється від повного згорання палива масою 1 кг	q	$\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	$q = \frac{Q_{\text{зг}}}{m}$
Коефіцієнт корисної дії нагрівника	Характеризує ефективність використання теплоти й дорівнює відношенню кількості теплоти, що використовується на нагрівання, до кількості теплоти, отриманої внаслідок згорання палива	η	%	$\eta = \frac{Q}{Q_{\text{зг}}} \cdot 100\%$
Коефіцієнт корисної дії теплової машини	Характеризує ефективність перетворення енергії і дорівнює відношенню виконаної роботи A до наданої кількості теплоти Q_1	η	%	$\eta = \frac{A}{Q_1} \cdot 100\%$

3. Ви знаєте, що внутрішня енергія передається двома способами, і може- те пояснити особливості механізмів теплообміну.



4. Ви можете виміряти кількість переданої або отриманої енергії під час теплообміну й переконатись у тому, що для теплових процесів виконується закон збереження енергії і що енергія може перетворюватися.

Рівняння теплового балансу:

у замкненій системі під час теплообміну одні тіла віддають таку саму кількість теплоти, яку отримують інші тіла.

$$|Q_{\text{віддали}}^-| = |Q_{\text{отримали}}^+|$$

Кількість теплоти, передана системі, витрачається на збільшення внутрішньої енергії системи та виконання нею роботи: $Q = \Delta U + A$.

Якщо між тілами з різними температурами встановлюється тепловий контакт і зовнішні умови не змінюються, то тіла самі по собі переходять у стан **теплової рівноваги** — стан, за якого температура набуває для всіх тіл однакового значення.

У природі неможливий процес, єдиним результатом якого є виконання механічної роботи лише завдяки охолодженню джерела теплової енергії без нагрівання навколишніх тіл.

5. Ви знаєте, як на практиці використовують теплові властивості речовини, і можете оцінити вплив теплових машин та інших засобів теплотехніки на довкілля, а також необхідність використання енергозберігальних технологій.

Теплова машина — пристрій для перетворення внутрішньої енергії в механічну.

Механічна робота A , виконана тепловою машиною, дорівнює різниці кількості теплоти Q_1 , яку надає нагрівник робочому тілу, і кількості теплоти Q_2 , яку віддає робоче тіло охолоджувачу: $A = Q_1 - Q_2$.

Принцип дії теплових машин



ККД теплової машини дорівнює відношенню виконаної роботи A до наданої кількості теплоти Q_1 : $\text{ККД} = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$.

6. Ви можете оцінити роль видатних учених у розвитку знань про теплоту.

3 історії дослідження теплових явищ

	Філософи давнини мали дві точки зору щодо природи теплоти: 1. Теорія теплороду, де теплоту пов'язували із природними стихіями (вогнем, водою, повітрям і землею), з яких утворені всі тіла. 2. В інших дослідженнях теплоту пов'язували з атомістичним ученням про будову речовини (згодом ці дослідження стали підґрунтям термодинамічної теорії)
1742 р.	Шведський учений Андерс Цельсій запропонував шкалу для вимірювання температури
1760 р.	Шотландський фізик і хімік Джозеф Блек увів поняття питомої теплоємності. Покладено початок калориметрії
1783 р.	Французькі вчені Антуан Лавуазьє і П'єр Лаплас винайшли калориметр і визначили питомі теплоємності багатьох твердих і рідких тіл
1784 р.	Шотландський інженер Джеймс Ватт побудував універсальний паровий двигун
1799 р.	Британський фізик і хімік Гемфрі Деві провів досліди з тертям двох кусків льоду, які підтвердили, що нагрівання тіл може бути здійснене завдяки механічній роботі, і відіграли особливу роль у спростуванні теорії теплороду
1824 р.	Французький фізик і математик Саді Карно опублікував працю «Міркування про рушійну силу вогню і про машини, здатні розвивати цю силу», що згодом стала основою теорії теплових двигунів; закрив основи другого начала термодинаміки; розглянув цикл теплового двигуна (цикл Карно), який має особливе значення для термодинаміки
1827 р.	Англійський ботанік Роберт Броун першим спостерігав рух мікрочастинок, який згодом назвали його ім'ям — броунівський рух
1842 р.	Німецький учений Роберт фон Маєр відкрив закон збереження енергії (незалежно від нього до відкриття цього закону також прийшли в 1843 р. англійський фізик Джеймс Джоуль і в 1847 р. німецький фізик Герман Гельмгольц)
1845 р.	Англійський фізик Джеймс Джоуль визначив величину механічного еквівалента теплоти
1848 р.	Британський фізик Вільям Томсон (лорд Кельвін) ввів поняття абсолютної температури й абсолютну шкалу температур (шкалу Кельвіна)
1850 р.	Німецький фізик Рудольф Клаузіус увів поняття внутрішньої енергії і сформулював другий закон термодинаміки (у 1851 р. своє формулювання запропонував Вільям Томсон)
1860 р.	Французький інженер Етьєн Ленуар створив перший поршневий двигун внутрішнього згорання (удосконалену конструкцію двигуна внутрішнього згорання створив у 1878 р. німецький винахідник Ніколаус Отто)
1888 р.	Луї Жорж Гюї довів теплову природу броунівського руху
1905–1906 рр.	Німецький фізик Альберт Ейнштейн і польський учений Маріан Смуловський дали найбільш повне пояснення броунівського руху
1897 р.	Німецький інженер Рудольф Дізель побудував двигун внутрішнього згорання з попереднім стисненням повітря і самозайманням палива

Уважно розгляньте інтер'єр й обладнання вашої кухні. Після вивчення теплових явищ спробуйте відповісти на такі запитання:

1. Чим відрізняються процеси нагрівання в духовій шафі та мікрохвильовій печі?
2. Чому, якщо дістати з холодильника пляшку мінеральної води, на ній з'являються краплі води?
3. Якщо рибу покласти в морозильник, вона замерзне. Чому ж не замерзає риба у продовольчих магазинах, коли її кладуть у крихти льоду?
4. Улітку, щоб приготувати охолоджувальний напій, ви дістаєте з морозильної камери шматочок льоду і кладете у склянку із соком. Чому лід не розтає відразу, адже температура у склянці із соком — значно вища за 0°C ?
5. У якій посудині швидше схолоне гарячий чай: у вузькій і високій чи в широкій і низькій? Чому?
6. Чому ручки сковорідок виготовляють із пластмаси?
7. У кулінарних книгах часто пишуть, що для приготування тістечок вершкове масло слід розтопити на водяній бані. Поясніть, як це потрібно робити.
8. Перед закипанням чайник гуде. Як пояснити це явище?
9. У каstrулях-скороварках вода кипить за температури 120°C . Яка конструкція таких каstrуль?
10. Як готують «льодяники» із цукру?

Готуючись до уроків, для пошуку необхідної інформації ви неодноразово користувались науково-популярними журналами й інтернетом. Припустімо, що вам трапився такий текст про тверді побутові відходи.



ТВЕРДІ ПОБУТОВІ ВІДХОДИ: ПРОБЛЕМА ЧИ ПЕРСПЕКТИВА?

Як правило, тверді побутові відходи (ТПВ) утилізують завдяки спалюванню. В Україні працюють усього два сміттєспалювальні заводи — у Києві та Дніпрі. Разом вони переробляють на рік аж 6 % (!) утвореного обсягу ТПВ. У результаті згорання сміття в атмосферу потрапляють дуже шкідливі забруднюючі сполуки свинцю, ртуті й інших важких металів. Особливо небезпечні для людини — викиди діоксиду, який учені називають «гормоном деградації» або «хімічним СНІДом». Саме з причини утворення діоксиду в багатьох країнах світу сміттєспалювальні заводи заборонені.

Проте ТПВ можуть бути й корисними. З них можна отримати теплову та електричну енергію, якщо їх спалювати, застосовуючи передові очисні технології. У Європі щорічно завдяки переробці твердих побутових відходів виробляється більше 28 млрд кВт · год електроенергії і приблизно 69 млрд кВт · год теплової енергії. Лідером у цій галузі серед інших європейських держав є Швеція. Програма переробки побутових відходів в електричну і теплову енергію в Швеції набрала таких обертів, що навіть прийнято рішення імпортувати відходи з інших країн, оскільки сама Швеція виробляє недостатньо сміття для забезпечення власних енергетичних потреб.

Україна може продавати тверді побутові відходи в європейські країни або будувати сучасні заводи з їхньої утилізації. Таким чином, утилізація твердих побутових відходів є, з одного боку, проблемою, а з іншого — створює для нашої країни значні інвестиційні перспективи й економічні заощадження.

Висловте власні судження, відповідаючи на такі запитання:

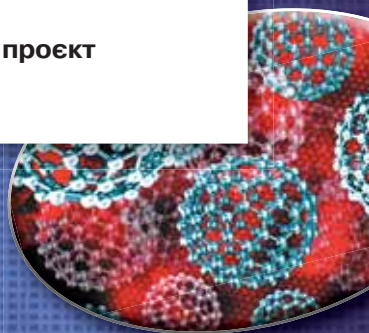
1. Чи відповідає заголовок тексту змісту матеріалу?
2. Який висновок робить автор щодо проблеми твердих побутових відходів? За допомогою яких аргументів автор робить такий висновок?
3. Що, на вашу думку, перспективніше: продавати ТПВ або будувати в Україні сучасні підприємства з виробництва енергії з ТПВ? Відповідь обґрунтуйте.
4. Що можете зробити ви особисто у вирішенні проблеми твердих побутових відходів? Ваші батьки? Фахівці в цій галузі?

ВИКОНЦЕМО НАВЧАЛЬНІ ПРОЄКТИ

- ♦ Чи задумувались ви над тим, у результаті чого з речовиною відбуваються такі перетворення: із рідини (соляний розчин) утворюється тверде тіло (кристал)?
- ♦ Чи лише в результаті зміни температури відбуваються зміни агрегатного стану речовини?
- ♦ Що таке зріджені гази, сухий лід?
- ♦ Як отримують речовини із заданими властивостями?

Ознайомтесь із цими питаннями, виконуючи проєкт

«ШТУЧНІ ТА ПРИРОДНІ РЕЧОВИНИ»



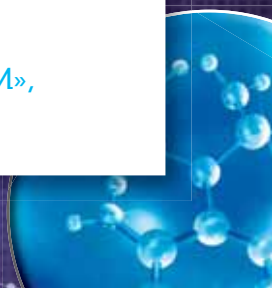
- ♦ Вивчаючи теплове розширення тіл, ви дізналися, що вода має аномальні властивості.
- ♦ А чи існують інші унікальні властивості води?

Дізнайтесь про це, виконуючи проєкт «УНІКАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ ВОДИ»

- ♦ Якби вам доручили спроектувати будівництво екологічного містечка, які теплоенергетичні й енергозберігаючі технології ви застосовували б?
- ♦ Як зменшити теплові витрати вашого будинку чи квартири?

З'ясуйте ці питання, виконуючи проєкти

**«ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ», «ТЕПЛОВІ НАСОСИ»,
«ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ»**



Розділ 2

Електричні явища. Електричний струм



Продовжуємо ознайомлюватися з унікальними властивостями нашої планети. Магнітне поле Землі, Земля — гігантський магніт, жива електрика, блискавка, магнітосфера, полярне сяйво, електрон, електричний заряд, електричний струм — ці та багато інших явищ і понять ви вже розглядали на уроках природознавства, біології, хімії, географії. Що ж нового ви дізнаєтесь, вивчаючи електричні явища на уроках фізики?

Ви з'ясуєте, як завдяки дослідженню електричних властивостей речовини, явищ і процесів люди створили пристрої, без яких неможливо уявити побут сучасної людини та стрімкий розвиток цивілізації. Електростанції, електролампочки, електродвигуни, електронна техніка, комп'ютери, мобільний і супутниковий зв'язок... Цей перелік можна продовжувати й продовжувати.

В історії земної цивілізації навіть виокремлюють період, який називають «століттям електрики». Отримані впродовж XVII–XIX ст. результати досліджень утворили окремий напрям у фізиці — електродинаміку. А про те, що причиною всіх електричних явищ є унікальна властивість такої частинки речовини, як електрон, стало відомо лише на початку XX ст., коли вперше було відкрито цю частинку.

Вивчаючи розділ «Електричні явища. Електричний струм», ви дізнаєтесь, що таке електричний струм, які умови необхідні для його існування. Дослідите, чому одні речовини здатні проводити струм краще, ніж інші, які дії може чинити електричний струм і яких правил безпеки слід дотримуватися, користуючись електричними приладами.

Вивчивши цей розділ, ви здобудете знання, які дадуть вам змогу не лише пояснювати електричні явища, а й застосовувати їх у практичній і майбутній професійній діяльності.



Взаємодія заряджених тіл

Електричні явища. Електричні явища і процеси були відомі людству ще з давніх часів. Блискавка, полярне сяйво, дивні світіння біля наконечників списів і загострених частин щогл кораблів під час негоди, притягування бурштином, потертим об хутро, дрібних шматочків папірців, пір'їн — усі ці речі здавалися дивними й незрозумілими. Щоб зрозуміти й пояснити природу електричних явищ, ученими різних країн було висловлено чимало припущень (багато з них виявилися хибними), проведено безліч дослідів, затрачено роки досліджень. «Таємниці» цих явищ стали зрозумілими лише на початку ХХ ст., коли було достеменно доведено факт існування заряджених електричних частинок та електромагнітних хвиль.

Сьогодні важко уявити наше життя без практичного використання електричних явищ. Вони дають нам тепло, світло, допомагають у побуті, дають змогу бачити одне одного та спілкуватися, перебуваючи на великих відстанях. Електричні явища допомагають у лікуванні та урізноманітнюють наше дозвілля. Людина винайшла багато способів одержання електричної енергії. Навчилася зберігати її, передавати на великі відстані та використовувати для різних потреб. Проте, перш ніж навчитися використовувати електричні явища, необхідно їх ретельно вивчити.

Серед труднощів у їх вивченні є те, що ми не можемо безпосередньо побачити електричні поля, рух електронів й інших електрично заряджених частинок, електромагнітні хвилі. Щоб пояснити й дослідити більшість електричних явищ, ми будемо моделювати їх, виявляти їх прояв за допомогою спеціальних приладів. Дуже важливо з перших параграфів цього розділу не просто читати й запам'ятовувати текст підручника, а спостерігати й досліджувати явища та процеси, аналізувати, проводити аналогії і порівняння, бути самостійними дослідниками.

Розпочнемо вивчення електричних явищ із найпростіших випадків їхнього прояву.

Електризація. Виконаємо такі досліди. Візьмемо паличку з ебоніту (ебоніт — твердий матеріал із каучуку з великими домішками сірки), покладемо її на дрібні клаптики паперу. Піднімаючи паличку, бачимо, що вона не притягує паперові клаптики (мал. 86, а, с. 130).

Змінімо умови досліду: потremo паличку об клопоть вовняної тканини (мал. 86, б, с. 130) і знову наблизимо її до папірців. Бачимо, що папірці притягуються до палички й прилипають до неї (мал. 86, в, с. 130). Якщо

Ви дізнаєтесь

- Що таке електризація
- Як взаємодіють заряджені тіла

Пригадайте

- Що вам відомо з курсу природознавства про електричні явища



а



б



в



г

Мал. 86. Дослід із взаємодії заряджених тіл



Мал. 87. Прояви електризації

піднести до папірців класочок вовняної тканини (після тертя об паличку), то вона також їх притягуватиме (мал. 86, г).

Які висновки можна зробити?

Ебонітова паличка й класочок вовняної тканини внаслідок тертя набули нової властивості — *діяти на папірці силою, яка у цьому випадку більша за силу всесвітнього тяжіння* (адже папірці піднімаються, долаючи земне тяжіння). Цю силу називають *електричною*.

Подібна сила виникає і під час взаємодії інших тіл, наприклад, скляної палички, потертої об шкіру (шовк або гуму), пластмасової — потертої об сухий папір, шматка бурштину, потертого об хутро. До речі, саме властивість бурштину притягувати дрібне пір'я, соломинки, сухе листя зумовила назву цього явища — *електризація* («бурштин» старогрецькою звучить як «електрон»), а такі тіла стали називати *наелектризованими* (або *електрично зарядженими*).

Подібні явища електризації тіл ви мали змогу спостерігати й у своєму житті (мал. 87). Розчісуючи сухе волосся пластмасовим гребінцем, ви помічали, як воно притягується до гребінця. Електризується волосся і в інших випадках, наприклад, коли об нього потерти предмети із пластмаси або інших синтетичних матеріалів.

Ви також відмічали, що інтенсивність таких явищ може бути різною: більшою або меншою. Найбільш інтенсивні процеси електризації відбуваються в атмосфері Землі, і результатом цих процесів є блискавка. Наелектризований стан може передаватись іншим тілам, а може нейтралізуватись.

Електричний заряд. Щоб порівнювати й досліджувати подібні електричні явища, необхідна фізична величина, яка є їхньою характеристикою. Така величина називається *електричним зарядом*. Оскільки електричні та магнітні явища тісно пов'язані між собою, то електричний заряд характеризує і електричну, і магнітну взаємодію, тобто *електромагнітну*. Детальніше електромагнітні явища ми будемо вивчати в 9 класі.

Електричний заряд — це фізична величина, що кількісно характеризує електромагнітну взаємодію.

Позначають електричний заряд літерою q . Одиницею електричного заряду є кулон (Кл).

Про наелектризовані (або електрично заряджені) тіла ще говорять, що вони мають електричний заряд. Інколи, для спрощення, частинку, що має електричний заряд, називають просто — «заряд».

Два види електричних зарядів. Оскільки внаслідок електризації тертям обидва тіла, що контактують, набувають електричного заряду, з'ясуємо, чи однаковим буде заряд у цих тіл.

Для цього нам будуть потрібні ебонітові й скляні палички, шматочки вовняної та шовкової тканин. Натремо об клапоть вовняної тканини дві ебонітові палички. Одну з них підвісимо на шовковій нитці. Якщо наблизитимемо другу паличку, то вони будуть відштовхуватись одна від одної (мал. 88, а).

Якщо ж до зарядженої ебонітової палички піднести заряджену тертям об шовк чи сухий папір скляну паличку, то палички будуть притягуватись одна до одної (мал. 88, б).

Які висновки робимо з дослідів?

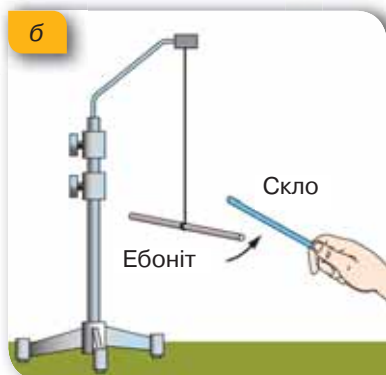
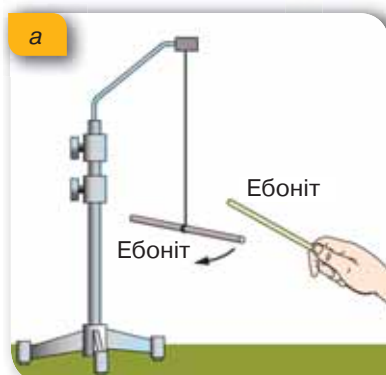
Оскільки взаємодія проявляється не лише у притягуванні, а й у відштовхуванні, то електричний заряд на склі, потертому об шовк, відрізнятиметься від електричного заряду на ебоніті, потертому об вовну.

Умовилися цим відмінностям електричного заряду дати назви: **позитивний** і **негативний** електричні заряди. На малюнках, у математичному записі значень електричного заряду, застосовуються відповідні знаки: «+» — для позитивного і «-» — для негативного.

Виконуючи досліді, ми досить часто будемо використовувати скляну й ебонітову палички, тому запам'ятайте: унаслідок електризації скляної палички об шовкову тканину (шкіру), вона набуває позитивного заряду (мал. 89, а, с. 132), відповідно ебонітова паличка, натерта об вовну (хутро), — негативного заряду (мал. 89, б, с. 132).

Продовжимо наші досліді. Натремо скляну паличку об шматочок шкіри. І будемо по черзі підносити їх до електрично нейтральної (незарядженої) маленької гільзи із фольги.

Що ми бачимо? Унаслідок тертя і паличка, і шматок шкіри отримали різнойменні електричні



Мал. 88. Електромагнітна взаємодія:
а — відштовхування;
б — притягання

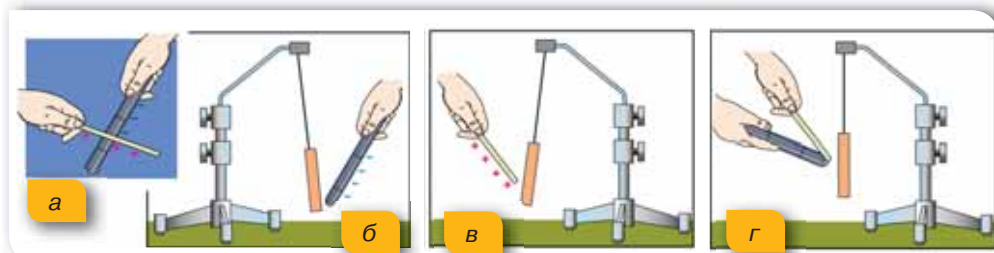
Мал. 89.
Знаки зарядів під час електризації:
а — позитивний на скляній паличці;
б — негативний на ебонітовій



заряди (мал. 90, а). Підносячи їх по черзі до незарядженої гільзи, спостерігаємо її притягання (мал. 90, б, в). Якщо ж заряджені паличку та шматок шкіри з'єднати одне з одним і піднести їх як одне ціле до гільзи, то взаємодія не відбуватиметься (мал. 90, г).

Які висновки робимо з досліду? Унаслідок тертя на тілах, що контактують, утворюються *однакові за величиною, але протилежні за знаком електричні заряди*.

Однакові за величиною, але протилежні за знаком електричні заряди компенсують (нейтралізують) один одного.



Мал. 90. Взаємодія заряджених і незаряджених тіл

Підбиваємо підсумки

- Ознакою взаємодії заряджених тіл є те, що однойменно заряджені тіла відштовхуються з певною силою, а різнойменно заряджені — притягаються.
- В електризації завжди беруть участь два тіла. До того ж на тілах, що контактують, утворюються однакові за величиною, але протилежні за знаком електричні заряди.
- Електричний заряд — це фізична величина, що кількісно характеризує електромагнітну взаємодію (притягання, відштовхування) заряджених частинок.
- Позначають електричний заряд літерою q . Одиницею електричного заряду є кулон (Кл).

Я знаю, вмію і розумію



1. Наведіть приклади електричних явищ.
2. Опишіть взаємодію однойменно й різнойменно заряджених тіл.
3. Що називають електричним зарядом?
4. Який електричний заряд матиме скляна паличка, потерта об шовкову тканину? А ебонітова паличка, потерта об вовну?



ПОЯСНІТЬ

1. Як можна показати, що на обох тілах під час їх тертя виникають електричні заряди?
2. Узимку ви одягаєте теплий одяг: вовняний светр, курточку або пальто. Що відбувається з підкладкою верхнього одягу, якщо його знімають?
3. Якщо гладити рукою сухе, чисто вимите волосся чи розчісувати його гребінцем, то воно піднімається за рукою або за гребінцем. Як пояснити це явище?

Експериментальні й дослідницькі завдання

1. Розчешіть волосся пластмасовим гребінцем. Чи «прилипає» волосся до гребінця? Чи «прилипатиме» волосся, якщо ви використаєте дерев'яний гребінець? Металевий?
2. Які експериментальні факти свідчать про те, що є заряди двох знаків?
3. Запропонуйте досліди, за допомогою яких можна встановити, чи заряджене тіло, чи ні.
4. Під час фарбування способом розпорошення крапельок досить часто деталь, яку слід пофарбувати, заряджають зарядом одного знака, а джерело крапельок фарби — зарядом іншого знака. Поясніть, для чого так роблять.



Електрон. Електричні властивості речовини

Електрон. У багатьох із вас, можливо, виникли запитання. Чому вступає у взаємодію незаряджена гільза? Чому електризацію ми досліджуємо за допомогою ебоніту, скла, шкіри, а не металевих предметів? Щоб дати відповіді на ці запитання, детальніше розглянемо будову атома.

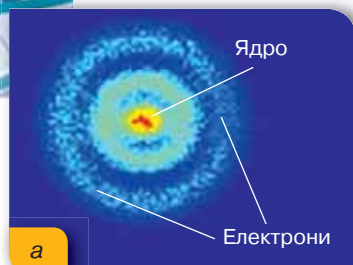
В основному, атом порожнистий: у його центрі міститься дуже маленьке й дуже щільне ядро, навколо якого рухаються електрони. Електрони дуже швидко обертаються, і здається, що вони ніби «розмазані» в просторі на деякій відстані від ядра, у так званих електронних хмарах (мал. 91, а, с. 134). Удаючись до фізичного моделювання, структуру атома прийнято схематично зображати так, як показано на малюнку 91, б, с. 134.

Ви дізнаєтесь

- Які електричні властивості мають речовини

Пригадайте

- Будову атома
- Будову речовини



Мал. 91. Внутрішня структура атома:
а — фото атома Гідрогену;
б — схематичне зображення атома Берилію

Своєю чергою, ядро атома також подільне — воно складається із частинок двох типів: протонів і нейтронів.

Електрони й протони мають унікальні природні властивості — саме вони є **носіями елементарного електричного заряду, тобто найменшої порції електричного заряду**. Домовились називати найменшу порцію електричного заряду, яка є на електроні, **негативним елементарним електричним зарядом** (позначають e^-), а таку саму за значенням кількість позитивного електричного заряду, що міститься на протоні, — **позитивним елементарним електричним зарядом** (позначають p^+).

Оскільки електричні заряди протона й електрона є їхніми природними властивостями, то вченим вдалося виміряти їхні значення. Встановлено, що значення елементарного електричного заряду $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Електричний заряд тіла завжди кратний елементарному електричному заряду: $q = Ne$, де N — ціле число.

Електрон і протон — це заряджені частинки, нейтрон — не має електричного заряду. В атомів різних речовин свої фіксовані кількості електронів

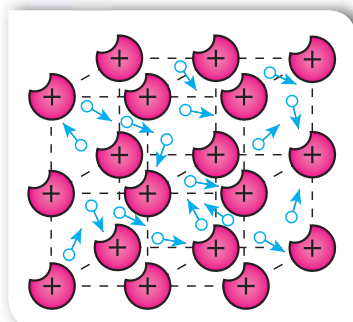
і протонів. Якщо взяти будь-який атом з таблиці хімічних елементів, наприклад Берилій, то цифра 4, яка визначає його порядковий номер у таблиці, вказує на кількість протонів у ядрі, а отже — і кількість електронів в оболонках, оскільки атом електрично нейтральний. Важливо зрозуміти, що протон й електрон ніколи не «втрачають» свого електричного заряду. Наявність в електронів і протонів електричного заряду є їхньою природною властивістю! А в атомі сумарна дія цих зарядів компенсується. Саме тому атом є електрично нейтральним.

Ознайомлюємось із провідниками, діелектриками та напівпровідниками. Оскільки електрично заряджені частинки є складовими будь-яких

речовин, із яких виготовлені тіла, то природним буде запитання: як різні речовини проявляють свої електричні властивості?

Упродовж вивчення розділу ми детальніше будемо досліджувати електричні властивості металів, рідин і газів. У цьому параграфі лише з'ясуємо, які речовини називають провідниками, напівпровідниками та діелектриками.

Досліджуючи теплопровідність різних речовин (§ 8), ми вже звертали увагу на особливості внутрішньої будови металів. Пригадуєте? Це наявність вільних електронів, які можуть вільно переміщуватися.



Мал. 92. Внутрішня структура металу

ватись між вузлами кристалічної ґратки. Оскільки електрони містяться в оболонках атома, то вони взаємодіють як із протонами свого ядра, так і з електронами сусідніх атомів. Саме для металів притаманним є те, що електрони можуть «покинути» межі атома. При цьому утворюються позитивні йони й електрони, які вільно переміщуються в будь-якому напрямку (мал. 92). Як буде з'ясовано нами згодом, існують такі умови, які змушують електрони рухатись упорядковано. Властивість речовини, що проявляється в можливості руху її електрично заряджених частинок, покладено в основу поділу речовин на провідники, діелектрики та напівпровідники.

Провідниками називають речовини, які мають заряджені частинки, що внаслідок електромагнітної дії здатні рухатися впорядковано по всьому об'єму тіла. Провідниками є всі метали, деякі хімічні сполуки, водні розчини солей, кислот, лугів, розплави солей тощо. Провідником є і тіло людини, яке на дві третини складається з рідини.

Діелектриками, або ізоляторами, називають речовини, які за певних умов не мають вільних носіїв електричного заряду.

До діелектриків належать усі гази за нормальних умов, рідини (гас, спирт, ацетон, дистильована вода та ін.), тверді тіла (скло, пластмаси, сухе дерево, папір, гума тощо). Повітря також є діелектриком.

Серед твердих діелектриків існує група речовин, які можуть тривалий час зберігати наелектризований стан. До них належить ряд органічних (парафін, бджолиний віск, нейлон, ебоніт тощо) і неорганічних (сірка, борне скло та ін.) речовин.

Існує і третя група речовин — *напівпровідники*, які займають проміжне місце між провідниками та діелектриками. Особливістю напівпровідників є те, що їхні електричні властивості можна змінювати, наприклад, під час нагрівання або освітлення в них можуть виникнути вільні електричні заряди.

До напівпровідників належить значно більше речовин, ніж до провідників і діелектриків разом узятих. Напівпровідниками є ряд простих речовин (силіцій, германій, селен) та деякі сполуки (оксиди, сульфід, телурид).

Підбиваємо підсумки

- Носіями однакових за значенням, але протилежних за знаками елементарних електричних зарядів є мікрочастинки атома: електрони та протони. Заряд електрона прийнято вважати негативним, а протона — позитивним.
- Значення елементарного електричного заряду $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Електричний заряд тіла завжди кратний елементарному електричному заряду: $q = N \cdot e$, де N — ціле число.
- Властивість речовини, що проявляється в можливості руху її електрично заряджених частинок, покладено в основу поділу речовин на класи: провідники, напівпровідники та діелектрики.



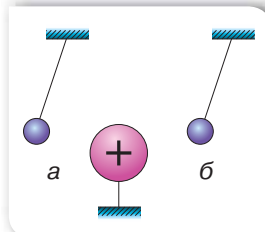
1. Що називається атомом? Яка його будова? З яких частинок складається атомне ядро?
2. Які частинки атома мають негативний заряд, а які — позитивний? Де вони розташовані? Чи всі частинки атома мають електричний заряд?
3. Який фізичний зміст порядкового номера хімічного елемента?
4. Що таке елементарний електричний заряд? Яке його значення?
5. За якою ознакою речовини поділяють на провідники, діелектрики та напівпровідники? Наведіть приклади провідників і діелектриків.

**ПОЯСНІТЬ**

1. Як ви доведете вислів: «Електричний заряд — це природна властивість електрона»?
2. Які зміни відбуваються з атомом, якщо він: а) втрачає електрон; б) отримує електрон?
3. Чому в металах легше переміщуються саме негативно заряджені електрони, а не позитивно заряджені йони?

**Вправа 11**

1. Знайдіть у таблиці хімічних елементів атоми Гідрогену, Літію, Натрію, Алюмінію. Яка кількість протонів й електронів міститься в кожному із цих атомів?
2. Накресліть схематичне зображення позитивного йона Літію й атома Літію.
3. На малюнку 93 зображено електромагнітну взаємодію однієї великої і двох маленьких металевих кульок. Які заряди мають маленькі кульки, якщо велика куля заряджена позитивно?
4. Атом, ядро якого має 3 протони, утратив 2 електрони. Скільки електронів лишилося?



Мал. 93.
До завдання 4



Електричне поле

Взаємодія через поле. Розглянемо ще раз процес

притягання клаптиків паперу до наелектризованої палички, описаний у § 27. Якщо ви намагались повторити цей дослід самостійно, то бачили, що клаптики паперу притягуються до палички ще до того, як вона торкається їх, — взаємодія відбувається на відстані. А як відомо з курсу 7 класу, взаємодія

Ви дізнаєтесь

- Що таке електричне поле
- Як якісно пояснити електромагнітну взаємодію

може відбуватись під час контакту або через *поле*. У нашому випадку — через *електричне поле*.

Між науковцями довгий час тривала дискусія щодо механізму передачі взаємодії між тілами, що перебувають на відстані одне від одного (й особливо в разі відсутності середовища між ними, тобто у вакуумі). І саме дослідження електромагнітних явищ стало поштовхом у цьому напрямі. У 1865 р. англійський учений Джеймс Клерк Максвелл на підставі аналізу знань з електрики та магнетизму пояснив особливості й закономірності електромагнітної взаємодії. Він уперше ввів у фізику поняття *поле* й довів існування електромагнітного поля, а також зумів об'єднати вчення про електрику, магнетизм й оптику в одну теорію.

Електричне поле. Будь-яке електрично заряджене тіло створює навколо себе електричне поле, через яке відбувається електромагнітна взаємодія.

Пригадайте

- Як взаємодіють однойменно й різнойменно заряджені тіла



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

Особливістю електричного поля (як і гравітаційного) для людини є те, що ми не можемо безпосередньо сприймати його за допомогою органів чуття. Ви знаєте, що для спостереження за матеріальним об'єктом ми використовуємо зір, слух, нюх і дотик. Саме вони надають нам інформацію про об'єкт або явище, що спостерігається, і підтверджують їх наявність. Проте електричне поле не діє безпосередньо на наші органи чуття. Саме із цим пов'язані деякі ускладнення розуміння цього поняття на початку його вивчення, адже важко повірити в реальність того, чого безпосередньо не відчуваєш!

Упевнитися в існуванні електричного поля можна на підставі його дій. Основним фактом, який підтверджує наявність електричного поля, є його *дія на будь-яке заряджене тіло*, що міститься в цьому полі.

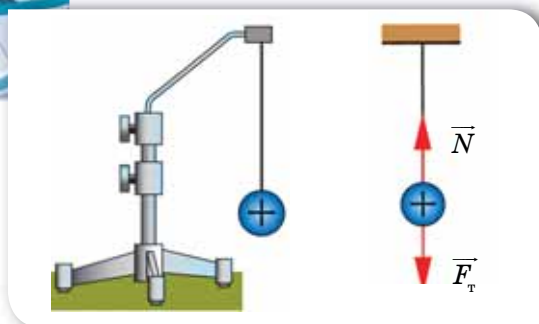
Проведемо такий дослід. Підвісимо на нитці до штатива кульку з оргскла. Наелектризуємо скляну паличку. Для цього потremo її об шовкову тканину. Доторкнемося паличкою до кульки. Вона набуде позитивного електричного заряду (мал. 94, а; с. 138). Рівноважний стан кульки визначатиметься дією двох сил: силою натягу нитки N і силою тяжіння F_t (мал. 94, б; с. 138).

Потremo пластину з ебоніту вовняною тканиною, наелектризувавши її негативно. Будемо наближати негативно заряджену пластину до позитивно зарядженої кульки. Побачимо, що кулька також почне відхилятися від положення рівноваги в бік пластини. Якщо зафіксувати положення пластини, то кулька так і залишиться у відхиленому стані (мал. 94, в; с. 138). Чому кулька не повертається в попереднє положення? Очевидно, що крім



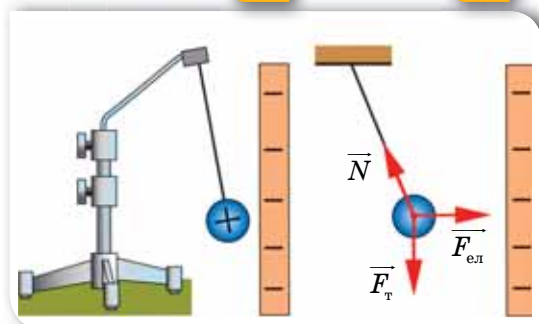
**Джеймс Клерк
Максвелл
(1831–1879)**

Англійський учений, основоположник теорії електромагнітної взаємодії



а

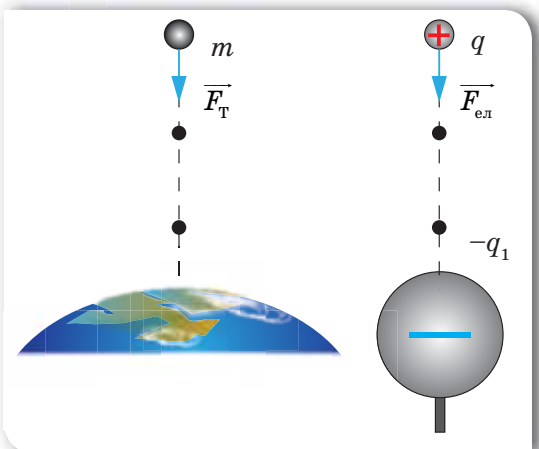
б



в

г

Мал. 94. Дослід із демонстрації дії електричного поля



а

б

Мал. 95. Дія поля: а — гравітаційного; б — електричного

діючих сил (натягу нитки N і тяжіння F_T) в електричному полі пластини й кульки виникає ще одна сила — сила електромагнітної взаємодії $F_{\text{ел}}$ (мал. 94, г).

Які висновки робимо з досліду?

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

Дослід також показує: що ближче розміщена кулька до пластини, то з більшою силою діє на неї електричне поле зарядженої пластини. Тобто можна зробити висновок, що **електричне поле, створюване зарядженим тілом, діє на заряджені тіла, що перебувають поблизу від нього, сильніше, ніж на тіла, що містяться на більшій відстані.**

Силова характеристика електричного поля. Щоб зрозуміти, як можна вимірювати дію поля, проведемо певну аналогію між полем тяжіння Землі (мал. 95, а) та електричним полем, що створюється, наприклад негативно зарядженою металевою кулею, заряд якої $-q_1$ (мал. 95, б).

Обидва поля виявляють себе своєю дією. Поле тяжіння Землі змушує падати тіло масою m , електричне поле кулі із зарядом $-q_1$ притягує до себе заряджену частинку (протон, позитивний йон) або заряджене тіло, електричний заряд якого $+q$. І в обох випадках поля здійснюють роботу, переміщаючи й розганяючи тіла. В обох випадках значення роботи залежить від відстані між тілами, що взаємодіють. У разі гравітаційної взаємодії дія поля залежить від маси тіл, у разі електричної — від значення та знака електричних зарядів. На відміну від Землі, що має фіксовану масу й фіксоване поле тяжіння, електричні поля можуть бути створені різними зарядженими тілами й різнитися

за впливом на один і той самий електричний заряд: одні діють з більшою силою, інші — з меншою.

Якщо в певну точку електричного поля вміщувати різні електричні заряди й щоразу вимірювати силу, яка діє на них, то можна встановити, що сила, що діє на електричний заряд, уміщений в електричне поле, прямо пропорційна величині цього заряду. Тому слушно припустити, що відношення сили, з якою поле діє на заряд, до величини цього заряду $\frac{F_{\text{ел}}}{q}$ вка-

зуватиме на те, з якою силою поле діє на одиницю заряду, вміщеного в електричне поле. Така величина вже не залежатиме від величини електричного заряду й буде *силовою характеристикою електричного поля*.

Силовa характеристика електричного поля називається *напруженістю електричного поля* і позначається літерою E .

Зверніть увагу! Досліджуючи електричне поле, ми розглядали випадок дії поля саме на позитивно заряджене тіло. Річ у тім, що позитивно заряджена частинка також створює електричне поле навколо себе. Але щоб досліджувати електричні поля, домовились використовувати таку модель — *пробний електричний заряд* — позитивно заряджене тіло, поле якого не змінює поле, в яке воно унесене.

До речі, зробимо ще деякі уточнення. Ми вживали терміни «електричний заряд», «елементарний електричний заряд», «заряджене тіло», «точкове заряджене тіло». Інколи для спрощення вживали тільки термін «заряд». Чи є принципова відмінність у цих термінах?

Дійсно, терміном «заряд» інколи називають як електрично заряджене тіло, так і фізичну величину — значення електричного заряду на ньому.

Надалі ми будемо вживати й термін *точковий електричний заряд*. Пригадайте: вивчаючи механічні явища, ми використовували термін *матеріальна точка*, розуміючи будь-яке тіло, розміри якого малі порівняно з відстанню. Аналогічно *точковими електричними зарядами* називають заряджені тіла, розміри яких малі порівняно з відстанню між ними.

Урахуванням цих термінів можемо дати таке визначення напруженості.

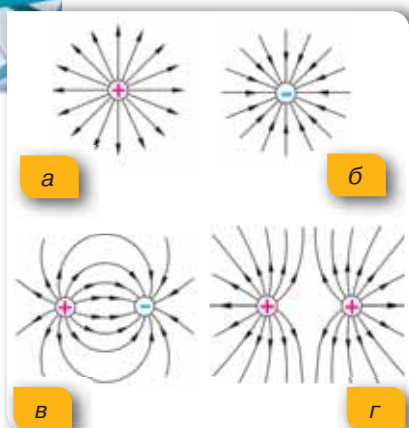
Напруженість електричного поля — це фізична величина, яка є силовою характеристикою поля й визначається відношенням сили $\vec{F}$, що діє в даній точці поля на пробний заряд q , до величини цього заряду:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}.$$

Одиниця напруженості — ньютон на кулон, 1 Н/Кл.

Як видно з формули, напруженість — векторна величина. Оскільки напруженість електричного поля визначає силу, що діє на одиницю позитивного заряду, то і напрямком напруженості електричного поля збігається в кожній точці простору з напрямком сили, яка діє на позитивний точковий заряд.

Увівши поняття «напруженість», ми можемо говорити не про силу, з якою один заряд діє на інший, а про силу, з якою на заряд діє поле в тій



Мал. 96. Графічне зображення електричного поля:

- а — позитивного заряду;
- б — негативного заряду;
- в — двох різноіменних зарядів;
- г — двох однойменних зарядів

точці, де він розміщений. За допомогою сучасних приладів можна проводити вимірювання напруженості поля. І, відповідно, можна розрахувати дію поля в даній точці на будь-яке заряджене тіло за формулою $\vec{F} = \vec{E}q$.

Графічне зображення електричного поля.

У ході досліджень електричного поля вченим вдалося з'ясувати його властивості. Що своєю чергою дало змогу змодельовати поле, тобто представити його графічно. Лінії, за допомогою яких графічно зображають електричне поле, називають *силовими лініями*, або *лініями напруженості* електричного поля.

Так, якщо зобразити заряджені тіла як маленькі кульки, то лінії позитивно зарядженого тіла спрямовані в усі боки від нього (мал. 96, а), а силові лінії негативно зарядженого тіла спрямовані до нього (мал. 96, б). У разі взаємодії двох електрично заряджених тіл їхні поля накладаються. На малюнку 96, в, г зображені

електричні поля однойменно та різноіменно заряджених кульок.

«Спостерігати» електричне поле можна на досліді, використовуючи електричні султани (мал. 97). Легкі паперові смужки, закріплені на пластмасових підставках, розміщуються вздовж силових ліній електричного поля.

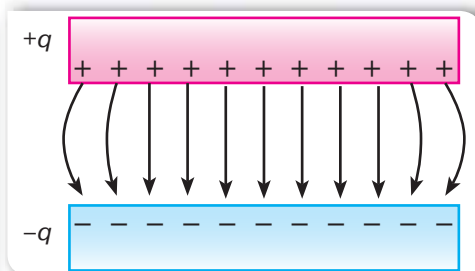
Розглядаючи дослід із виявлення електричного поля, ми використовували негативно заряджену пластину. Якщо взяти дві різноіменно заряджені пластини, то електричне поле буде зосереджене у просторі між ними (мал. 98). За пластинами поля компенсуються.

Силові лінії такого поля є паралельними (за винятком країв пластин). Таке поле називають *однорідним* — у кожній точці поля напрямок і величина сили, з якою воно діє на заряд, є однаковими.



Мал. 97. Дослід з електричними султанами:

- а — притягання паперових смужок різноіменно заряджених султанів;
- б — відштовхування паперових смужок однойменно заряджених султанів



Мал. 98. Графічне зображення електричного поля двох заряджених пластин

Підбиваємо підсумки

- Електричне поле — це особлива форма матерії, що існує навколо електрично заряджених тіл або частинок і діє з деякою силою на інші частинки або тіла, що мають електричний заряд.
- Порівнювати електричні поля можна за їхньою силовою характеристикою (напруженістю).
- Напруженість електричного поля — це фізична величина, яка є силовою характеристикою поля і визначається відношенням сили $\vec{F}$, яка діє в даній точці поля на пробний заряд q , до величини цього заряду:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}.$$

- Лінії, за допомогою яких графічно зображують електричне поле, називають силовими лініями, або лініями напруженості електричного поля.



Я знаю, вмію і розумію



1. Що таке електричне поле?
2. Яким чином можна довести реальність існування електричного поля?
3. Чому лінії напруженості електричного поля не перетинаються?
4. Чим відрізняється взаємодія тіл в електричному полі від взаємодії тіл у гравітаційному полі?



ПОЯСНІТЬ

1. Як змінюється дія електричного поля в разі віддалення від електричного заряду, який його створює?
2. В електричному полі негативно зарядженої пластинки «зависла» заряджена пилінка (мал. 99). Що станеться з пилінкою, якщо вона втратить кілька електронів?



Мал. 99. До завдання 2

Експериментальні й дослідницькі завдання

1. Запропонуйте кілька індикаторів електричного поля. Випробуйте їх.
2. Якими дослідями можна довести існування електричного поля?
3. Одним зі способів очищення повітря від пилу є застосування електрофільтрів, у яких повітря проходить крізь заряджені стержні. Поясніть, на чому заснований принцип дії таких електрофільтрів.
4. Підготуйте мініпроект про використання властивостей електричного поля в техніці. Запропонуйте своє бачення використання властивостей електричного поля.
5. Чому слабкий струмінь води з водопровідного крана відхилятиметься, якщо до нього піднести наелектризоване тіло? Перевірте на досліді (мал. 100).



Мал. 100. До завдання 5



ВЧИМОСЯ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ЗАДАЧІ

Задача

На порошинці, що зависла в електричному полі, міститься $20 \cdot 10^{12}$ надлишкових електронів. Визначте масу порошинки, якщо напруженість електричного поля 150 Н/Кл .

Дано:

$$N = 20 \cdot 10^{12}$$

$$E = 150 \text{ Н/Кл}$$

$$m = ?$$

Розв'язання:

Щоб виконувалась умова задачі (зависання порошинки в електричному полі), на порошинку мають діяти дві рівні за модулем і протилежні за напрямком сили.

Це сила тяжіння: $F_{\text{тяж}} = mg$ і сила, з якою електричне поле діє на частинку: $F_{\text{ел}} = Eq$. Заряд порошинки визначається як добуток заряду електрона e та кількості надлишкових електронів N : $q = Ne$.

Тоді $F_{\text{ел}} = ENe$. Сила тяжіння за умовою задачі врівноважується силою електричного поля, отже: $mg = ENe$.

$$\text{Звідси: } m = \frac{ENe}{g}, m = \frac{150 \frac{\text{Н}}{\text{Кл}} \cdot 20 \cdot 10^{12} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}}{9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}} \approx 4,8 \cdot 10^{-5} \text{ кг.}$$

Відповідь: 48 мг.



Вправа 12

1. З якою силою діє електричне поле Землі, напруженість якого 100 Н/Кл , на тіло, що має заряд 1 мКл ?
2. На заряд 2 нКл у деякій точці електричного поля діє сила 10 мН . Визначте напруженість поля в цій точці.
3. Заряд 2 нКл міститься в електричному полі, напруженість якого 2 кН/Кл . З якою силою поле діє на заряд?
4. Порошинка масою $0,1 \text{ мг}$ «зависла» в електричному полі напруженістю 1 кН/Кл . Визначте величину та знак електричного заряду порошинки.



Провідники та діелектрики в електричному полі

Провідники в електричному полі. У § 28 ми з'ясували, що за концентрацією вільних заряджених частинок у речовині всі речовини поділяють на три основні класи: *провідники*, *діелектрики* та *напівпровідники*.

У цьому параграфі пояснимо, як електричне поле взаємодіє із зарядженими частинками металів і діелектриків.

Розглянемо поведінку твердих металевих провідників в електричному полі. У металах, як ви вже знаєте, вільними носіями електричного заряду є електрони. Їх називають *вільними електронами*, або *електронами провідності*. Вільні електрони беруть участь у тепловому русі й можуть переміщуватися по шматку металу в будь-якому напрямку.

За відсутності зовнішнього електричного поля, негативний заряд електронів металевого провідника компенсується позитивним зарядом ядер його атомів.

Якщо ж провідник внести в електричне поле, то всередині провідника під дією електричного поля виникне впорядкований рух вільних носіїв електричного заряду (мал. 101). Унаслідок такого руху на одному боці провідника утвориться надлишковий негативний заряд, а на іншому — їх нестача, яка спричинить утворення там надлишкового позитивного заряду. Тобто в провіднику відбудеться розподіл зарядів, хоча в цілому він залишиться незарядженим. І якщо провідник винести з електричного поля, він залишиться електрично нейтральним.

Накопичені електричні заряди на протилежних частинах провідника створюють у середині самого провідника власне електричне поле, яке за силовою характеристикою таке саме, як і поле, у якому розташований провідник. Іншими словами, ці два поля компенсують одне одного.

Унаслідок того, що на протилежних поверхнях металевого провідника, уміщеного в електричне поле, концентруються заряджені частинки різних знаків, ми можемо отримати з одного провідника два різнойменно заряджені тіла.

Розглянемо дослід. Візьмемо дві легкі металеві гільзи, виготовлені з металевої фольги, і підвісимо їх на шовкових нитках так, щоб вони торкалися одна одної. Розмістимо дві різнойменно заряджені пластини так, щоб гільзи були у просторі між ними. Під впливом електричного поля всередині гільз відбудеться перерозподіл електричного заряду. У результаті на гільзі, розташованій ближче до негативної пластини, утвориться нестача електронів, а на гільзі біля позитивної пластини — надлишок електронів. Роз'єднаємо гільзи, тримаючи їх за нитки. У результаті отримаємо дві гільзи, заряджені різнойменно.

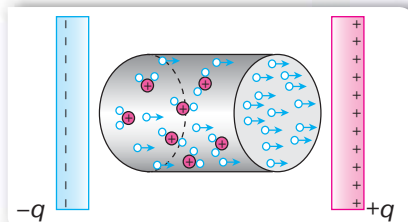
Існують й інші способи отримання заряду на металевих провідниках. Наприклад, метал можна зробити позитивно зарядженим, якщо його освітити відповідним світловим потоком. У результаті взаємодії світла з металом відбувається вивільнення електронів з поверхні металу. Втрачаючи електрони, метал стає позитивно зарядженим.

Ви дізнаєтесь

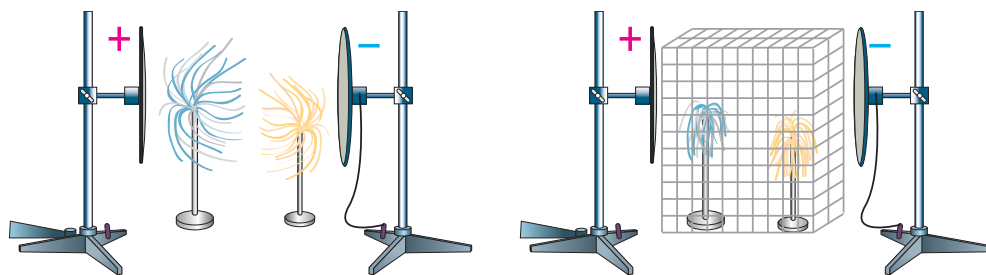
- Як електричне поле взаємодіє із зарядженими частинками металів і діелектриків

Пригадайте

- Які матеріали називають провідниками, а які — діелектриками



Мал. 101. Рух вільних електронів у металах під дією електричного поля



а

б

Мал. 102. Взаємодія султанів: а — у електричному полі;
б — у електричному полі за наявності металевої сітки

Електростатичний захист. Відсутність електричного поля всередині провідника використовується для створення *електростатичного захисту*.

Розглянемо дослід. Візьмемо два султани, один з яких складається з підставки та прикріплених до неї легких металевих смужок, другий — легких паперових смужок. Помістимо ці султани між двох металевих пластин, які можна зарядити різнойменними зарядами для створення електричного поля між пластинами. За відсутності електричного поля смужки султанів звисають донизу.

Якщо ж зарядити пластини, між ними виникає електричне поле. Смужки султанів електризуються й починають відштовхуватися між собою (мал. 102, а). Якщо ж обгородити султани захисною сіткою, то смужки султанів знову опускаються донизу, так само як і за відсутності електричного поля (мал. 102, б).

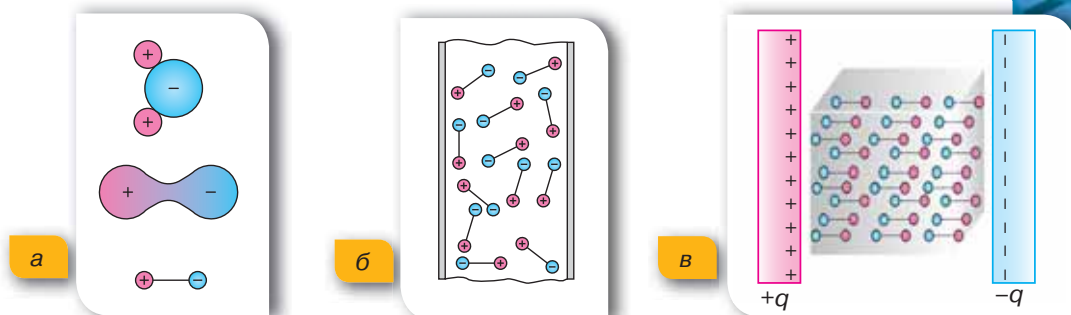
Отже, від електричного поля можна захиститися, якщо оточити тіло провідником. На практиці це використовується для захисту від потужного електричного поля, яке може зашкодити здоров'ю людини, а також для запобігання дії електричного поля на чутливі прилади.

Діелектрики в електричному полі. Полярні та неполярні діелектрики. Діелектриками, або ізоляторами, називають речовини, які за певних умов не мають вільних носіїв електричного заряду. Проте, якщо умови змінюються, наприклад під час нагрівання, у діелектрику можуть виникнути вільні електричні заряди.

Є діелектрики, що складаються з молекул, у яких центри розподілу позитивного й негативного зарядів не збігаються (мал. 103, а). Такі молекули називають *диполями*, а речовини, яким притаманна така властивість, — полярними *діелектриками*.

У разі відсутності електричного поля рух таких молекул хаотичний, але обмежений (вільно по всьому об'єму молекули рухатися не можуть) (мал. 103, б).

Якщо полярний діелектрик помістити в електричне поле, то його молекули повертаються своїми позитивно зарядженими частинами до негативно заряджених пластин зовнішнього поля, а негативно зарядженими — до позитивно заряджених пластин (мал. 103, в).

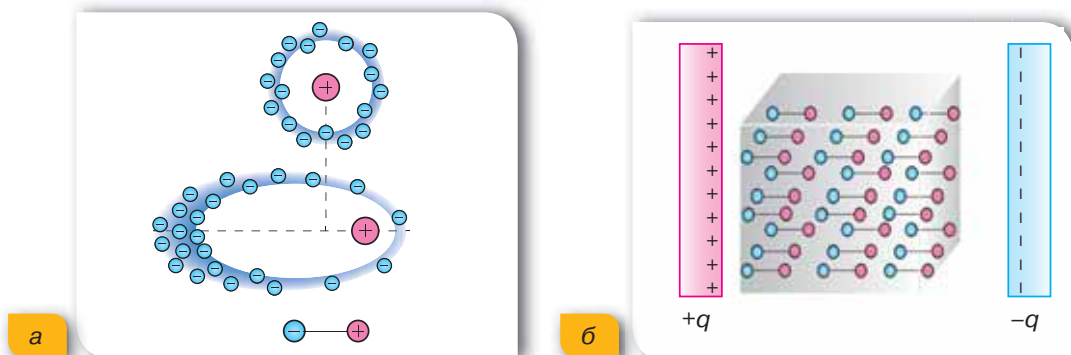


Мал. 103. Внутрішня структура та рух заряджених частинок полярного діелектрика: а — молекула-диполь; б — розташування диполів у разі відсутності електричного поля; в — орієнтація диполів під дією електричного поля

У результаті на поверхні діелектрика біля позитивної пластини виникає досить тонкий шар негативних зарядів, а біля негативної — позитивних, які й створюють зустрічне поле. (Усередині діелектрика позитивні й негативні заряди сусідніх диполів компенсують дію один одного.) Однак, на відміну від провідників, це поле вже не здатне повністю компенсувати зовнішнє, а лише послаблює його в декілька разів. Отже, на відміну від провідників, усередині діелектрика може існувати електричне поле. І якщо такий діелектрик винести з поля, він буде залишатися зарядженим. Проте якщо розділити такий діелектрик на дві частини, то ми не одержимо різноіменно заряджених тіл.

Існують також діелектрики, в яких електрично заряджені частинки не можуть вільно рухатись, і немає диполів. У цих речовинах електрони зв'язані з ядром і рухаються в електронній хмарі (мал. 104, а). Такі діелектрики називаються *неполярні*.

Якщо неполярний діелектрик помістити в електричне поле, його атоми деформуються, у результаті чого утворюються диполі, які поведуть себе так само, як і диполі полярного діелектрика (мал. 104, б).



Мал. 104. Деформація (а) та орієнтація (б) молекул неполярного діелектрика в електричному полі

Підбиваємо підсумки

- Усередині провідника, що перебуває в зовнішньому електричному полі, власне електричне поле відсутнє, а надлишкові заряди розподілені по поверхні.
- На відміну від провідників, усередині діелектриків, що внесені в зовнішнє електричне поле, власне електричне поле може існувати.



Я знаю, вмію і розумію

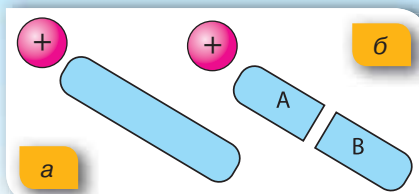


1. Що відбувається з провідником у разі вміщення його в електричне поле?
2. Поясніть, на чому ґрунтується електростатичний захист.
3. Які речовини називають діелектриками? Які бувають види діелектриків?
4. Що відбувається з полярним діелектриком у разі вміщення його в електричне поле?
5. Що відбувається з неполярним діелектриком у разі вміщення його в електричне поле?



ПОЯСНІТЬ

1. У чому відмінність провідників і діелектриків?
2. Незаряджене металеве тіло внесли в електричне поле наелектризованої кулі (мал. 105, а). Після цього його розділили на дві частини (А і В на мал. 105, б). Як заряджені ці частини?



Мал. 105. До завдання 2

Експериментальні й дослідницькі завдання

1. Запропонуйте досліди, які б дали змогу відрізнити провідник від діелектрика.
2. До незаряджених металевих паличок піднесли заряджені кулі (мал.106). Поясніть, як розподіляться заряди на паличках у кожному з випадків.
3. Заряджена паперова гільза підвішена на шовковій нитці. Якщо наблизити руку до гільзи, вона притягається до руки. Поясніть це явище.
4. На тонких шовкових нитках підвішені дві однакові паперові кульки. Одна — заряджена, друга — незаряджена. Як визначити, яка з кульок заряджена, якщо не можна використовувати ніяких додаткових приладів і матеріалів?



Мал. 106. До завдання 2



Механізми електризації тіл. Закон збереження електричного заряду

Електризація дотиком. З'ясувавши особливості внутрішньої будови провідників і діелектриків, поведінку їхніх заряджених частинок в електричному полі, розглянемо особливості електризації цих речовин. Електризацію тіл тертям ми вже частково розглянули в § 27. Дослідами доведено, що на тілах, що контактують, утворюються однакові за величиною, але протилежні за знаком електричні заряди. Слід зазначити, що електризація тіл відбувається під час дотику. Сам процес тертя не є визначальним для електризації. Однак під час тертя електризація є інтенсивнішою унаслідок збільшення площі дотику тіл.

Під час щільного контакту тіл з різних матеріалів, насамперед діелектриків, відбувається перехід електронів від одного тіла до іншого, а отже, одне тіло набуває електрони, а інше — втрачає. Якщо після контакту тіла роз'єднати, то вони будуть різнойменно зарядженими: те, що отримало електрони, стане негативно зарядженим, а те, що втратило, — позитивно зарядженим.

Ви дізнаєтесь

- Яким чином можна електризувати тіло

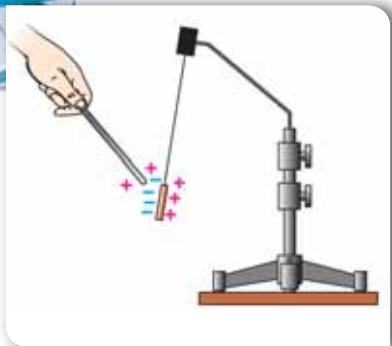
Пригадайте

- Поведінку провідників і діелектриків в електричному полі

Електризація дотиком — це процес набуття тілами, що контактують, електричного заряду внаслідок обміну електронами.

Виявляється, що від дотику з різними речовинами одна й та сама речовина може набувати заряду різних знаків. Причиною такого явища є те, що в різних речовинах електрони по-різному притягуються до ядра: в одних сильніше, в інших — слабше. Ті атоми, у яких електрони містяться далі від ядра і слабше ними утримуються, легше їх втрачають і перетворюються на позитивні йони. Атоми речовин, які приймають електрони, перетворюються на негативні йони.

Електризація через вплив. Виконуючи досліди, ви могли помітити, що тіла починають взаємодіяти відразу після наближення до них електрично зарядженої палички. До того ж не обов'язково доторкуватись наелектризованою паличкою до цих тіл. Чому так відбувається? Як можуть електрони в цьому випадку переміститися з одного тіла на інше?



Мал. 107. Електризація через вплив

Розглянемо ще раз дослід взаємодії незарядженої гільзи з фольги зі скляною електризованою паличкою. Під дією електричного поля позитивно зарядженої палички вільні електрони на металевій гільзі перерозподіляються по її поверхні. Оскільки електрони мають негативний заряд, вони притягуються до позитивно зарядженої палички. Відповідно, з іншого боку гільзи нестача електронів приводить до того, що там переважають позитивно заряджені частинки (мал. 107). Отже, під час електризації через вплив електричного поля відбувається не втрата електронів тілом, а їх перерозподіл. Такий вид електризації називають електризацією *через вплив*.



Електризація через вплив — це перерозподіл електричного заряду в тілі, зумовлений дією на нього електричного поля зарядженого тіла.

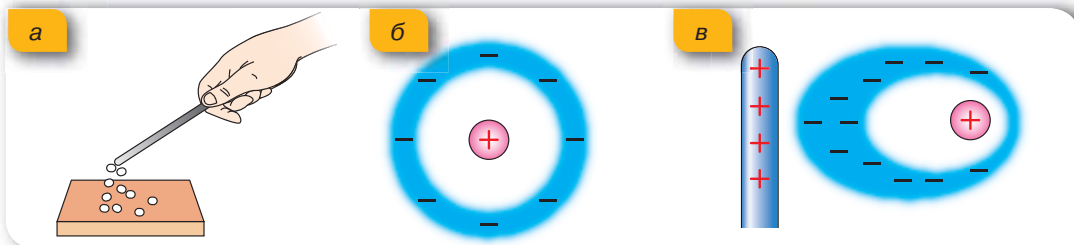
З'ясувавши механізм електризації через вплив, ми можемо пояснити, чому металева гільза завжди притягується до тіла, що має електричний заряд, незалежно від його знака. Спробуйте описати дослід, якби ви його виконували з позитивно зарядженою паличкою.

Електризацією через вплив пояснюється і притягання папірців до наелектризованої палички (мал. 108, *а*). Як відомо, папір є неполярним діелектриком і, на відміну від металу, не містить електронів, які б могли вільно переміщуватись.

У неполярних діелектриків електрони зв'язані з ядром атома (мал. 108, *б*). Проте під дією електричного поля зарядженої палички електрони можуть зміщуватись в електронній хмарі атома, деформуючи її (мал. 108, *в*). У результаті на ближній до палички частині клаптика паперу утворюється заряд, який за знаком протилежний заряду палички, і тому папір притягується до неї.

У цьому разі також відбувається перерозподіл електричного заряду, але вже всередині атома.

Існують й інші способи електризації тіл. Наприклад, метал можна зробити позитивно зарядженим, якщо освітити його відповідним світловим



Мал. 108. Пояснення електризації діелектрика: *а* — притягання клаптиків унаслідок дії позитивно зарядженої палички; *б* — зв'язані електрони в атомі; *в* — зміщення електронів

поток. У результаті взаємодії світла з металом відбувається вивільнення електронів з поверхні металу. Втрачаючи електрони, метал стає позитивно зарядженим.

Проте, якщо ви будете тримати в руці металевий стержень, вам не вдасться електризувати його тертям. Оскільки і метал, і людський організм є добрими провідниками, то електрони, не зупиняючись, рухаються крізь людське тіло до Землі, яка теж є провідником. (Поміркуйте, у який спосіб усе-таки можна наелектризувати металевий стержень тертям.)

Закон збереження електричного заряду. Ознайомившись із різними механізмами електризації тіл, можна зробити важливий висновок: **за будь-якого способу електризації тіл електричні заряди не виникають і не зникають, а лише перерозподіляються між усіма тілами, які беруть участь у тому чи іншому процесі.** Цю властивість описує закон збереження електричного заряду.



Повний заряд системи тіл або частинок, що утворюють замкнену систему, під час будь-яких взаємодій у цій системі залишається сталим:

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

Математично закон збереження електричного заряду може бути сформульований так: *алгебраїчна сума електричних зарядів, що утворюють замкнену систему, під час будь-яких взаємодій у цій системі дорівнює нулю.* Термін «алгебраїчна сума» вживається тому, що електричні заряди є двох видів: позитивні й негативні. Математично позитивним зарядам приписується знак «+», негативним — знак «-».

Зверніть увагу! Як і у випадку закону збереження енергії, і у випадку закону збереження електричного заряду тіла, що взаємодіють, мають утворювати замкнену систему. Тобто вони мають взаємодіяти тільки одне з одним і не взаємодіяти з тілами, що не входять до цієї замкненої системи.

Як можна перевірити виконання закону збереження електричного заряду на досліді? У вже знайомий для вас спосіб натremo ебонітову паличку об вовняну тканину. Роз'єднаємо їх. Кожне з тіл набуло електричного заряду. З'єднаємо їх знову разом. Що, на вашу думку, відбуватиметься? Так, позитивні й негативні заряди компенсують один одного, і тіла «розряджаються». Пригадайте, як у математиці: $-5 + 5 = 0$.

Підбиваємо підсумки

- Під час електризації через дотик відбувається набуття тілами, що перебувають у контакті, електричного заряду внаслідок обміну електронами.
- Під час електризації через вплив відбувається перерозподіл електричного заряду в незарядженому тілі, зумовлений дією на нього електричного поля іншого зарядженого тіла.
- Повний заряд системи тіл або частинок, що утворюють замкнену систему, під час будь-яких взаємодій у цій системі залишається сталим:

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





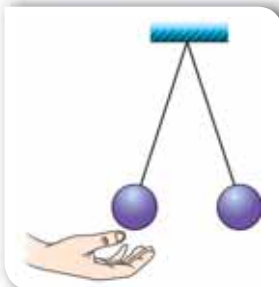
1. Що відбувається під час щільного контакту двох тіл, виготовлених із різних матеріалів?
2. Чим можна пояснити електризацію тіл під час тертя?
3. У чому суть електризації через вплив?
4. Назвіть відмінності у способах електризації дотиком і через вплив.
5. Сформулюйте закон збереження електричного заряду. Наведіть приклади явищ, у яких спостерігається збереження заряду.

**ПОЯСНІТЬ**

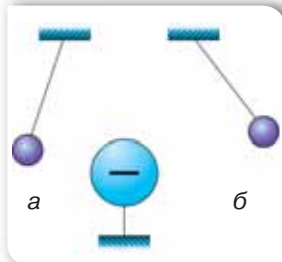
1. Якими способами можна наелектризувати шматок металу?
2. На шовковій нитці підвішена незаряджена гільза з алюмінієвої фольги. Якщо до неї наблизити наелектризовану скляну паличку, то гільза притягнеться до неї. Чому гільза одразу після дотикання до палички відштовхується від неї?
3. Чому метали внаслідок натирання їх вовною або шовком електризуються тільки позитивно?
4. Чи можна одночасно на кінцях скляної палички отримати два різнойменні заряди?

**Вправа 13**

1. Під час електризації тертям ебонітова паличка набула $4 \cdot 10^{12}$ електронів. Визначте електричний заряд на паличці. Як і на скільки змінилася маса палички? Маса електрона — $9,1 \cdot 10^{-31}$ кг.
2. Як можна визначити знак заряду металевої кульки, якщо у вашому розпорядженні є ебонітова паличка та вовняна хустинка?
3. Дві однакові заряджені легкі металеві кульки підвішені на шовкових нитках в одній точці (мал. 109). Як зміниться кут між нитками, якщо доторкнутись до однієї з кульок рукою?
4. Як пояснити, що електризацію тертям помітили на речовинах, які належать до діелектриків?
5. Якими за знаком і значенням є заряди маленьких кульок на малюнку 110?
6. Легка металева кулька висить на шовковій нитці, торкаючись електрично нейтральної металевої палички. Коли до іншого кінця металевої палички, не торкаючись її, підносять кульку, що має електричний заряд, кулька на нитці відхиляється (мал. 111). Поясніть це явище.

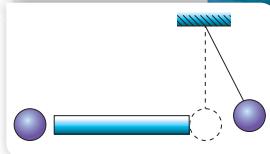


Мал. 109.
До завдання 3

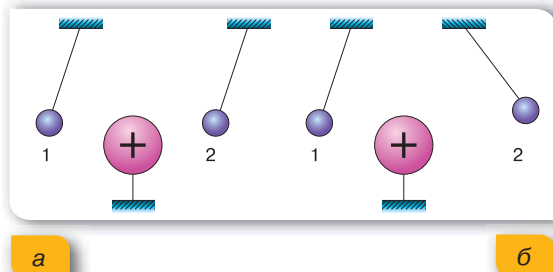


Мал. 110.
До завдання 5

7. Запропонуйте досліди, які б дали змогу відрізнити провідник від діелектрика.
8. Порівняйте випадки електромагнітної взаємодії на малюнку 112, а і б. Які зміни відбулися із зарядом кульки 2 у випадку б? На підставі чого ви робите такі висновки?



Мал. 111.
До завдання 6



Мал. 112. До завдання 8



ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

Дослідження взаємодії заряджених тіл

Мета роботи: дослідити взаємодію наелектризованих тіл. Навчитися розрізняти знаки зарядів після їх електризації.

Прилади та матеріали: паперова гільза, підвішена на шовковій нитці; штатив універсальний з лапкою; лінійка вимірювальна із оргскла (30 см) з міліметровими поділками; гумова смужка; плівка поліетиленова; паперова смужка; шматок капронової тканини; палички для електризації.

Вказівки щодо виконання роботи

1. Спостереження процесу електризації тіл: електризації діелектриків (органічного скла, звичайного скла, ебоніту) і провідників (латунної палички). Для електризації цих тіл візьміть: для скла — папір, шовк, вовну, капронову тканину; для ебоніту — вовну, хутро, капронову тканину; для латуні — гуму, капронову тканину. Як індикатор електризації використовуйте дрібні клептки паперу і шматочок вати, підвішений на довгій нитці. Поясніть явища, які ви спостерігаєте. Зробіть висновки.
2. Доведення існування двох видів електричних зарядів, їхньої взаємодії. Для цього підвісьте на штативі паперову гільзу на шовковій нитці й зарядіть її. Наелектризуйте лінійку з оргскла та гумову смужку (тертям, притискуванням, ударами). (Оргскло у взаємодії з гумою заряджається позитивно.) Піднісьте по чергову заряджену лінійку й гумову стрічку до зарядженої гільзи, не доторкуючись її, і спостерігайте їхню взаємодію. Який за знаком заряд має гільза та гумова смужка?
3. Поясніть явища, які ви спостерігаєте. Зробіть висновки.

§ 32

Подільність
електричного заряду

Ви дізнаєтесь

- За допомогою яких приладів можна спостерігати подільність електричного заряду

Пригадайте

- Що таке електричний заряд
- Що таке електризація

Електроскоп. Електрометр. Досліджувати та спостерігати електризацію тіл і прояви електромагнітної взаємодії можна за допомогою електроскопа й електрометра.

Електроскоп (мал. 113) — прилад для демонстрації наявності електричного заряду. Він складається з металевого стержня — електрода та підвішених до нього двох листочків фольги. Перед початком роботи стержень електроскопа не наелектризований, і заряджені мікрочастинки рівномірно розподілені по ньому (мал. 113, б). У результаті наближення позитивно зарядженої палички до металевого стержня

електроскопа відбувається перерозподіл електрично заряджених частинок усередині самого стержня і листочків фольги (мал. 113, в). Листочки виявляються однойменно зарядженими і тому відхиляються один від одного (мал. 113, в, г). Для того щоб листочки фольги не коливалися від руху повітря, їх зазвичай поміщають у скляну посудину. Електроскоп як фізичний прилад зіграв важливу роль на ранніх етапах вивчення електрики.

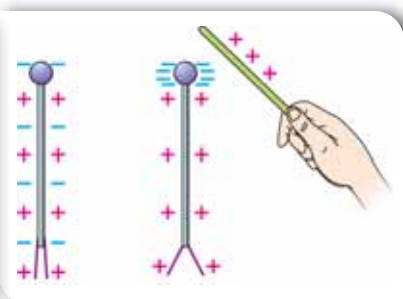
Для вимірювань величини електричного заряду використовують електрометри (мал. 114, а). На верхній частині стержня електрометра закріплюють порожнисту металеву сферу.

Електричний заряд, наданий металевій сфері, передається металевому стержню і стрілці. У результаті взаємного відштовхування стрілка відхиляється від стержня. За кутом відхилення, що фіксується шкалою приладу, можна вимірювати величину наданого заряду (мал. 114, б).

Дискретність (подільність) електричного заряду. За допомогою електроскопа або електрометра можна дослідити подільність (дискретність) електричного заряду.



а



б

в



г

Мал. 113. Електроскоп: а — зовнішній вигляд; б, в — механізм електризації; г — принцип дії

Розглянемо дослід. Візьмемо два однакові електрометри. Зарядимо один із них. До того ж його стрілка, як бачимо з малюнку 115, а, відхилилася на чотири поділки. З'єднаємо ці електрометри металевим провідником з ручкою, що виготовлена з діелектрика. У результаті з'єднання частина заряду із зарядженого електрометра переходить на незаряджений.

Зверніть увагу! На малюнку 115, б бачимо, що стрілка кожного електрометра відхилилася на дві поділки. Тобто початковий заряд зарядженого електрометра поділився на дві рівні частини.

Якщо роз'єднати ці електрометри й один із них розрядити, доторкнувшись до його кульки рукою, а потім, як і в першому випадку, з'єднати ці електрометри, то заряд зарядженого електрометра знову поділиться на дві рівні частини.

Можна зробити висновок: **якщо заряджене тіло привести в контакт із точно таким самим тілом, але незарядженим, то заряд розподілиться між ними порівну.**

Поміркуйте, що було б, якби під час проведення дослідів металевий провідник поклали на кулі електрометрів голою рукою (без ручки із діелектрика).

Якщо заряджене й незаряджене тіла будуть різних розмірів, то виявиться, що електричний заряд поділиться таким чином, що *провідник з більшою площею поверхні набуде більшого електричного заряду!*

Ця особливість використовується для захисту електричних приладів від накопичення статичної електрики на їхніх корпусах. Оскільки розміри Землі більші за розміри будинків й електричних приладів, то майже весь заряд із тіл переходить на Землю. Для такого захисту застосовуються металеві провідники, з'єднані з добре провідними шарами ґрунту. Такий вид захисту називають *заземленням*.

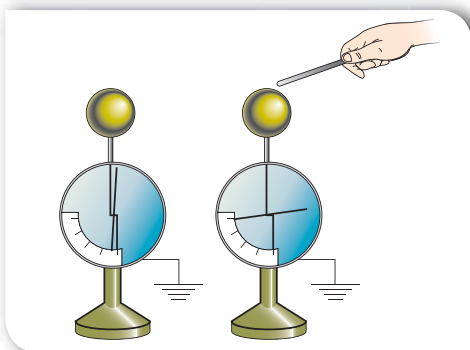
Вимірювання елементарного електричного заряду. До кінця XIX ст. накопичений



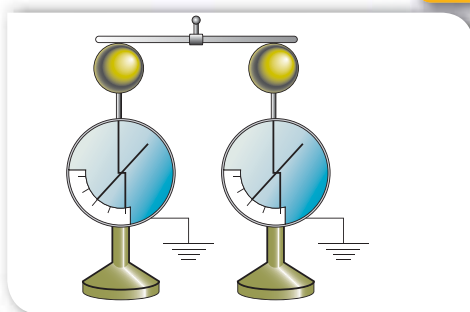
а

б

Мал. 114. Електрометр:
а — зовнішній вигляд; б — принцип дії



а



б

Мал. 115. Досліди з подільності електричного заряду:
а — передача заряду одному з електрометрів;
б — поділ електричного заряду

матеріал досліджень свідчив про існування носія елементарного (мінімального) негативного електричного заряду, який дістав назву «електрон». Проте це твердження було гіпотезою, оскільки не було підтверджено експериментально.

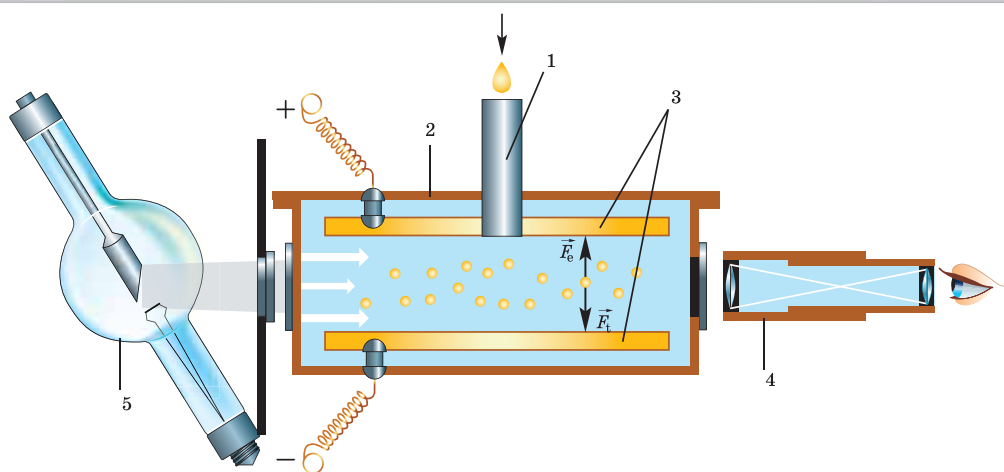
У 1910–1911 рр., незалежно один від одного, американський учений Роберт Міллікен і російський фізик Абрам Йоффе провели експерименти з вивчення дискретності (подільності) електричного заряду та визначення заряду електрона. У своїх дослідях вони застосовували дещо відмінні установки, які, проте, були схожими принципово.

Експериментальна установка, що зображена на малюнку 116, складається із закритої ємності (захисного кожуха) 2, з якої відкачали повітря до стану вакууму. У середині ємності є дві металеві пластини 3, яким можна надавати певного заряду. Через розпилювач 1 в установку подавали дрібні краплинки олії. Поведінку краплинок можна було спостерігати через спеціальне віконце за допомогою мікроскопа 4.

У разі відсутності електричного поля заряджені краплинки у вакуумі рухалися донизу, проте цей процес можна було зупинити, якщо зарядити верхню пластину позитивно, а нижню негативно. Змінюючи величину заряду пластин, учені домоглися того, що краплинки зависли між пластинами.

Унаслідок опромінювання рентгенівськими або ультрафіолетовими променями із джерела 5 краплинки втрачали заряд і знову рухалися донизу. Їх знову зупиняли, змінюючи заряд пластин. Такий процес повторювали кілька разів, обчислюючи заряд краплинок за спеціальними формулами.

У результаті цих досліджень вдалося виявити, що заряд краплинок завжди змінювався на певну величину або ж був кратним цій величині. Так і було зроблено висновок про існування маленької частинки, що несе



Мал. 116. Схема експериментальної установки дослідження Міллікена:

1 — спеціальний розпилювач масла; 2 — захисний кожух; 3 — паралельні заряджені пластини; 4 — мікроскоп; 5 — джерело світла (ліворуч від установки)

на собі неподільний електричний заряд. Цією частинкою є електрон, і його заряд дорівнює $-1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Заряд електрона не можна змінити, бо це його невід’ємна властивість.

Підбиваємо підсумки

- Досліджувати та спостерігати електризацію тіл і прояви електромагнітної взаємодії можна за допомогою електроскопа й електрометра.
- Електроскоп фіксує наявність електричного заряду. Електрометром можна визначати й порівнювати величину електричного заряду.
- Якщо двома однаковими тілами, одне з яких заряджене, а друге — незаряджене, доторкнутися одне до одного, то електричний заряд розділиться між ними порівну.
- Якщо заряджене й незаряджене тіла будуть різних розмірів, то після контакту заряд ділитиметься нерівномірно: провідник з більшою площею поверхні набуде більшого електричного заряду.



Я знаю, вмію і розумію



1. Для чого застосовують електроскоп? Який принцип його дії?
2. Опишіть досліди, що підтверджують подільність електричного заряду.
3. Хто із вчених проводив досліди з вимірювання елементарного електричного заряду?



ПОЯСНІТЬ

1. Чому відхилення листочків фольги електроскопа не залежить від знака заряду?
2. Чи може тіло мати електричний заряд $1 \cdot 10^{-19}$ Кл; $3,2 \cdot 10^{-19}$ Кл?

Експериментальні й дослідницькі завдання

1. Дотикаються дві однойменно заряджені металеві кулі однакового діаметра. Одна з куль — порожниста. Як розподіляться заряди на кулях після дотику?
2. До кондуктора зарядженого електрометра піднесіть (не торкаючись його) заряджений металевий стержень. Поясніть, як зміниться відхилення стрілки.
3. На одній із двох однакових кульок є надлишок одинадцяти електронів. Кульки сполучили між собою провідником. Як розподіляться електрони? Умови електричної системи виключають їх коливання.
4. Зі скляної банки з капроною кришкою виготовте електроскоп (мал. 117). Перевірте його в дії.



Мал. 117.
До завдання 4

§ 33

Закон Кулона

Ви дізнаєтесь

- Як кількісно описується електромагнітна взаємодія

Пригадайте

- Як взаємодіють одноіменно й різноіменно заряджені тіла

Досліди Кулона. Настав час з'ясувати, у який спосіб можна кількісно виміряти силу, що виникає між електрично зарядженими тілами, і дізнатися, від чого вона залежить.

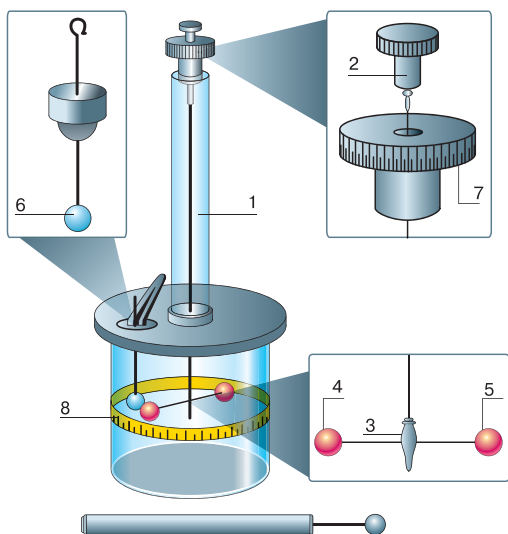
Виконуючи досліди, ми бачили, що сила взаємодії між зарядженими тілами залежить від ступеня електризації тіл (їхнього електричного заряду) і відстані між ними. Оскільки електризувати можна тіла довільної форми й розмірів, то отримати єдину формулу, яка описувала б електричну взаємодію

будь-яких заряджених тіл за довільних умов, неможливо. Однак це можливо, якщо вдається до деякого спрощення і моделювання. Наприклад, дослідити взаємодію точкових зарядів.

Взаємодію таких точкових електричних зарядів досліджував французький фізик Шарль Кулон. У своїх дослідах Кулон використав маленькі заряджені кульки (які можна вважати точковими електричними зарядами) і крутильні терези.

Перед тим як дослідити силу взаємодії між зарядженими кульками, з'ясуємо, що таке крутильні терези (мал. 118).

До верхньої кришки скляного циліндра прикріплена трубка, у середині якої розташований пружний дріт 1, прикріплений до рукоятки 2, яку можна обертати. До пружного дроту підвішене легке коромисло 3, з одного боку якого міститься металева кулька 4, а з іншого — противага 5. Через отвір у кришці на спеціальному тримачі можна вносити у крутильні терези наелектризовану кульку 6, однакову за розміром із кулькою 4. Обертаючи верхню кришку циліндра, наелектризованою кулькою 6 торкаються кульки 4. Електричний заряд розподіляється між кульками порівну. Внаслідок електромагнітної взаємодії коромисло з кулькою 4 повертається й закручує дріт доти, поки сила пружності, що виникла в ньому, не врівноважує



Мал. 118. Крутильні терези

силу електричної взаємодії. Кути закручування визначаються за допомогою двох шкал із градусними поділками: перша — на верхній кришці 7, що обертається, друга — на бічній поверхні скляного циліндра 8.

Спочатку Кулон з'ясовував, як залежить сила взаємодії від відстані між кульками. Виявилось, що в разі зменшення відстані у два, три, чотири рази сила взаємодії збільшувалася відповідно в чотири, дев'ять і шістнадцять разів. Це дало змогу зробити висновок: **сила взаємодії двох точкових зарядів обернено пропорційна квадрату відстані між ними:**

$$F_{\text{ел}} \sim \frac{1}{R^2}.$$

Складність експерименту полягала в тому, що вчений не володів точним методом вимірювання заряду на кульках, тому йому довелося застосувати такий прийом. Спочатку він вимірював силу взаємодії кульок, що мали однакові заряди. Потім до однієї з кульок (наприклад, до кульки 4) він торкався незарядженою кулькою такого самого розміру, яку потім віддаляв на значну відстань. Оскільки заряд розподілявся порівну між обома кульками, заряд кульки 4 зменшувався вдвічі. І Кулон уже вимірював силу взаємодії між кульками, що мали різні заряди.

Виконуючи дослід кілька разів, Кулон дійшов висновку: **сила електричної взаємодії зарядів пропорційна добутку модулів цих зарядів:**

$$F_{\text{ел}} \sim |q_1| \cdot |q_2|.$$

Закон Кулона. У результаті досліджень Кулон встановив закон, що згодом отримав його ім'я, а силу взаємодії між електрично зарядженими тілами називають електричною, або кулонівською силою.

Закон Кулона

Сила взаємодії двох нерухомих точкових зарядів прямо пропорційна добутку модулів цих зарядів, обернено пропорційна квадрату відстані між ними та напрямлена вздовж прямої лінії, що з'єднує ці заряди:

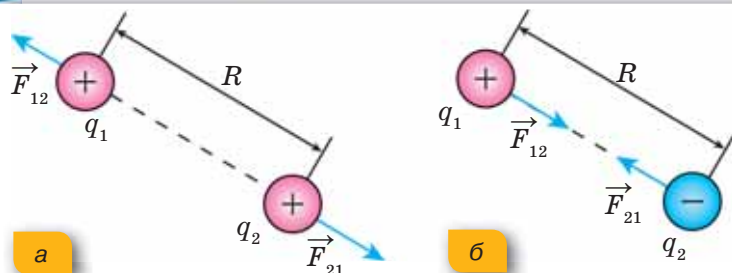
$$F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{R^2},$$

де k — коефіцієнт пропорційності.

У СІ коефіцієнт пропорційності $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$.

Фізичний зміст коефіцієнта пропорційності: цей коефіцієнт показує, що два точкові заряди по 1 Кл, що містяться у вакуумі на відстані 1 м один від одного, взаємодіють із силою $9 \cdot 10^9$ Н. Як бачимо, це досить велика сила!

За інших значень електричних зарядів і відстаней між ними значення «кулонівської» сили буде іншим. На величину сили взаємодії електричних зарядів впливає також і середовище, у якому вони перебувають. У вакуумі сила взаємодії буде найбільшою.



Мал. 119.
Напрямки сил
взаємодії точкових
зарядів:
а — однойменних;
б — різнойменних

Зверніть увагу й на те, що у формулюванні закону йдеться про модулі електричних зарядів. Зрозуміло, що на числове значення сили взаємодії знак електричного заряду не впливає, проте напрямки сили взаємодії визначається саме знаками зарядів (мал. 119).

Підбиваємо підсумки

- Сила взаємодії двох нерухомих точкових зарядів прямо пропорційна добутку модулів цих зарядів, обернено пропорційна квадрату відстані між ними та спрямована вздовж прямої лінії, що з'єднує ці заряди:

$$F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{R^2},$$

де k — коефіцієнт пропорційності, який дорівнює $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$.



Я знаю, вмію і розумію

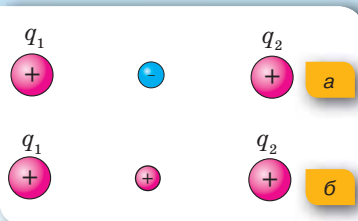


1. Сформулюйте закон Кулона.
2. Чому Шарль Кулон, виконуючи дослід, був упевнений, що електричний заряд змінюється саме вдвічі?
3. Для чого у крутильних терезах, що використовував Шарль Кулон у своїх дослідах, призначений пружний дріт?
4. Чому у формулюванні закону Кулона слід обов'язково користуватися терміном «точковий заряд»?
5. Як зміниться сила взаємодії двох точкових зарядів, якщо відстань між ними збільшити втричі? Якщо заряд кожного з них збільшити вдвічі?



ПОЯСНІТЬ

1. Ви отримали завдання розділити навіп електричний заряд металеві кульки. Що необхідно мати, щоб виконати це завдання? Які ваші дії?
2. Два позитивні заряди перебувають на певній відстані один від одного. Як зміниться сила, що діє на кожний із зарядів, якщо між ними розмістити маленьку негативно заряджену кульку (мал. 120, а)? А якщо позитивно заряджену кульку (мал. 120, б)?



Мал. 120. До завдання 2



ВЧИМОСЯ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ЗАДАЧІ

Задача

Заряди двох однакових маленьких кульок дорівнюють -2 нКл і 10 нКл. Кульки привели в контакт одна з одною, після чого їх розвели на початкову відстань. У скільки разів змінилася сила взаємодії між кульками?

Дано:

$$q_1 = -2 \text{ нКл}$$

$$q_2 = 10 \text{ нКл}$$

$$\frac{F}{F_0} = ?$$

Розв'язання:

$$\text{Початкова сила взаємодії між кульками } F_0 = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{R^2}.$$

Після дотику заряд між кульками розподілиться порівну:

$$q'_1 = q'_2 = q = \frac{-2 \text{ нКл} + 10 \text{ нКл}}{2} = 4 \text{ нКл},$$

і сила взаємодії дорівнюватиме: $F = k \frac{q^2}{R^2}$.

$$\text{Отже: } \frac{F}{F_0} = \frac{q^2}{|q_1| \cdot |q_2|},$$

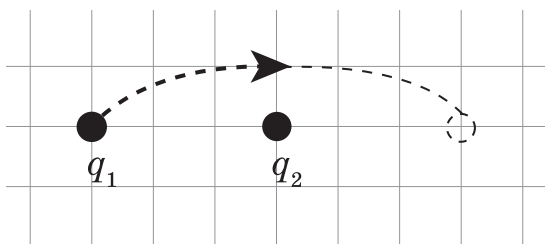
$$\frac{F}{F_0} = \frac{16 \text{ нКл}}{20 \text{ нКл}} = 0,8.$$

Відповідь: зменшиться в 0,8 раза.

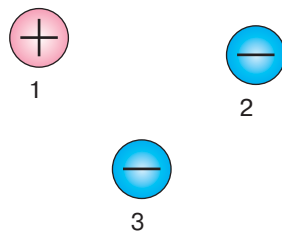


Вправа 14

- На малюнку 121 схематично зображено два точкові заряди, розміщені у вакуумі. Як зміниться напрямок і модуль сили взаємодії між зарядами, якщо один з них перенести в напрямку, показаному стрілкою?
- На малюнку 122 зображено розташування на площині трьох тіл, що мають однаковий за модулем заряд. Укажіть схематично напрямок сил взаємодії між тілами.



Мал. 121. До завдання 1



Мал. 122. До завдання 2

3. Дві маленькі кульки мають заряди q та $-q$ і перебувають на деякій відстані. Як зміниться сила їх взаємодії, якщо кожній кульці додати заряд $2q$? Розташування кульок не змінюється.
4. Два позитивні заряди 1 і 2 нКл перебувають на відстані 2 см один від одного. З якою силою вони відштовхуються?
5. Обчисліть відстань між двома точковими зарядами 10 нКл і 3 нКл, якщо сила їх взаємодії становить $24 \cdot 10^{-5}$ Н.
6. Два однакові точкові позитивні заряди перебувають на відстані 10 мм один від одного. Заряди взаємодіють із силою $9 \cdot 10^{-3}$ Н. Визначте величини цих зарядів.
7. Дві однакові маленькі заряджені кульки перебувають на відстані 4 см одна від одної. Заряд однієї з них 8 нКл, а заряд другої дорівнює -2 нКл. Кульки привели в дотик і знову розсунули на початкову відстань. Визначте силу взаємодії кульок до та після дотику.
- 8*. Точкові заряди 20 нКл і 40 нКл закріплені на відстані 10 см один від одного у вакуумі. Посередині між ними розміщують точковий заряд -5 нКл. Обчисліть модуль і напрямок результуючої сили, яка діє на цей заряд.



Перевірте себе (§ 27–33)



Рівень А (початковий)

1. Укажіть прилад, призначений для визначення наявності електричного заряду на тілі.
- А манометр
 - Б електроскоп
 - В барометр
 - Г динамометр
2. Що є вільними носіями заряду в металевих провідниках?
- А негативно заряджені йони
 - Б позитивно заряджені йони
 - В йони обох знаків
 - Г електрони
3. Що відбуватиметься з підвішеною на шовковій нитці незарядженою легкою кулькою, якщо до неї піднести заряджене тіло?
- А кулька притягнеться до зарядженого тіла
 - Б кулька відштовхнеться від зарядженого тіла
 - В кулька спочатку притягнеться до зарядженого тіла, а після контакту з ним — відштовхнеться
 - Г оскільки кулька не заряджена, то вона не буде взаємодіяти із зарядженим тілом

4. Укажіть правильне продовження речення: «Якщо до легкої гільзи, що висить на шовковій нитці, піднести, не торкаючись, негативно заряджену паличку, то на найближчому до палички боці гільзи утворюється...»
- А надлишок електронів, і він набуде позитивного заряду
 Б надлишок електронів, і він набуде негативного заряду
 В нестача електронів, і він набуде позитивного заряду
 Г нестача електронів, і він набуде негативного заряду
5. Визначте, як зміниться сила взаємодії між зарядами, якщо відстань між ними зменшити в 3 рази.
- А збільшиться в 3 рази
 Б збільшиться в 9 разів
 В зменшиться в 9 разів
 Г зменшиться в 3 рази
6. Укажіть правильне продовження речення: «Унаслідок електризації тіло може набутися заряду, кратного...»
- А $1/2$ заряду електрона
 Б $1/3$ заряду електрона
 В $1,5$ заряду електрона
 Г заряду електрона

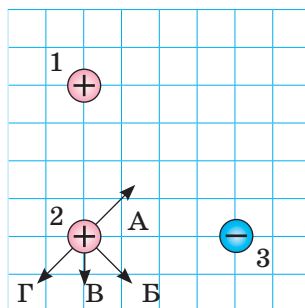
Рівень В (середній)

1. На заряд 3 мКл , унесений у певну точку поля, діє сила 24 мН . Визначте напруженість поля в цій точці.
- А 72 Н/Кл Б 8 кН/Кл В 125 Н/Кл Г 8 Н/Кл
2. Визначте відстань між електричними зарядами 4 і 9 нКл , на якій вони відштовхуються із силою $8,1 \text{ мкН}$.
- А 3 м Б 20 см В 4 см Г 4 м
3. Маємо три однакові металеві кульки, підвішені на шовкових нитках. Заряд однієї дорівнює -12 нКл , другої — 2 нКл , а третьої — 4 нКл . Кульки зіткнули та розвели. Який заряд матимуть кульки після цього?
- А 8 нКл
 Б 2 нКл
 В -8 нКл
 Г -2 нКл

Рівень С (достатній)

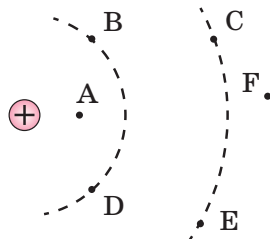
1. На малюнку зображено взаємне розташування трьох однакових за модулем зарядів. Укажіть напрямок результуючої сили, що діє на другий заряд з боку першого та третього зарядів.

- А напрямок А
 Б напрямок Б
 В напрямок В
 Г напрямок Г



2. Точковий електричний заряд уміщують послідовно в точки електричного поля, позначені на малюнку. Порівняйте сили, що діють на пробний заряд у позначених точках, і встановіть відповідність між розміщенням точок і величиною сил.

- | | | | |
|---|------------------|---|-----------|
| 1 | сила мінімальна | А | точка А |
| 2 | сили однакові | Б | точки В—С |
| 3 | сила максимальна | В | точка D |
| | | Г | точки С—Е |
| | | Д | точка F |



Рівень D (високий)

- Заряд одного з точкових тіл у 5 разів більший за інший. Тіла приводять у дотик і розміщують на тій самій відстані. Визначте, як зміниться сила взаємодії тіл. Розв'яжіть задачу для двох випадків: тіла заряджені однойменно й різнойменно.
- Укажіть спосіб, за допомогою якого можна надати позитивного заряду металевій кульці, маючи лише заряджену негативно ебонітову паличку.



Електричний струм. Джерела електричного струму

Ви дізнаєтесь

- Про умови, що необхідні для існування електричного струму
- Якими бувають джерела струму

Пригадайте

- Які речовини є провідниками

Електричний струм. Оскільки людина не може безпосередньо бачити процес проходження електричного струму, то, щоб зафіксувати його, використовують спеціальні прилади або індикатори, зокрема гальванометри (мал. 123).

Проведемо дослід. Наелектризуємо кулю на електрометрі (мал. 124, а). Доторкнемося до неї індикатором (металевим провідником із неонову лампочкою). Побачимо короточасний спалах лампочки (мал. 124, б). Якщо ж неонову лампочку закріпити на стержні з діелектрика й торкнутися зарядженої кулі електрометра, то лампочка не засвітиться.

Який висновок зробимо? Електричний струм спостерігається у провідниках і відсутній у діелектриках. Тобто електричний струм можливий за наявності в речовині електрично заряджених частинок, які можуть переміщуватися (такі частинки ще називають *носіями струму*).



а



б



в

Мал. 123. Гальванометри: а — демонстраційний; б — лабораторний; в — цифровий

Електричний струм — це процес напрямленого руху заряджених частинок.

Залежно від середовища розрізняють особливості проходження електричного струму, зокрема в металах, рідинах і газах, де носіями струму можуть бути вільні електрони, позитивні й негативні йони. Ці особливості детальніше розглянемо згодом. У параграфах 34–47 дослідження електричного струму будемо здійснювати за допомогою металевих провідників, у яких носіями струму є вільні електрони.

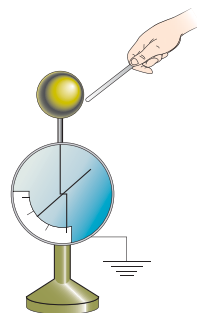
Які ще висновки ми можемо зробити з досліду? Дослід демонструє наявність короткочасного електричного струму в певному напрямку. А що потрібно, щоб струм тривав певний час?

Для цього нам необхідно з'ясувати умови, за яких виникає електричний струм. Що змушує заряджені частинки рухатись у певному напрямку?

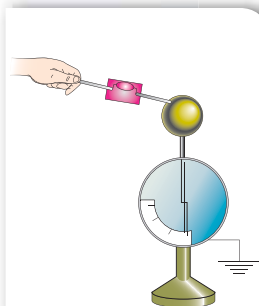
Як відомо, рух і взаємодія електрично заряджених частинок можливі завдяки дії електричного поля. Справді, під дією електричного поля рух заряджених частинок, які можуть вільно переміщуватися в середовищі, набуде впорядкованого (направленого) характеру, що й означатиме появу в цьому середовищі електричного струму.

Отже, для виникнення і існування електричного струму необхідна *наявність носіїв струму та електричного поля*, дія якого створює і підтримує їхній напрямлений рух.

Джерела електричного струму. У прикладі, який ми розглядали на початку параграфа, кулю зарядженого



а



б

Мал. 124.
Отримання короткочасного електричного струму:
а — електризація електрометра;
б — фіксування струму індикатором

електрометра з'єднали провідником із Землею (оскільки металевий провідник з неоновю лампочкою тримали рукою, а, як відомо, тіло людини також є провідником). У провіднику електричне поле, а разом з ним і електричний струм, припиняється, як тільки весь заряд кулі, що утворює електричне поле, перейде в Землю. Щоб електричний струм у провіднику протікав як загодно довго, потрібно в ньому весь час підтримувати електричне поле, тобто забезпечувати на одному кінці провідника надлишок заряду певного знака, а на другому — його нестачу. Такий сталий розподіл зарядів на кінцях провідника створюється і підтримується *джерелом електричного струму*.

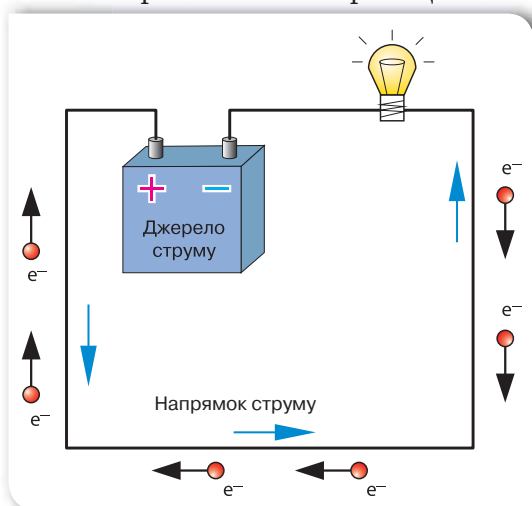


Джерело електричного струму — це пристрій, у якому відбувається перетворення певного виду енергії (механічної, хімічної, теплової, світлової) в електричну.

У кожному джерелі струму виконується робота з розділення позитивно й негативно заряджених частинок, які накопичуються на полюсах джерела. Відповідно до цього полюси умовно позначають знаками «+» і «-». Історично склалося так, що за напрямок електричного струму приймають напрямок руху позитивно заряджених частинок, тобто напрямок від позитивно зарядженого полюса джерела струму до негативно зарядженого. (Незважаючи на те, що найчастіше вільними носіями струму є електрони і їхній напрямок руху протилежний (мал. 125).)

Узагальнимо умови, необхідні для утворення та існування електричного струму:

1. Наявність у певному середовищі електричних зарядів, які можуть у ньому рухатися.
2. Наявність у певному середовищі електричного поля, енергія якого витрачається на переміщення зарядів.



3. Щоб струм існував постійно, потрібно утворити замкнене електричне коло, що буде складатись із джерела струму, споживачів електричної енергії, вимикачів та інших елементів, з'єднаних провідниками.

Хімічні джерела струму. Найпоширенішими джерелами струму є хімічні. Перше найпростіше хімічне джерело струму, яке не втратило свого практичного значення й дотепер, створив у 1799 р. італійський фізик Алессандро Вольта й назвав його гальванічним елементом на честь одного із засновників вчення про електрику Луїджі Гальвані.

Мал. 125. Напрямок електричного струму

Найпростіший гальванічний елемент можна виготовити, якщо взяти дві пластини — цинкову та мідну — й опустити їх у розчин сірчаної кислоти. Між пластинами й сірчаною кислотою будуть відбуватися хімічні реакції, у результаті яких одна з пластин набуде позитивного заряду, інша — негативного. Ці пластини називаються електродами (полюсами) джерела струму, до того ж кожний з електродів має свою назву: позитивно заряджений електрод називається **анодом**, негативно заряджений — **катодом**. Якщо полюси з'єднати провідником, то по ньому проходитиме електричний струм (мал. 126, а). Із часом гальванічний елемент виходить із ладу, оскільки закінчується запас речовин, необхідних для хімічних реакцій.

Гальванічні елементи (мал. 126, б) можуть відрізнятися формою і наповненням, але конструктивно будь-який гальванічний елемент складається із двох *електродів* та *електроліту*. Електролітом слугує, як правило, рідка або желеподібна суміш хімічних речовин, які вступають у хімічні реакції з речовинами електродів. Електродами є різні метали. Найчастіше електроди занурені в окремі електроліти, відокремлені один від одного мембранами (сепараторами). Унаслідок хімічних реакцій на електродах накопичуються заряди відповідного знака. На малюнку 127, с. 166 зображено внутрішню будову цинково-марганцевого елемента.



Луїджі Гальвані
(1737–1798)

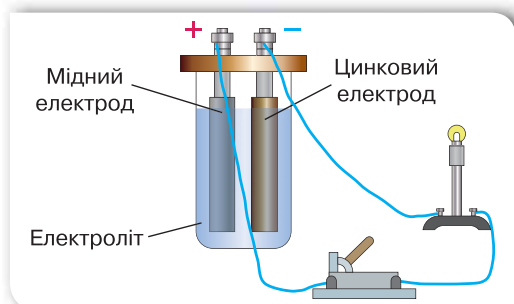
Італійський медик і фізик, засновник електрофізіології



Алессандро Джузеппе Вольта
(1745–1827)

Італійський фізик і фізіолог, сконструював першу електричну батарею

Гальванічні елементи — хімічні джерела струму, у яких відбуваються хімічні реакції, завдяки яким виконується робота з розподілу зарядів, тобто хімічна енергія перетворюється в електричну.

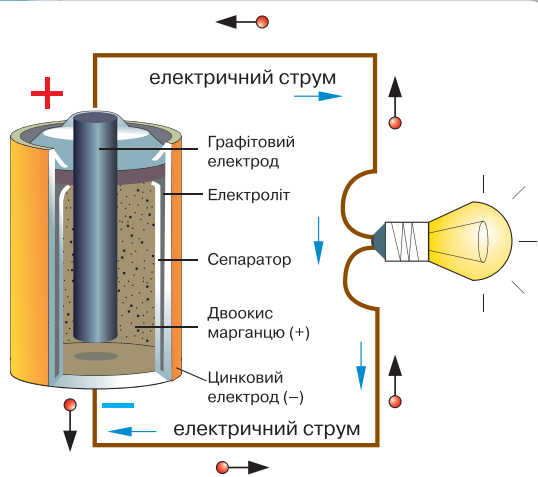


а



б

Мал. 126. Гальванічні елементи: а — принцип дії; б — різні види гальванічних елементів



Мал. 127. Внутрішня будова гальванічного елемента



а



б

Мал. 128. Батареї:
а — акумуляторна;
б — гальванічних елементів

Різновидом гальванічних джерел струму є *електричні акумулятори* (від латин. «акумуляторе» — нагромаджувати). Найпростіший акумулятор складається з двох свинцевих пластин (електродів), уміщених у розчин сірчаної кислоти. Щоб акумулятор став джерелом струму, його потрібно зарядити. У процесі зарядки внаслідок хімічних реакцій один електрод акумулятора стає позитивно зарядженим, а другий — негативно зарядженим. Після заряджання акумулятор можна використовувати як самостійне джерело струму. Акумулятор працює до того часу, поки свинцеві пластини не відновляться до початкового (чистого) стану. Потім акумулятор можна знову зарядити.

Як акумулятори, так і гальванічні елементи можна об'єднувати в батареї (мал. 128): акумуляторну або батарею гальванічних елементів.

Інші види джерел струму. Прикладом джерела електричного струму, в якому механічна енергія перетворюється в електричну, є *електрофорна машина* (мал. 129, а). Під час обертання її дисків відбувається розділення електричних зарядів.

Перетворення теплової енергії в електричну відбувається в *термоелементах* (мал. 129, б). Найпростішим термоелементом є два спаяні дроти з різних металів. Якщо нагріти місце спаювання, то в провіднику виникне електричний струм. Особливо ефективним у термоелементах є поєднання металевих провідників і напівпровідників.

Джерелами струму, в яких в електричну енергію перетворюється енергія світла, є напівпровідникові пристрої, що називаються *фотоелементами* (мал. 128, в).

Вибір джерел струму визначається сферою їх застосування. Так, в автомобілях викорис-



а



б



в

Мал. 129. Інші види джерел струму: а — електрофорна машина, б — термоелемент, в — фотоелемент

товують досить важкі, проте дешевші кислотні акумуляторні батареї. У мобільних телефонах — легкі й безпечні, проте дорожчі літій-іонні акумулятори. Джерела електричного струму з фотоелементами використовуються для освітлення й обігріву будинків, живлення автомобілів, побутових пристроїв.

Підбиваємо підсумки

- Електричним струмом називають упорядкований (спрямований) рух заряджених частинок.
- Основними умовами існування електричного струму є:
 1. Існування вільних носіїв заряду.
 2. Наявність джерела струму (джерела зовнішнього електричного поля).
 3. Замкненість провідників, по яких протікає струм.
- Джерела електричного струму — це пристрої, в яких відбувається перетворення різних видів енергії в електричну.
- Джерела електричного струму за особливостями перетворення енергії, що відбуваються в них, розподіляють на два основні види: хімічні та фізичні. У хімічних джерелах електричну енергію отримують завдяки окислювально-відновлювальним хімічним реакціям. Фізичні джерела забезпечують перетворення інших видів енергії (механічної, теплової, світлової) в електричну.
- За напрямком електричного струму приймають напрямок руху позитивно заряджених частинок.



1. За яких умов виникає та існує електричний струм? Дайте визначення електричного струму.
2. Як визначають напрямок електричного струму?
3. Що називають джерелом електричного струму?
4. Назвіть види джерел електричного струму.
5. Які перетворення енергії відбуваються в джерелах електричного струму?



ПОЯСНІТЬ

1. Що необхідно зробити, щоб на двох електрометрах, з'єднаних металевим провідником, підтримувати рівні за значенням і протилежні за знаком електричні заряди?
2. Чи можливо отримати електричний струм без джерела струму? Поясніть за допомогою прикладів.
3. Поясніть, чим обумовлений шкідливий вплив гальванічних елементів на природу. Поясніть, чому не менш шкідливими є думки: «Якщо я викину лише одну батарейку на смітник, то нічого не станеться».



ДОМАШНІ ДОСЛІДИ ТА СПОСТЕРЕЖЕННЯ

Найпростіший гальванічний елемент ви можете виготовити в домашніх умовах. Для цього вам будуть потрібні лимон, мідний дріт і залізний цвях.

Виготовте джерело струму та переконайтеся, що воно працює, з'єднавши його провідниками з гальванометром (мал. 130).

Які ще, на вашу думку, овочі та фрукти можна використовувати для цього? Чи можна в такий спосіб отримати джерело, від якого можна було б зарядити мобільний телефон?



Мал. 130. Саморобне джерело струму

§ 35

Дії електричного струму

Рух електрично заряджених частинок у провідниках людське око не здатне спостерігати. Для цього застосовують спеціальні прилади. До того ж електричний струм спричиняє цілу низку явищ, за якими можна визначити його наявність.

Теплова дія струму. Як відомо, температура тіла пов'язана з хаотичним рухом частинок речовини. Електричний струм також зумовлений рухом частинок речовини (у цьому разі — електрично заряджених). Отже, електричний струм і температура — взаємопов'язані? Перевіримо на досліді.

Приєднаємо до полюсів джерела струму нікеліновий або ніхромовий дріт (мал. 131). У результаті досліду бачимо, як дріт нагрівається, розжарюється до червоного світіння і провисає. Спостерігаємо **теплову дію струму**.

Теплова дія струму пояснюється тим, що сила електричного поля розганяє заряджені частинки, збільшуючи їх кінетичну енергію, а отже, приводить до нагрівання.

Для деяких речовин таке нагрівання може викликати й світлову дію. Наприклад, в електричних лампах розжарювання, де вольфрамова нитка нагрівається до яскравого світіння.

Теплову дію струму можна спостерігати на прикладі нагрівання спіралей електричної лампи розжарювання, електропраски, електроплити, електричного обігрівача (мал. 132).

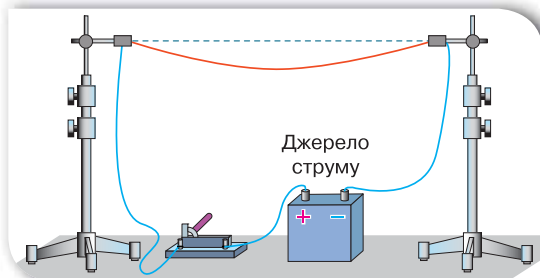
Теплова дія струму широко використовується під час контактного зварювання металів (мал. 133, с. 170). Крізь деталі, що зварюють, пропускають

Ви дізнаєтесь

- Як проявляє себе електричний струм і як це можна використати

Пригадайте

- Що таке електричний струм
- Як можна «спостерігати» за електричним струмом



Мал. 131. Теплова дія струму

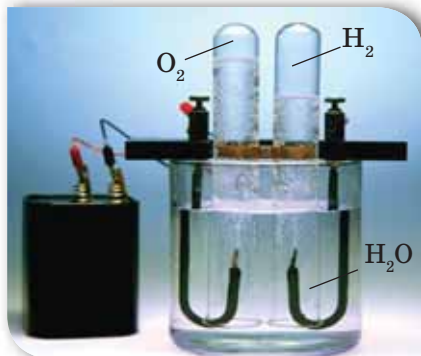


Мал. 132. Застосування теплової дії струму в побутових приладах



Мал. 133.

Використання теплової дії струму під час контактного зварювання металів



Мал. 134. Розкладання води на водень і кисень унаслідок проходження електричного струму



Мал. 135. Магнітна дія струму

струм великої сили. У результаті в місцях контактів деталі дуже нагріваються й зварюються.

Теплова дія електричного струму спостерігається не лише в металевих провідниках, а й у рідких і газоподібних.

Хімічна дія струму. Вивчаючи хімічні джерела струму, ми з'ясували, що внаслідок хімічних реакцій здійснюється вивільнення електрично заряджених частинок, які накопичуються на відповідних полюсах джерела.

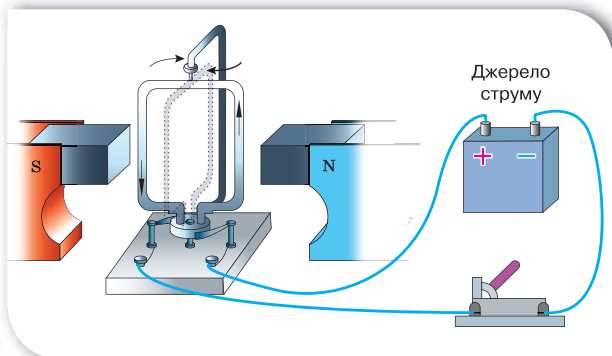
Якщо ж електричний струм пропускати через водні розчини кислот, лугів і солей, то на металевих електродах, занурених у такий розчин, спостерігаються хімічні реакції. Одночасно з хімічною дією спостерігається і тепла — розчин, по якому проходить струм, нагрівається.

У результаті пропускання електричного струму крізь воду відбувається хімічна реакція з утворенням водню і кисню (мал. 134).

Детальніше процеси проходження електричного струму крізь розчини електролітів і їхнє практичне застосування ви будете вивчати в § 49.

Магнітна дія струму. На залізний цвях або стержень намотаємо кілька десятків витків ізолюваного мідного провідника. Звільнивши кінці провідника від ізоляції, приєднаємо їх до джерела струму. Бачимо, що така котушка притягуватиме дрібні металеві предмети, як магніт (мал. 135). Роз'єднаємо електричне коло. Струм по котушці не проходить, і вона втрачає магнітні властивості.

Явище існування навколо провідника зі струмом магнітного поля дослідив данський учений Ганс Ерстед. Він демонстрував студентам досліди з нагрівання провідників електричним струмом. Під час дослідів один зі студентів помітив, що в разі проходження електричного струму по провіднику магнітна стрілка, розташована поблизу провідника, відхиляється. Так, завдяки уважності студента та дослідницьким навичкам ученого-викладача було відкрито магнітну дію струму. В подальшому це дало поштовх до об'єднання досліджень електричних і магнітних явищ.



а



б

Мал. 136. Електричні двигуни: а — схема дії;
б — різні конструкції електродвигунів

На відміну від хімічної, магнітна дія електричного струму спостерігається завжди, незалежно від того, яким є провідник: твердим, рідким чи газоподібним. Магнітна дія струму спостерігається навіть у вакуумі, де неможливі теплова та хімічні дії.

Якщо рамку із дроту вмістити в магнітне поле і пропускати через неї струм, то вона почне обертатись у певному напрямку (мал. 136, а). На цьому явищі ґрунтується функціонування різноманітних електричних двигунів (мал. 136, б), електровимірювальних приладів тощо.

Підбиваємо підсумки

- Електричний струм проявляється за такими діями: тепловою, хімічною та магнітною. Ці дії досить часто проявляються одночасно.
- Теплова й магнітна дія струму спостерігається в усіх середовищах (твердих, рідких і газоподібних). Магнітна дія спостерігається навіть у вакуумі.



Я знаю, вмію і розумію



1. Де на практиці можна спостерігати дію електричного струму?
2. Де використовують теплову дію електричного струму?
3. У чому полягає хімічна дія електричного струму?
4. У чому особливості магнітної дії струму?



ПОЯСНІТЬ

1. Яка дія струму використовується в кожному з перелічених випадків: а) приготування їжі на електроплиті; б) освітлення кімнати лампою розжарення; в) позолочення деталей; г) нагрівання води електричним чайником; д) піднімання деталей за допомогою електромагніту?
2. Які дії струму можна спостерігати в разі його пропускання через розчин кам'яної солі; у разі спалаху блискавки?

§ 36

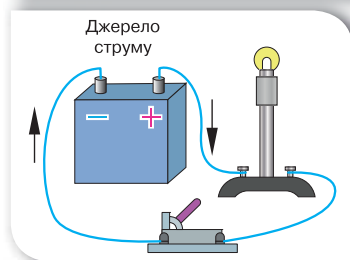
Електричне коло

Ви дізнаєтесь

- Як циркулює струм в електричному колі
- Як схематично зображають елементи електричного кола

Пригадайте

- Умови існування електричного струму



Мал. 137.
Електричне коло

Електричне коло. Ми з'ясували, що таке джерело струму, які умови потрібні для того, щоб виник й існував електричний струм. Для практичних цілей нам потрібно ще знати, як електричний струм може циркулювати від джерела до споживачів.

Розглянемо електричне коло (мал. 137). Для цього нам будуть потрібні джерело струму, електрична лампа, вимикач і з'єднувальні провідники.

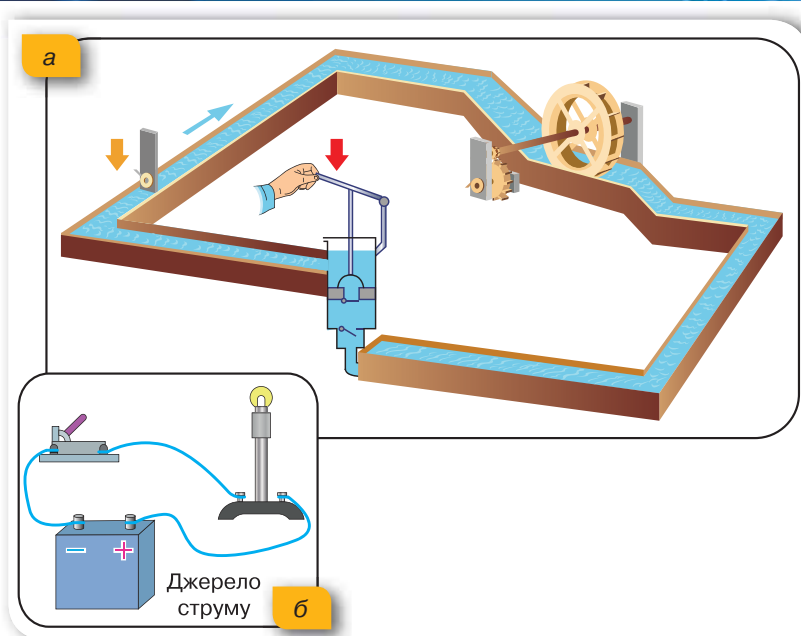
Як бачимо, у джерела струму, електричної лампи, вимикача є по дві клеми. З'єднувальними провідниками всі елементи підключають один до одного. Починається електричне коло від одного з полюсів джерела струму, до якого з'єднувальним провідником підключено електричну лампу, після неї — вимикач, і закінчується коло на другому полюсі джерела. Кожний елемент кола виконує свої функції: джерело струму, безперервно розділяючи електричні заряди між полюсами, створює й підтримує електричне поле; у з'єднувальних провідниках під дією електричного поля переміщуються носії заряду; у споживачах електричної енергії (побутових та промислових приладах і пристроях) використовується електрична енергія (перетворюється на теплову, хімічну, магнітну), вимикачами замикається й розмикається електричне коло. Крім названих елементів, ми ще будемо розглядати електровимірювальні прилади, за допомогою яких досліджують електричний струм.

Джерело струму, споживачі, пристрої для замикання (розмикання), електровимірювальні прилади, з'єднані між собою провідниками, утворюють найпростіше **електричне коло**.

Циркуляцію електричного струму в електричному колі можна пояснити за допомогою моделі, що демонструє циркуляцію води (мал. 138, а).

Вода перебуває на різних рівнях. Падаючи з вищого рівня під дією сили земного тяжіння, потік води може обертати турбіну. Для того щоб воду підняти на початковий рівень, використовується насос. Як бачимо, потік води в такому колі залишається незмінним, змінюються його рівні.

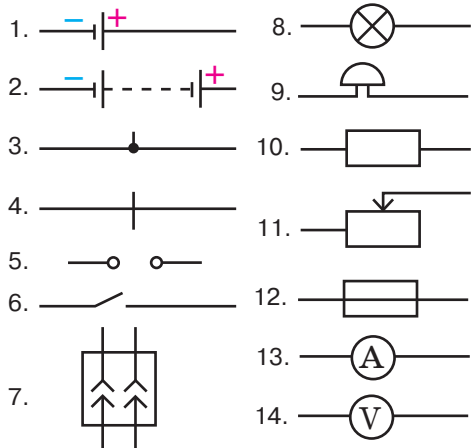
Аналогічні процеси відбуваються й у колі електричного струму (мал. 138, б). Порівняймо. Потік електронів рухається від негативно-го полюса джерела струму під дією сил електричного поля. Проходячи



Мал. 138. Моделі циркуляції:
а — потоку води; б — електричного струму

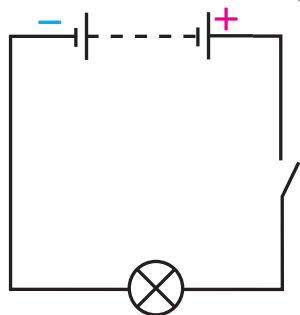
через електричну лампу, частина електричної енергії витрачається на її роботу (світіння) (водночас потік електронів залишається незмінним). Щоб процес був неперервним, роль насоса відіграє джерело електричного струму, де внаслідок хімічних реакцій відбувається розділення електричних зарядів між полюсами. Потік води можна перекрити заслінкою, електричний струм — вимикачем.

Електричні схеми. Способи з'єднання електричних приладів у коло зображують на кресленнях, які називаються *електричними схемами*. Прилади на схемах позначають умовними значками (мал. 139).

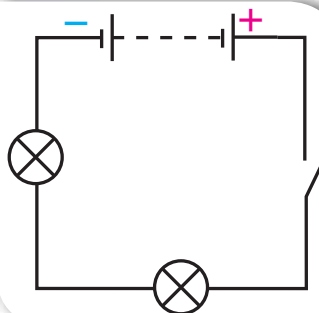


Мал. 139. Умовне зображення елементів електричних кіл:

- 1 — гальванічний елемент, або акумулятор;
2 — батарея гальванічних елементів, або акумуляторів; 3 — з'єднання провідників;
4 — перетин провідників (без з'єднання);
5 — затискиачі для під'єднання споживача електричного струму (клеми); 6 — вимикач (електричний ключ); 7 — розетка;
8 — електрична лампа; 9 — електричний дзвоник; 10 — провідник, що має деякий опір (резистор); 11 — реостат; 12 — плавкий запобіжник; 13 — електровимірювальний прилад (амперметр);
14 — електровимірювальний прилад (вольтметр)



Мал. 140. Схема електричного кола



Мал. 141. Схема електричного кола з послідовним з'єднанням споживачів

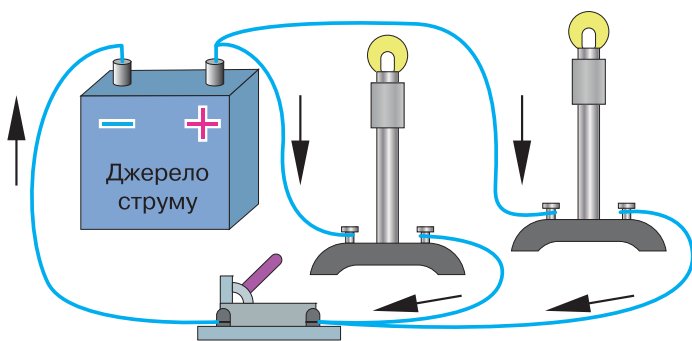
Електричне коло, що зображене на малюнку 137, с. 172 на схемі зображується так, як показано на мал. 140.

Використання електричних схем дає можливість компактно зображати навіть досить громіздкі електричні кола, що значно полегшує роботу інженерів, конструкторів і фахівців з обслуговування та ремонту електричних приладів.

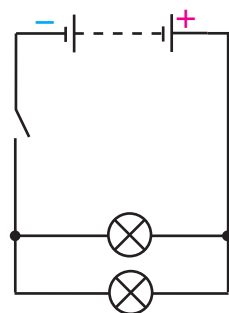
Розгалужені електричні кола. Розглянемо електричне коло, в якому одна за одною підключені дві електролампи. Таке з'єднання споживачів називають **послідовним**. Важливою особливістю цього електричного кола (мал. 141) є те, що в усіх його елементах протікає однаковий струм.

Якщо лампи з'єднати так, як показано на малюнку 142, а, то отримаємо з'єднання споживачів, яке називають **паралельним**, коло — розгалуженим. Схему такого кола зображено на малюнку 142, б.

У розгалужених колах є так звані вузлові точки (точки, у яких з'єднуються три й більше провідників). Вузлові точки розділяють електричне коло на окремі гілки. Особливістю розгалужених електричних кіл є те, що в кожній гілці тече свій струм. Електричний струм у розгалужених електричних колах визначається за правилами, з якими ви ознайомитеся в наступних параграфах.



а



б

Мал. 142. Електричне коло з паралельним з'єднанням споживачів:
а — ілюстрація; б — електрична схема

Підбиваємо підсумки

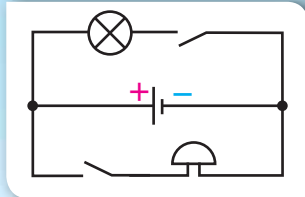
- До електричного кола входять джерело струму, споживачі електричної енергії, пристрої для вмикання і вимикання електричного струму, електровимірювальні пристрої, з'єднані між собою за допомогою провідників.
- Споживачами електричного струму є електродвигуни, електричні лампи, нагрівальні прилади, телевізори, мікрохвильові печі, ноутбуки тощо.
- Способи з'єднання електричних приладів у коло зображують на кресленнях, які називають електричними схемами. На електричних схемах прилади зображуються за допомогою умовних позначень.



Я знаю, вмію і розумію



1. Що називають електричним колом?
2. Що потрібно для існування електричного струму в електричному колі?
3. Наведіть приклади споживачів електричного струму.
4. З яких елементів складається електричне коло?
5. Накресліть можливі схеми електричних кіл, що складаються з батареї гальванічних елементів, електричної лампи, електричного дзвінка та вимикача.
6. Назвіть основні елементи електричного кола, що зображене на малюнку 143.



Мал. 143.
До завдання 6



Сила струму

Сила струму. Розглянемо ще раз механічну модель електричного кола (мал. 138, с. 173). Проаналізуємо зміни, що відбудуться, якщо ми звузимо жолоби, по яких тече вода. Очевидно, що на причину потоку і його напрямок це не вплине (вода тече внаслідок зміни рівнів води). На загальній кількості води це також не позначиться. Проте зміниться швидкість потоку (кількість води, що протікає за одиницю часу), що вплине на інтенсивність обертання лопатей турбіни. Аналогічні процеси відбуваються і в колі електричного струму. Величиною, аналогічною швидкості потоку, є фізична

Ви дізнаєтесь

- Що називають силою струму
- Як вимірюють електричний струм

Пригадайте

- Умови існування електричного струму

величина, що називається **сила струму** й характеризує швидкість проходження електричних зарядів через поперечний переріз провідника. Цей термін виник задовго до того, як було встановлено природу електричного струму, тому він є дещо невдалим, оскільки «сили» ніяк не стосується.

Сила струму — це фізична величина, що характеризує електричний струм у колі й дорівнює відношенню електричного заряду q , що пройшов через поперечний переріз провідника, до часу його проходження t .

Позначають силу струму символом I та визначають за формулою:

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

Одиницею сили струму є **ампер** (А).

Ампер є основною одиницею Міжнародної системи. Названа ця одиниця на честь відомого французького фізика Андре Ампера.

Щоб уявити струм силою в 1 А, наведемо такі дані. Безпечною для людини є сила струму 1 мА ($1 \cdot 10^{-3}$ А), а сила струму 100 мА (0,1 А) вже призводить до серйозних уражень. Як бачимо з таблиці на с. 179–180, для роботи побутових приладів потрібні такі значення сили струму, що значно перевищують безпечні для людини норми.

Діапазон (межі) значень сили струму, з якими доводиться стикатися у фізиці, невеликий порівняно з іншими величинами і становить від 10^{-6} (0,000001) до 10^5 (100 000) А.

Через одиницю сили струму 1 А визначають одиницю електричного заряду. Оскільки $q = I \cdot t$, то, припустивши, що $I = 1$ А, а $t = 1$ с, отримаємо одиницю електричного заряду — один кулон (1 Кл).

1 кулон = 1 ампер · 1 секунду, або $1 \text{ Кл} = 1 \text{ А} \cdot 1 \text{ с} = 1 \text{ А} \cdot \text{с}$.

З визначення сили струму випливає, що за сили струму 1 А через поперечний переріз провідника щосекунди проходить електричний заряд 1 Кл, тобто $1 \text{ А} = \frac{1 \text{ Кл}}{1 \text{ с}}$. Знаючи заряд електрона, неважко визначити, що

за сили струму 1 А через поперечний переріз провідника проходять $6,25 \cdot 10^{18}$ електронів за секунду.

Амперметр. Силу струму в колі вимірюють за допомогою спеціального приладу — **амперметра** (мал. 144).

Оскільки за законом збереження електричного заряду кількість зарядів, що надходять у коло з одного з полюсів джерела струму, дорівнює кількості зарядів, що повертаються на другий полюс джерела, то сила струму однакова в різних



а



б

Мал. 144. Амперметр: а — демонстраційний; б — лабораторний

ділянках кола із послідовно з'єднаних споживачів. Тому, щоб виміряти силу струму в такому колі, амперметр можна вмикати у будь-якому місці. Для цього треба «розірвати» коло і в проміжок, що утвориться, увімкнути амперметр за допомогою двох клем або затискачів, розташованих на його корпусі. Таке вмикання в коло, як ви вже знаєте, називають послідовним. Умикаючи амперметр у довільних місцях кола, переконаємося, що його показання будуть однаковими.

У техніці використовують різні амперметри. За їхніми шкалами або іншими позначеннями видно, на яку найбільшу силу струму вони розраховані. Перевищувати цю силу струму не бажано, бо прилад може зіпсуватися. Виконуючи вимірювання амперметром, слід дотримуватися ще й таких правил:

- вмикати амперметр у коло послідовно;
 - дотримуватися полярності підключення, тобто клему приладу, позначену знаком «+», з'єднувати із провідником, що виходить від позитивного полюса джерела струму;
 - не можна вмикати амперметр у коло, у якому відсутній споживач струму.
- На практиці також використовують амперметри із цифровими індикаторами, а також кіло-, мілі- та мікроамперметри.

Підбиваємо підсумки

- Сила струму I — це фізична величина, що характеризує електричний струм у колі й дорівнює відношенню електричного заряду (q), що пройшов через поперечний переріз провідника, до часу його проходження (t): $I = \frac{q}{t}$.
- Силу струму вимірюють амперметром, умикаючи його в електричне коло послідовно.



Я знаю, вмію і розумію



1. Що характеризує сила електричного струму?
2. Як сила струму залежить від електричного заряду, що проходить через провідник, та часу?
3. Поясніть, чому термін «сила струму» в принципі не можна вважати вдалим.
4. Як називають одиницю вимірювання сили струму?
5. Яким приладом вимірюють силу струму? Які правила вмикання цього приладу в електричне коло?

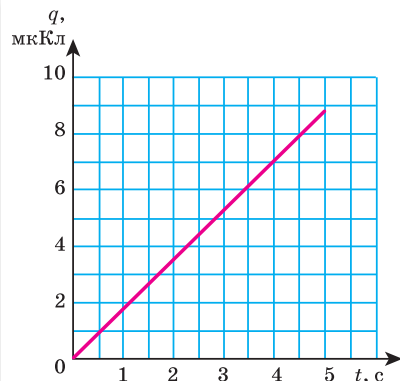


ПОЯСНІТЬ

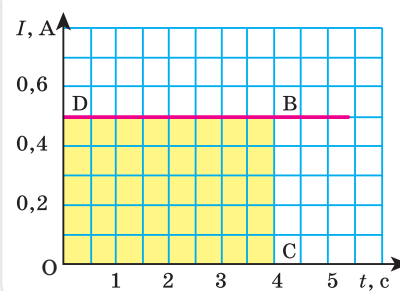
1. Чи однакові за фізичною сутністю такі твердження:
 - а) у провіднику пройшов великий електричний заряд;
 - б) у провіднику пройшов струм великої сили?
2. Чи можна стверджувати, що до та після вмикання амперметра в електричне коло сила струму в ньому залишається незмінною?

Вправа 15

1. Визначте силу струму в провіднику, якщо за 20 с через поперечний переріз провідника проходить електричний заряд 68 Кл.
2. Визначте час проходження електричного струму по провіднику, якщо за сили струму 0,5 А через поперечний переріз провідника пройшов електричний заряд 7,7 Кл.
3. Обчисліть силу струму в провіднику, крізь поперечний переріз якого за кожну хвилину проходить заряд 36 Кл.
4. Визначте кількість електронів, що проходять за 1 с через переріз металевго провідника за сили струму в ньому 0,8 мкА.
5. За графіком залежності величини перенесеного заряду від часу (мал. 145) визначте силу струму в провіднику.
6. За графіком залежності сили струму від часу (мал. 146) визначте заряд, що проходить через поперечний переріз провідника за 3 секунди. Яку фізичну величину можна визначити, обчисливши площу прямокутника ODBC?



Мал. 145. До завдання 5



Мал. 146. До завдання 6



Електрична напруга

Ви дізнаєтесь

- Що таке електрична напруга
- Як вимірюють електричну напругу

Пригадайте

- Умови існування електричного струму

Електрична напруга. Розглянемо ще раз механічну модель електричного кола (мал. 138, с. 173).

Причиною потоку води в поданому вище прикладі є різниця рівнів (висот). Якщо рівні води будуть однаковими, то вода стоятиме в жолобах, бо причини для її переміщення немає. Які зміни відбудуться в разі зміни рівнів води? Очевидно, якщо збільшити висоту, з якої буде падати вода, збільшиться «працездатність» потоку. Що більша різ-

ниця висот, то більшу роботу виконує сила тяжіння під час падіння води, і то більшою є енергія водяного потоку.

В електричному колі величину, аналогічну різниці висот, назвали **напругою**. З'ясуємо детальніше, що таке напруга. Причиною електричного струму в колі є наявність електричного поля, під дією якого відбувається переміщення електричного заряду. Електричне поле створюється джерелом струму.

Щоб подавати воду на більшу висоту, очевидно, потрібен потужніший насос. У випадку електричного кола — джерело струму. Під дією електричного поля, що створюється джерелом струму, заряджені частинки рухаються по провіднику. До того ж виконується робота з переміщення зарядів. Це свідчить про те, що причиною потоку заряджених частинок (електронів) у провідниках є електричне поле, створюване джерелом струму. Для характеристики електричного поля і вводять фізичну величину — напругу.

Можливо, ви чули вираз «Обережно, висока напруга!». У цьому разі слово «висока» вказує: що більшою є напруга на кінцях ділянки кола, то більшу роботу виконає сила, яка діє з боку електричного поля, для переміщення заряду 1 кулон. По аналогії з потоком води: що більшою є різниця рівнів води, то більшу роботу виконає сила тяжіння під час падіння води масою 1 кг.

Напруга — це фізична величина, що характеризує електричне поле й визначається відношенням роботи електричного поля на певній ділянці кола до електричного заряду, що пройшов по цій ділянці.

Напруга позначається великою латинською літерою U . Формула для визначення напруги така: $U = \frac{A}{q}$.

Одиницею напруги є *вольт* (В).

Названа ця одиниця на честь відомого італійського фізика Алессандро Вольта.

1 вольт дорівнює такій електричній напрузі на кінцях провідника, за якої робота з переміщення електричного заряду в 1 кулон по цій ділянці провідника дорівнює 1 джоуль: $1 \text{ В} = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ Кл}}$.

Різні джерела струму характеризуються робочою напругою.

Таблиця 1

Сила струму й електрична напруга в різних технічних пристроях і приладах

Пристрій	Сила струму, А	Напруга, В
Електронний мікроскоп	0,00001	130 000
Кінескоп телевізора	0,00012	16 000
Рентгенівський медичний апарат	0,02–0,1	70 000–200 000
Електробритва	0,08	220
Електричний ліхтарик	0,3	4,5

Таблиця 1 (продовження)

Пристрій	Сила струму, А	Напруга, В
Мобільний телефон у режимі роботи	0,53	3,6–5
Електрична лампа	0,3–0,4	220
Пилосмок	1,9–4,2	220
Електроплита	3–4	220
Пральна машина-автомат	3–7	220
Генератор автомобіля	17	12
Двигун тролейбуса	160–220	550
Двигун електровоза	350	1500
Апарат для контактного зварювання	10 000	1–10

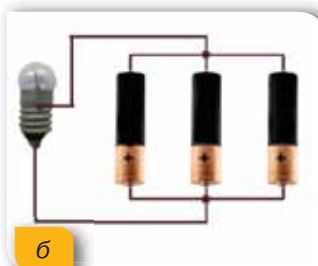
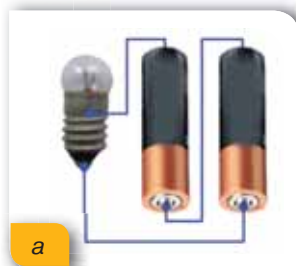
У гальванічному елементі й акумуляторі (хімічних джерелах струму) значення напруги невелике. Якщо в гальванічному елементі наявні мідний і залізний електроди, то напруга становитиме 0,78 В, мідний і цинковий — 1,1 В, срібний і цинковий — 1,56 В. Середня напруга свинцевого кислотного акумулятора становить 2 В, а залізо-нікелевого лужного — 1,25 В.

Щоб отримати більші напруги, гальванічні елементи, акумулятори, термо- і фотоелементи з'єднують у батареї. Якщо треба одержати більшу напругу, то використовують послідовне з'єднання елементів (мал. 147, а): окремі елементи приєднують один до одного різнойменними полюсами. Якщо хочуть одержати джерело, що дає більшу силу струму, використовують паралельне з'єднання елементів (мал. 147, б): окремі елементи з'єднують у батарею однойменними полюсами.

Для вимірювання напруги використовують спеціальні прилади — **вольтметри** (мал. 148).

Оскільки електрична напруга характеризує працездатність електричного поля між двома точками, то вольтметр, на відміну від амперметра, включається в електричне коло без його розриву. Вольтметр приєднують паралельно до тієї ділянки, на кінцях якої вимірюють напругу.

Як і у випадку з амперметром, підключаючи вольтметр, потрібно слідкувати за полярністю. Для вимірювання напруги на полюсах джерела струму вольтметр приєднують безпосередньо до клем джерела.



Мал. 147. З'єднання джерел струму: а — послідовне; б — паралельне



Мал. 148. Вольтметр: а — демонстраційний; б — лабораторний

Підбиваємо підсумки

- Напруга U — це фізична величина, що характеризує електричне поле й визначається відношенням роботи електричного поля (A) на певній ділянці кола до електричного заряду (q), що пройшов по цій ділянці:

$$U = \frac{A}{q}.$$

- Напругу вимірюють вольтметром, вмикаючи його паралельно до ділянки кола, на якій потрібно виміряти напругу.



Я знаю, вмію і розумію

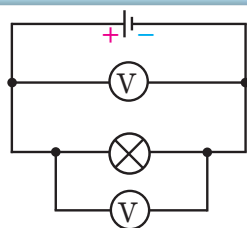


1. Що таке електрична напруга?
2. Як можна визначити напругу, знаючи роботу струму та електричний заряд?
3. Що прийнято за одиницю напруги?
4. Яким приладом вимірюють напругу? Які правила вмикання цього приладу в електричне коло?



ПОЯСНІТЬ

1. Як за допомогою вольтметра визначити полюси джерела постійного струму?
2. Чи однакову напругу покажуть вольтметри (мал. 149)?

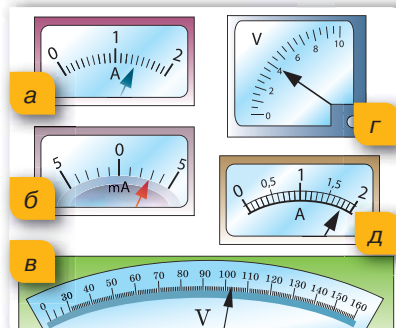


Мал. 149.
До завдання 2



Вправа 16

1. Визначте напругу на ділянці електричного кола, якщо під час перенесення заряду 50 Кл електричне поле виконує роботу 1,2 кДж.
2. Під час світіння лампи розжарювання виконується робота 3,96 кДж. Визначте електричний заряд, який пройшов через лампу, якщо вона ввімкнута в мережу 220 В.
3. На малюнку 150 зображено шкали амперметрів і вольтметрів. Визначте для кожного приладу межі вимірювання і ціну поділки шкали. Яку силу струму показує кожний амперметр? Яку напругу показує кожний вольтметр?
4. Яка напруга на кінцях провідника, якщо під час проходження по ньому заряду 5 Кл виконується робота 1,1 кДж?
5. Напруга між хмарами під час грози — 10 000 кВ. Скільки електронів проходить між хмарами, якщо виконується робота 0,16 Дж?



Мал. 150.



ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

Вимірювання сили струму й електричної напруги

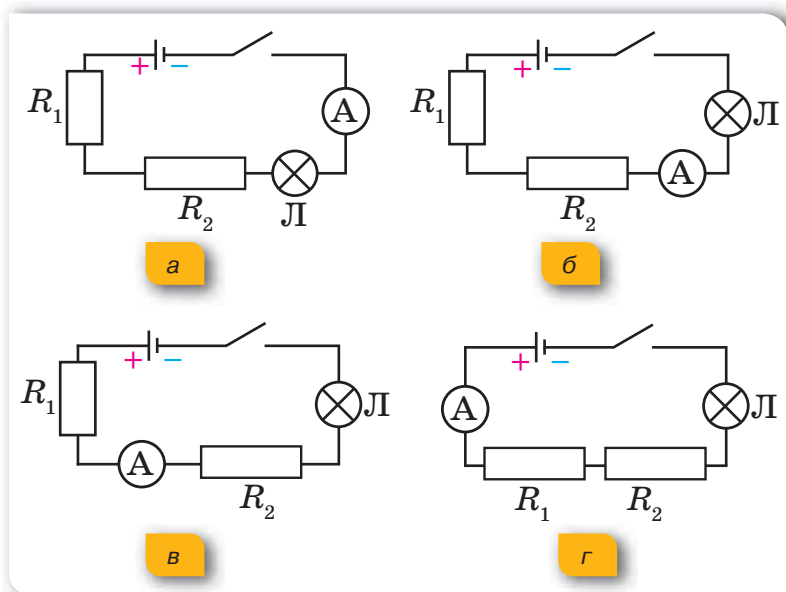
Мета роботи: навчитися складати електричне коло, вимірювати й порівнювати силу струму й напругу на різних ділянках кола.

Прилади та матеріали: амперметр, вольтметр, джерело постійного струму, лампа на підставці, дрітні спіралі на підставках, ключ (вимикач), з'єднувальні провідники.

Вказівки щодо виконання роботи

I. Вимірювання сили струму в різних ділянках електричного кола.

1. Розгляньте наданий амперметр. Визначте його характеристики: межу вимірювання; ціну поділки.
2. Складіть електричне коло, яке зображено на малюнку 151, а. Замкніть коло вимикачем. Запишіть показання амперметра.
3. Увімкніть амперметр так, як показано на малюнках 151, б, в, г, і щоразу записуйте показання амперметра.
4. Порівняйте всі показання амперметра. Зробіть висновок.

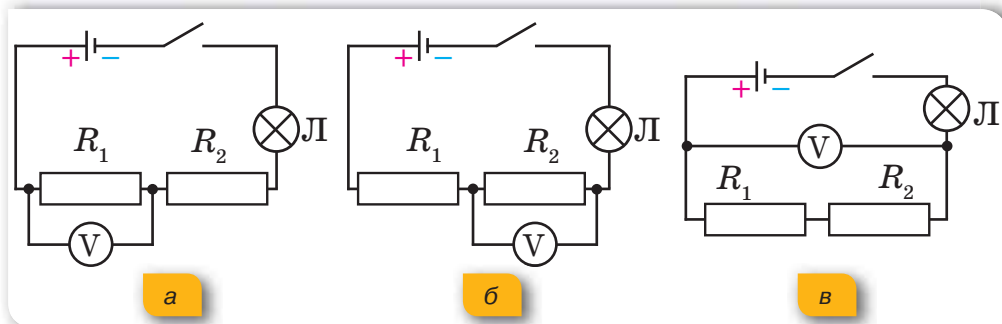


Мал. 151

II. Вимірювання напруги на різних ділянках кола.

1. Розгляньте вольтметр. Визначте його характеристики: межу вимірювання; ціну поділки.
2. Складіть електричне коло, як показано на малюнку 152, а. Замкніть коло вимикачем. Виміряйте напругу U_1 на кінцях першої спіралі — R_1 .

3. Складіть електричне коло, як показано на малюнку 152, б. Замкніть коло й виміряйте напругу U_2 на кінцях другої спіралі — R_2 .
4. Складіть електричне коло (мал. 152, в) та визначте сумарну напругу U на двох спіралях. Порівняйте значення U із сумою напруг на двох спіралях ($U_1 + U_2$).
5. Виміряйте напругу на полюсах джерела струму й затискачах лампи. Порівняйте ці напруги. Зробіть висновок.



Мал. 152



Електричний опір. Закон Ома для ділянки кола

Залежність сили струму в провіднику від напруги.

Ви вже знаєте, що електричний струм у колі — це впорядкований рух заряджених частинок в електричному полі. Водночас дія електричного поля характеризується напругою: що більшою є напруга, то сильніша дія електричного поля на заряджені частинки, які в ньому рухаються. Отже, постає запитання: як залежить сила струму в провіднику від напруги на його кінцях?

Проведемо дослід. Складемо електричне коло, споживачем у якому буде металевий дріт (провідник-спіраль), а джерелом струму — пристрій, на виході якого можна змінювати напругу. Для вимірювання сили струму та напруги на ділянці кола, що містить провідник-спіраль, приєднаємо амперметр і вольтметр (мал. 153, а, с. 184).

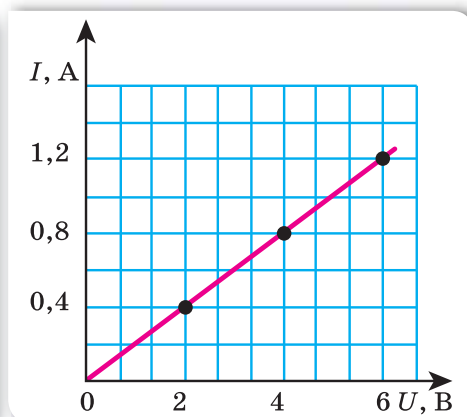
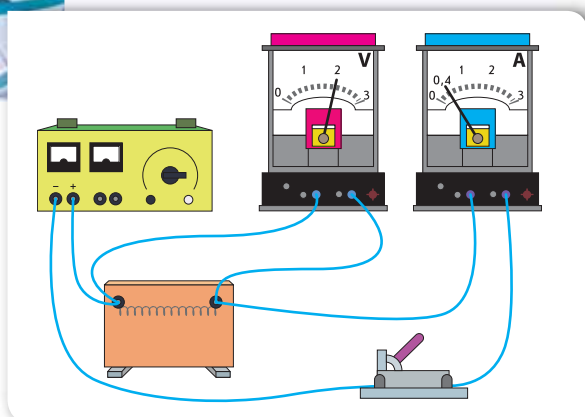
Коло постійного струму можна розбити на окремі ділянки. Ті ділянки, що не містять джерел струму, називаються **однорідними**. Ділянки, що включають джерела струму, називаються відповідно **неоднорідними**.

Ви дізнаєтесь

- Як пов'язані між собою сила струму й електрична напруга

Пригадайте

- Що таке сила струму й електрична напруга



а

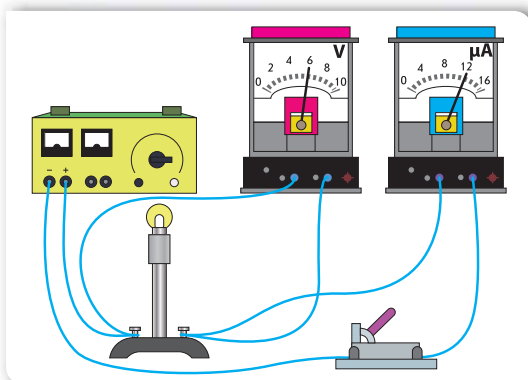
б

Мал. 153. Дослід зі встановлення залежності між силою струму й напругою: а — схема дослід; б — графічне представлення результатів дослід

Замкнемо вимикачем електричне коло. Прилади фіксують деякі значення напруги $U_1 = 2$ В й сили струму $I_1 = 0,4$ А. Збільшимо напругу, що подається на провідник-спіраль, у 2 рази. Амперметр зафіксує відповідне збільшення сили струму в колі вдвічі. Збільшення напруги у 3 рази спричинить збільшення сили струму втричі.

Який висновок можна зробити? У скільки разів збільшується (зменшується) напруга на споживачі, у стільки ж разів збільшується (зменшується) сила струму в ньому.

Графічно це можна зобразити так: на горизонтальній осі у вибраному масштабі відкладемо значення напруги, а на вертикальній — відповідні їм значення сили струму. Нанесемо точки на площину й отримаємо графік лінійної залежності: що більша напруга прикладена до ділянки кола, то більша сила струму в колі (мал. 153, б).



Сила струму в провіднику прямо пропорційна напрузі на кінцях провідника.

Електричний опір. Змінімо умови дослід — замінімо провідник-спіраль на спіраль лампи розжарювання. За тієї ж напруги 6 В сила струму буде такою малою, що для її вимірювання доведеться замість амперметра ввімкнути міліамперметр, який покаже 12 мА (мал. 154).

Мал. 154. Дослід, що демонструє залежність сили струму від властивостей провідника

Таким чином, сила струму в спіралі лампи буде в 100 разів меншою, ніж у провіднику-спиралі.

Чому в другому випадку сила струму значно менша, ніж у першому? Можна припустити, що сила струму в колі залежить від властивостей провідника, увімкненого в коло. Спіраль електричної лампи чинить більший спротив напрямленому руху заряджених частинок, ніж провідник-спіраль. Кажуть, що вона має більший *електричний опір*.

Електричний опір — це фізична величина, що характеризує властивість провідника протидіяти проходженню електричного струму.

Електричний опір позначають літерою R . Одиницею електричного опору є ом (Ом).

Увівши таку величину, можна стверджувати, що залежність сили струму від властивостей провідника пояснюється тим, що різні провідники мають різний електричний опір. Умикатимемо в електричне коло по черзі провідники, що мають опори 1 Ом, 2 Ом, 3 Ом. Зафіксувавши напругу, наприклад 2 В, вимірюватимемо щоразу силу струму в колі. Амперметр, відповідно, буде показувати 2 А, 1 А, 0,7 А. Побудуємо графік залежності сили струму в провіднику від опору провідника за сталої напруги на його кінцях (мал. 155).

Отримали графік оберненої залежності: що більшим є опір провідника, то менша сила струму в ньому.

Сила струму в провіднику обернено пропорційна опору провідника.

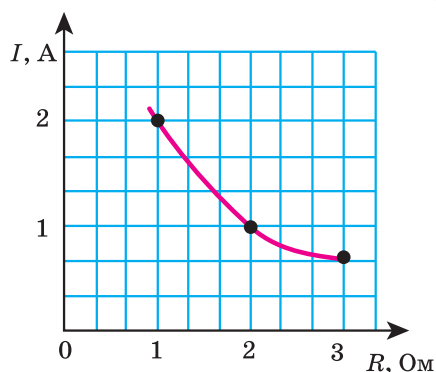
Закон Ома. З дослідів встановлено, що сила струму в однорідній ділянці електричного кола прямо пропорційна напрузі на цій ділянці й обернено пропорційна її електричному опору. Цю залежність уперше експериментально встановив у 1826 р. німецький учений Георг Ом, і вона отримала назву «**Закон Ома для ділянки кола**»:

сила струму в однорідній ділянці кола прямо пропорційна напрузі на кінцях цієї ділянки й обернено пропорційна її електричному опору:

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

За законом Ома можна розрахувати силу струму на ділянці кола $I = \frac{U}{R}$, напругу на її

кінцях $U = I \cdot R$ та опір ділянки кола $R = \frac{U}{I}$.



Мал. 155. Графік залежності сили струму від опору

Зверніть увагу! Електричний опір характеризує протидію електричному струму в певному середовищі. У з'єднувальних провідниках така протидія незначна, тому під час розв'язування задач опором з'єднувальних провідників ми будемо нехтувати. Електричним опором характеризуються й вимірювальні прилади. Будь-який вимірювальний прилад під час вмикання в коло не повинен впливати на значення вимірюваної величини. Тому амперметр конструюють так, щоб його електричний опір був якомога меншим, натомість опір вольтметра — якомога більшим.

І найголовніше. Якщо замкнути електричне коло, що не міститиме споживача, може статися **коротке замикання**. Це випадок, за якого електричний опір у колі дуже малий, і сила струму набуває великих значень. Як наслідок, вийдуть із ладу амперметр і джерело струму, а з'єднувальні провідники сильно нагріються і можуть загорітися та стати причиною пожежі.

Підбиваємо підсумки

- Електричний опір — це фізична величина, що характеризує властивість провідника протидіяти проходженню електричного струму.
- Залежність сили струму від напруги на кінцях ділянки кола та опору цієї ділянки називається законом Ома для ділянки кола: сила струму в однорідній ділянці кола прямо пропорційна напрузі на кінцях цієї ділянки й обернено пропорційна її опору, $I = \frac{U}{R}$.

Я знаю, вмію і розумію



1. Як залежить сила струму в провіднику від напруги на кінцях провідника?
2. Опишіть досліди, які показують, що сила струму в електричному колі залежить від властивостей провідника.
3. Що називають електричним опором?
4. Що є причиною електричного опору провідника? Яку властивість провідника характеризує його електричний опір?
5. Сформулюйте закон Ома для ділянки кола.



ПОЯСНІТЬ

1. Проаналізуйте формулу $R = \frac{U}{I}$. Чи можна вважати, що опір ділянки електричного кола залежить від сили струму в ній і напруги на її кінцях? Поясніть.
2. Чи можна від батареї акумуляторів напругою 12 В отримати у провіднику силу струму 140 мА, якщо опір провідника дорівнює 100 Ом?

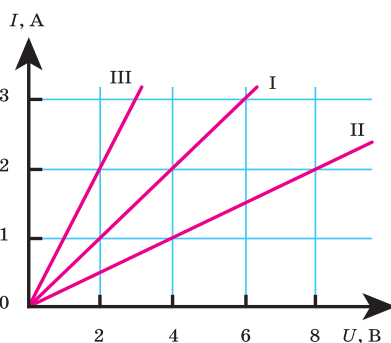


Вправа 17

1. Електрична плитка розрахована на напругу 220 В. Опір її спіралі дорівнює 73,3 Ом. Визначте силу струму в ній.

2. Визначте силу струму в електричній лампі, якщо опір нитки розжарювання дорівнює 15 Ом і приєднана вона до батареї гальванічних елементів напругою 4,5 В.

3. На малюнку 156 зображено графіки залежності сили струму в провіднику від напруги. Поясніть причину розбіжностей значень сили струму на графіках I, II, III за напруги 2 В. Визначте електричний опір кожного з провідників.



Мал. 156. До завдання 3

4. У провіднику за 30 хв проходить електричний заряд 1800 Кл. Визначте опір провідника, якщо напруга на ньому 12 В.

5. В електричній лампі, розрахованій на напругу 220 В, сила струму дорівнює 0,5 А. Визначте опір нитки лампи в робочому стані.



ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8

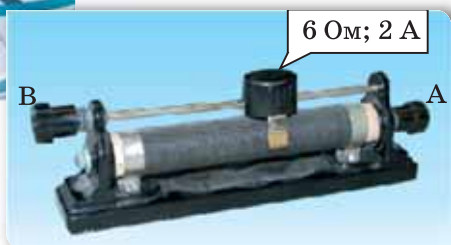
Вимірювання опору провідника за допомогою амперметра й вольтметра

Мета роботи: навчитися вимірювати опір провідника за допомогою амперметра й вольтметра. Переконатися на дослідах, що опір провідника не залежить від сили струму в ньому й напруги на його кінцях.

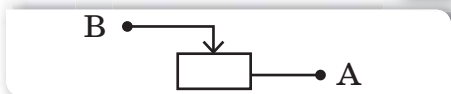
Прилади та матеріали: джерело струму, досліджуваний провідник (ніхромові спіраль), амперметр, вольтметр, реостат, вимикач, з'єднувальні провідники.

У цій роботі для регулювання сили струму в колі використовують спеціальний прилад — реостат.

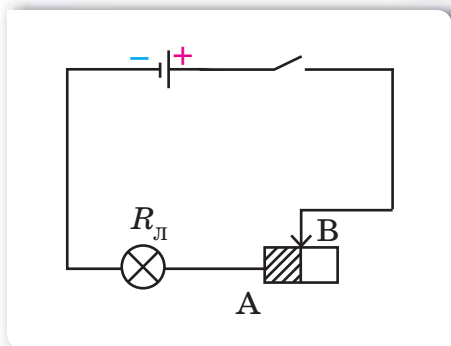
На малюнку 157, а; с. 188 зображено зовнішній вигляд повзункового реостата. Для виготовлення такого приладу на керамічний каркас щільно намотують металевий дріт, наприклад константан. Для ізолювання витків дроту між собою їх покривають тонким шаром окалини. Над обмоткою кріпиться металевий стержень, по якому може вільно рухатися повзунковий контакт, які щільно прилягають до обмотки, та ізолюваною ручкою. Під час переміщення повзунка його контакти стирають шар окалини в місцях дотику, й електричний струм проходить від дроту до повзунка та металевому стержню. На верхній частині ручки вказані максимальні значення опору й сили струму, за якої можна використовувати реостат.



а



б



в

Мал. 157. Реостат: а — зовнішній вигляд; б — умовне зображення; в — принцип роботи

Реостат вмикається в електричне коло за допомогою двох затискачів, один з яких розташований на корпусі й з'єднаний із дротом (А), а інший — на протилежному кінці металевого стержня, по якому рухається повзунок (В).

На малюнку 157, б зображено умовне позначення реостата на електричних схемах.

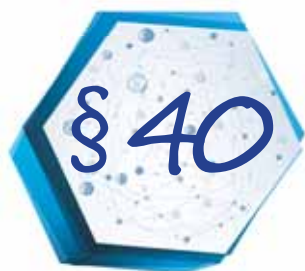
На малюнку 157, в зображено принцип роботи реостата. За такого вмикання задіяна половина дроту реостата (незаштрихована частина дроту в коло не ввімкнена). Змінюючи положення повзунка, змінюють довжину дроту, по якому проходить струм до повзунка, і, відповідно, опір активної частини реостата. Так, якщо пересунути повзунок у крайнє ліве положення (т. А), то опір кола зменшиться. Якщо окрім реостата в колі немає споживачів, то сила струму в такому разі, згідно із законом Ома, стрімко зросте (коротке замикання!). Тому, включаючи реостат в електричне коло, його повзунок встановлюють у середнє положення, щоб не вийшли з ладу інші елементи кола.

Вказівки щодо виконання роботи

1. Складіть електричне коло, з'єднавши послідовно джерело струму, амперметр, досліджуваний провідник (спіраль), реостат, вимикач. До кінців спіралі приєднайте вольтметр (ураховуйте знаки «+» і «-»).
2. Накресліть схему складеного електричного кола.
3. Виміряйте силу струму в колі й напругу на досліджуваному провіднику.
4. За допомогою реостата змініть кілька разів опір кола й знову виміряйте силу струму в колі та напругу на досліджуваному провіднику.
5. Результати вимірювань запишіть у таблицю.
6. Користуючись законом Ома, обчисліть опір провідника за даними кожного окремого вимірювання.
7. Результати обчислень запишіть у таблицю. Порівняйте одержані результати. Зробіть висновки.

Номер досліду	Сила струму I , А	Напруга U , В	Опір R , Ом

- 8*. За отриманими в роботі значеннями фізичних величин накресліть графік залежності сили струму в провіднику від напруги на його кінцях. Проаналізуйте графік. За графіком визначте опір провідника за будь-якого проміжного значення сили струму.



Електричний опір металевих провідників. Питомий опір

Електричний опір металевих провідників. Опір металів зумовлений взаємодією електронів, що рухаються в провіднику, з йонами кристалічної ґратки. У процесі взаємодії електрони втрачають частину енергії, яку вони отримують в електричному полі. Ця енергія перетворюється у внутрішню енергію. Відповідно, в результаті проходження електричного струму металевий провідник нагрівається. Дослідимо, як залежить електричний опір металевих провідників від їхньої довжини, площі поперечного перерізу, а також від речовини, з якої вони виготовлені.

Для встановлення цієї залежності проведемо низку дослідів.

Складемо електричне коло, у якому послідовно з'єднані джерело струму, амперметр і демонстраційна панель, на якій закріплені провідники (мал. 158). Два з них виготовлені з ніхрому й мають однакову довжину, але різну площу поперечного перерізу. Третій виготовлений зі сталі й має таку саму довжину, як інші провідники, та площу поперечного перерізу, як у другого провідника з ніхрому. Прилад сконструйовано таким чином, що можна включати в електричне коло як увесь провідник (контакти з лівого боку панелі), так і його половину (один контакт із лівого боку панелі, а інший — із правого).

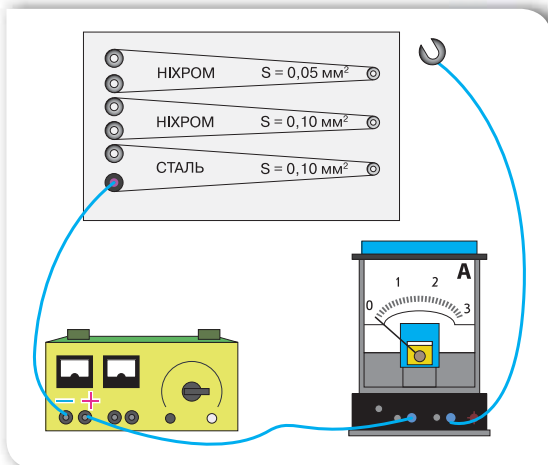
Будемо спочатку включати в електричне коло весь провідник і спостерігати за показаннями амперметра, а потім його половину. Помітимо, що незалежно від речовини, з якої виготовлено провідник, та площі поперечного перерізу струм у разі включення всього провідника вдвічі менший, ніж у разі включення половини

Ви дізнаєтесь

- Що таке питомий опір

Пригадайте

- Закон Ома
- Що таке електричний опір



Мал. 158. Дослід для визначення залежності опору металевих провідників від його довжини, площі поперечного перерізу та від речовини, з якої він виготовлений

провідника. Тобто опір усього провідника вдвічі більший, ніж його половини. Це пояснює твердження: що більшою є довжина провідника (l), то більше йонів металу, з якими стикаються електрони, що впорядковано рухаються, а отже, більшим буде електричний опір.

Опір провідника прямо пропорційний його довжині: $R \sim l$.

Повторимо дослід, звертаючи увагу на покази амперметра в разі включення провідників з ніхрому однакової довжини, але різної площі поперечного перерізу. Помітимо, що якщо включено провідник із більшою площею поперечного перерізу, амперметр показує більшу силу струму. Оскільки напруга є однаковою, а сила струму в провіднику з більшою площею поперечного перерізу більша, то опір такого провідника буде меншим.

Це пояснює твердження: що більшим є поперечний переріз провідника (S), то більше проміжків між йонами, через які безперешкодно можуть рухатися впорядковані електрони, а отже, меншим буде електричний опір.

Опір провідника обернено пропорційний площі його поперечного перерізу: $R \sim \frac{1}{S}$.

Проведемо дослід, звертаючи увагу на показання амперметра в разі включення в електричне коло за тієї самої напруги провідників з ніхрому та сталі, які мають однакову довжину та площу поперечного перерізу. Помітимо, що величина сили струму відрізнятиметься.

Це пояснюється тим, що провідники з різних металів мають різні кристалічні структури, отже, гальмівна дія, що викликана зіткненнями йонів і вільних електронів, виявляється різною.

Опір провідника залежить від речовини, з якої його виготовлено.

Питомий опір речовини провідника. Залежність опору провідника від речовини, з якої його виготовлено, характеризують спеціальним параметром: *питомим опором речовини*.

Питомий опір речовини провідника — це фізична величина, що показує, який опір має виготовлений із цієї речовини провідник довжиною 1 м і площею поперечного перерізу 1 м².

Позначається літерою ρ (читається «ро»). Одиницею питомого опору в СІ є $\text{ом} \cdot \text{м}$.

1 $\text{ом} \cdot \text{м}$ — це питомий опір провідника довжиною 1 м та площею поперечного перерізу 1 м², що має опір 1 ом :

$$1 \frac{\text{ом} \cdot \text{м}^2}{\text{м}} = 1 \text{ом} \cdot \text{м}.$$

Оскільки площа поперечного перерізу провідника невелика (наприклад, поперечний переріз провідників електричної мережі у квартирі становить $2,5 \text{ мм}^2$), то її найчастіше виражають у мм^2 і користуються такою одиницею питомого опору: $1 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$.

Різні речовини мають різні питомі опори. У таблиці (на форзаці) наведено питомі опори деяких речовин і сплавів за температури 20°C (оскільки опір провідників залежить від температури).

Під час проходження електричного струму по металевому провіднику він нагрівається. З підвищенням температури розмах коливань йонів зростає і частішими стають їхні співудари з електронами. Тому опір металів збільшується з підвищенням температури.

Як бачимо з таблиці на форзаці підручника, метали (срібло, мідь, свинець, алюміній) мають порівняно невеликий питомий опір. Для провідників в електричних колах використовують дроти з міді, алюмінію.

В електричних лампах розжарювання, електронагрівальних приладах найчастіше використовують сплави з великим питомим опором (нікелін, ніхром, фехраль).

Формула для визначення опору металевого провідника. Залежність опору провідника від його розмірів і речовини, з якої виготовлено провідник, уперше за результатами дослідів установив Георг Ом. Він дійшов висновку, що

опір провідника прямо пропорційний його довжині, обернено пропорційний площі його поперечного перерізу і залежить від речовини, з якої виготовлено провідник.

Формулу для розрахунку опору провідника записують у вигляді:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S},$$

де R — опір провідника; l — довжина провідника; S — площа поперечного перерізу провідника; ρ — питомий опір речовини провідника.

Підбиваємо підсумки

- Опір металевого провідника прямо пропорційний його довжині, обернено пропорційний площі його поперечного перерізу й залежить від речовини, з якої виготовлено провідник: $R = \rho \cdot \frac{l}{S}$, де R — опір провідника; l — довжина провідника; S — площа поперечного перерізу провідника; ρ — питомий опір речовини провідника.
- Питомий опір речовини провідника — це фізична величина, що показує, який опір має виготовлений із цієї речовини провідник довжиною 1 м і площею поперечного перерізу 1 м^2 .



1. Від чого залежить опір металевого провідника?
2. За якою формулою визначають опір провідника?
3. Що показує питомий опір?

**ПОЯСНІТЬ**

Один із двох провідників з однаковою площею поперечного перерізу, виготовлених з того самого матеріалу, вдвічі коротший від другого. Який із провідників має більший електричний опір й у скільки разів?

**ВЧИМОСЯ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ЗАДАЧІ****Задача**

Обмотку реостата виготовлено з нікелінового дроту довжиною 50 м і площею поперечного перерізу $0,5 \text{ мм}^2$. Напруга на затискачах реостата становить 40 В. Чому дорівнює сила струму, що проходить крізь реостат?

Дано:

$$l = 50 \text{ м}$$

$$S = 0,5 \text{ мм}^2$$

$$U = 40 \text{ В}$$

$$\rho = 0,4 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$$

$$I = ?$$

Розв'язання:

Силу струму визначимо за законом Ома: $I = \frac{U}{R}$.

Опір нікелінового дроту визначимо за формулою $R = \rho \cdot \frac{l}{S}$. Тоді сила струму визначатиметься за форму-

$$\text{лою: } I = \frac{US}{\rho l}.$$

Підставивши значення, отримаємо:

$$I = \frac{40 \text{ В} \cdot 0,5 \text{ мм}^2}{0,4 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}} \cdot 50 \text{ м}} = 1 \text{ А}.$$

Відповідь: сила струму в реостаті дорівнює 1 А.

**Вправа 18**

1. Обчисліть опір залізного дроту завдовжки 1 м, якщо його поперечний переріз — 10 мм^2 .
2. Опір мідного дроту завдовжки 90 м дорівнює 2 Ом. Визначте площу поперечного перерізу дроту.
3. Електричне коло містить дві ділянки з мідного дроту, що мають однакову довжину, але різну площу перерізу: $1,6 \text{ мм}^2$ і $0,8 \text{ мм}^2$. Яка ділянка має менший опір і в скільки разів?

4. Визначте, скільки метрів нікелінового дроту перерізом $0,1 \text{ мм}^2$ потрібно для виготовлення реостата опором 180 Ом .
5. Визначте масу мідного дроту, довжина якого 2 км й опір $8,5 \text{ Ом}$. Густина міді — $8,9 \text{ г/см}^3$.
6. До будинку прокладено кабель із мідними жилами загальним перерізом 100 мм^2 . Довжина кабелю дорівнює 80 м . Який його опір?
7. Визначте опір кожного кілометра мідного трамвайного проводу, поперечний переріз якого дорівнює 51 мм^2 .
8. Крізь нікеліновий провідник довжиною 5 м і поперечним перерізом $0,12 \text{ мм}^2$ протікає струм силою $1,5 \text{ А}$ за напруги 24 В . Визначте питомий опір нікеліну.
9. Скільки треба взяти метрів мідного дроту перерізом 3 мм^2 , щоб його опір був таким самим, як опір алюмінієвого дроту перерізом 4 мм^2 і довжиною 15 м ?



Послідовне з'єднання провідників

Резистори. У сучасній радіоелектроніці широко використовують резистори — *прилади, призначені для зміни опору електричного кола.*

Резистор (від латин. «*resisto*» — опираюсь) включають в електричне коло, щоб змінити його опір і, відповідно до закону Ома, — силу струму в колі.

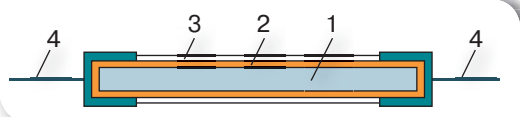
Найпростіший резистор складається з каркаса, виготовленого з непровідного та теплоізоляційного матеріалу 1, дроту з великим питомим опором, що намотаний на каркас 2, захисного шару 3 та виводів 4, за допомогою яких резистор включається в електричне коло (мал. 159, а, с. 194).

На електричних схемах резистори зображують у вигляді умовних позначень (мал. 159, б, с. 194). Залежно від призначення резистори виготовляють різних розмірів і конструкції (мал. 159, в, с. 194).

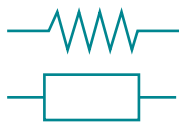
Розв'язуючи задачі з фізики або виконуючи досліди, ми будемо розглядати електричні кола, що містять лампи, дзвоники або інші споживачі струму. Якщо для розв'язання задачі неважливо, яким саме є споживач струму, то на електричній схемі можна зображати резистор, вважаючи, що його опір є таким самим, як і опір споживача.

Ви дізнаєтесь

- Як визначається загальний опір послідовно з'єднаних елементів електричного кола, як розподіляється сила струму й напруга в такому з'єднанні



а



За стандартами США

За європейськими стандартами

б

в



Мал. 159. Резистор: а — внутрішня будова; б — умовні позначення на електричних схемах; в — зовнішній вигляд

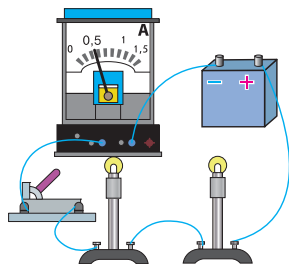
Послідовне з'єднання елементів електричного кола. Пригадайте, ми з вами вже розглядали послідовне з'єднання елементів електричного кола — з'єднання, за якого елементи вмикаються в електричне коло один за одним.

Послідовно з'єднують резистори, елементи акумуляторної батареї. Послідовно вмикають в електричне коло амперметр. Будь-які споживачі струму (електричні лампи, резистори тощо) проводять електричний струм, тому для спрощення такі елементи кола можна називати узагальнено — провідники.

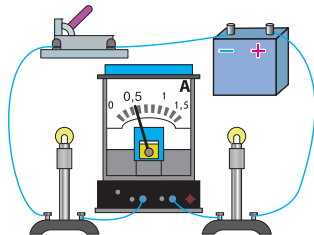
Сила струму на ділянці кола з послідовним з'єднанням провідників.

Розглянемо електричне коло з послідовно з'єднаних джерела струму, двох електроламп, амперметра та вимикача (мал. 160, а). Замкнемо електричне коло та виміряємо силу струму I_1 у ньому.

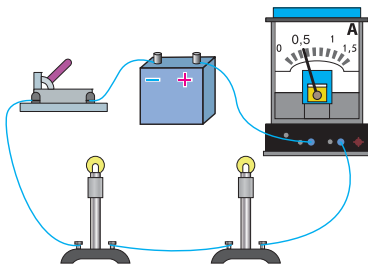
Вимкнемо електричне коло, увімкнемо амперметр між електролампами (мал. 160, б) та виміряємо силу струму I_2 . Виконаємо вимірювання сили струму I_3 між джерелом струму й електролампами (мал. 160, в). Порівняємо



а

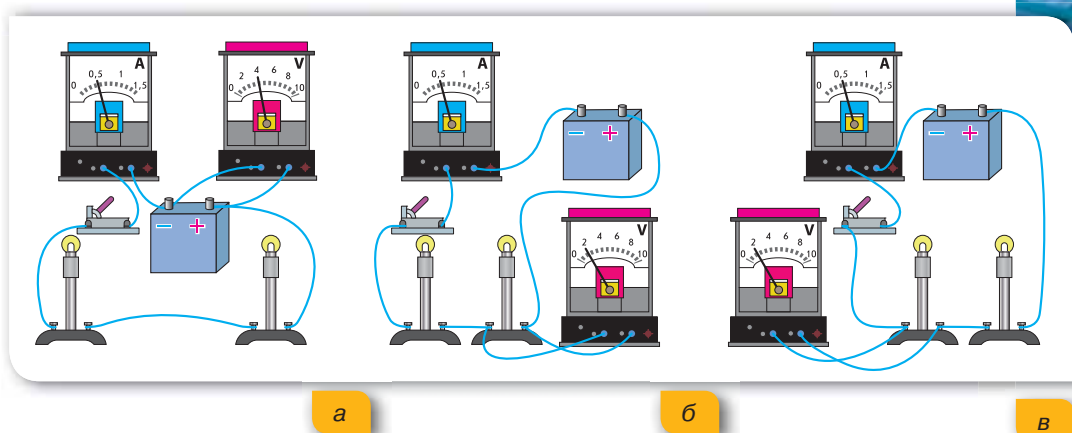


б



в

Мал. 160. Вимірювання сили струму в електричному колі з послідовним з'єднанням електроламп: а — між вимикачем і джерелом струму; б — між електролампами; в — між джерелом й електролампами



Мал. 161. Вимірювання напруги в електричному колі з послідовним з'єднанням провідників: а — на джерелі; б — на першій лампі; в — на другій лампі

виміряні значення, побачимо, що сила струму в будь-яких частинах електричного кола є однаковою.

За послідовного з'єднання провідників сила струму в усіх частинах електричного кола однакова:

$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n.$$

Напруга на ділянці кола з послідовним з'єднанням провідників. Розглянемо ще раз електричне коло з послідовно з'єднаних джерела струму, двох електроламп, амперметра та вимикача. Замкнемо електричне коло. Амперметр покаже силу струму в ньому. По черзі виміряємо вольтметром, приєднуючи його паралельно до затискачів, напругу на полюсах джерела струму U та на кожній з електроламп U_1, U_2 (мал. 161). Порівняємо виміряні значення напруги.

Бачимо, що напруга на полюсах джерела струму дорівнює сумі напруг на електролампах: $U = U_1 + U_2$.

Таким чином, повна напруга в електричному колі з послідовним з'єднанням провідників (або напруга на полюсах джерела струму) дорівнює сумі напруг на окремих ділянках кола:

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n.$$

Опір на ділянці кола з послідовним з'єднанням провідників. Розглянемо електричне коло з n послідовно з'єднаних елементів. Застосуємо закон Ома для всього кола й окремих його ділянок.

Отримаємо:

$$U = I \cdot R, U_1 = I \cdot R_1, U_2 = I \cdot R_2, U_n = I \cdot R_n,$$

де I — сила струму в колі; R, R_1, R_2, R_n — загальний опір кола й опори його ділянок.

Оскільки загальна напруга на кінцях послідовного з'єднання дорівнює сумі напруг на окремих ділянках кола, тобто

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n, \text{ то} \\ I \cdot R = I \cdot R_1 + I \cdot R_2 + \dots + I \cdot R_n.$$

Звідси:

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n.$$

 Загальний опір послідовно з'єднаних провідників дорівнює сумі опорів окремих провідників або ділянок електричного кола:

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n.$$

Цю властивість послідовного з'єднання елементів електричного кола враховують, виготовляючи амперметри. Оскільки амперметр включається в коло послідовно, то його опір має бути дуже малим (десяті або соті частки ома), щоб він суттєво не впливав на загальний опір і, відповідно, силу струму в колі.

Підбиваємо підсумки

- З'єднання елементів електричного кола, у якому провідники з'єднуються один за одним, називається послідовним.
- За послідовного з'єднання провідників сила струму в усіх частинах електричного кола однакова:

$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n.$$

- Повна напруга в електричному колі з послідовним з'єднанням провідників (або напруга на полюсах джерела струму) дорівнює сумі напруг на окремих ділянках кола:

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n.$$

- Загальний опір послідовно з'єднаних провідників дорівнює сумі опорів окремих провідників або ділянок електричного кола:

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n.$$

Я знаю, вмію і розумію



1. Яке з'єднання елементів електричного кола називають послідовним?
2. Як можна виміряти силу струму в електричному колі за послідовного з'єднання його елементів? Чи залежить вимірюване значення від точки включення амперметра в електричне коло?
3. Як визначити повну напругу в електричному колі, якщо є виміряні значення напруг кожної з його ділянок, що з'єднані послідовно?
4. Як визначити опір ділянки кола, що складається з кількох послідовно з'єднаних резисторів із відомими опорами?
5. Чому внутрішній опір амперметра має бути дуже малим?



ПОЯСНІТЬ

1. Чому сила струму за послідовного з'єднання провідників на всіх ділянках є однаковою?
2. Чому за послідовного з'єднання двох споживачів справджується формула: $R = R_1 + R_2$?
3. Чому напруги на провідниках і їхні опори за послідовного з'єднання для будь-якої пари провідників пов'язані співвідношенням: $\frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2}$?



ВЧИМОСЯ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ЗАДАЧІ

Задача

Три резистори з опорами 2 Ом, 3 Ом, 5 Ом з'єднані послідовно. Амперметр, увімкнений у коло, показує силу струму 1 А. Визначте опір кола, напругу на кожному резисторі та повну напругу на кінцях ділянки кола.

Дано:

$R_1 = 2 \text{ Ом}$
 $R_2 = 3 \text{ Ом}$
 $R_3 = 5 \text{ Ом}$
 $I = 1 \text{ А}$

$R = ?$

$U = ?$

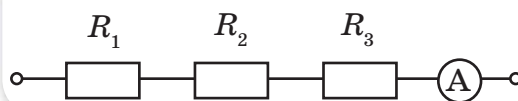
$U_1 = ?$

$U_2 = ?$

$U_3 = ?$

Розв'язання:

Схема ділянки кола, яка розглядається в задачі, має вигляд (мал. 162):



Мал. 162. Ділянка електричного кола з послідовним з'єднанням елементів

Резистори з'єднані послідовно, тому загальний опір кола:

$$R = R_1 + R_2 + R_3; R = 2 \text{ Ом} + 3 \text{ Ом} + 5 \text{ Ом} = 10 \text{ Ом}.$$

Сила струму за послідовного з'єднання є однаковою в усіх резисторах:

$$I_1 = I_2 = I_3 = I = 1 \text{ А}.$$

Напругу на кожному з резисторів визначаємо за законом Ома для ділянки кола:

$$U_1 = I \cdot R_1, U_1 = 1 \text{ А} \cdot 2 \text{ Ом} = 2 \text{ В};$$

$$U_2 = I \cdot R_2, U_2 = 1 \text{ А} \cdot 3 \text{ Ом} = 3 \text{ В};$$

$$U_3 = I \cdot R_3, U_3 = 1 \text{ А} \cdot 5 \text{ Ом} = 5 \text{ В}.$$

Повна напруга в колі за послідовного з'єднання:

$$U = U_1 + U_2 + U_3, \text{ або } U = I \cdot R,$$

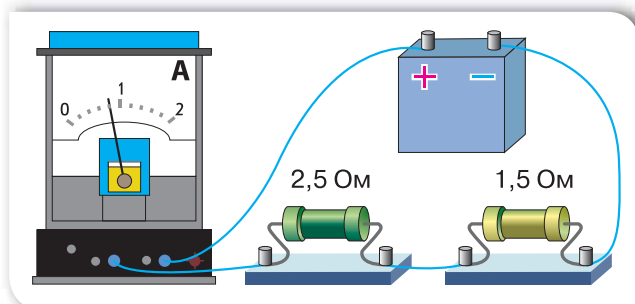
$$U = 2 \text{ В} + 3 \text{ В} + 5 \text{ В} = 10 \text{ В}, \text{ або } U = 1 \text{ А} \cdot 10 \text{ Ом} = 10 \text{ В}.$$

Відповідь: $R = 10 \text{ Ом}$, $U_1 = 2 \text{ В}$, $U_2 = 3 \text{ В}$, $U_3 = 5 \text{ В}$, $U = 10 \text{ В}$.



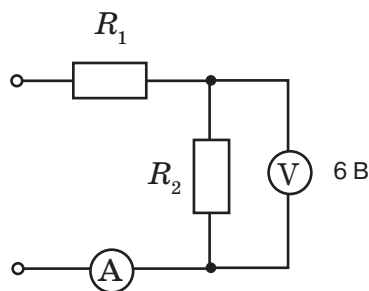
Вправа 19

- Користуючись даними з малюнка 163 визначте напругу джерела струму та напругу на кожному резисторі.

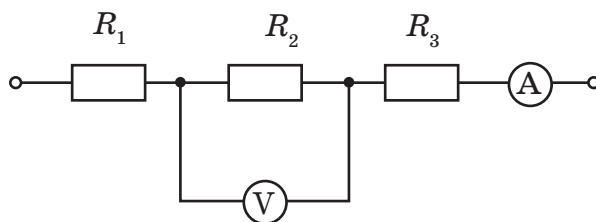


Мал. 163. До задачі 1

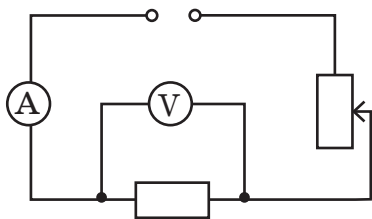
- В освітлювальну мережу 220 В увімкнули послідовно дві електричні лампи з однаковим опором. Якою буде напруга на кожній із ламп?
- Опір електричного кола, що складається з двох послідовно з'єднаних однакових ламп і реостата, дорівнює 1000 Ом. Визначте опір кожної лампи, якщо опір реостата дорівнює 120 Ом.
- На малюнку 164 зображено електричне коло. Опори резисторів, увімкнених у коло, відповідно $R_1 = 6$ Ом, $R_2 = 12$ Ом. Показання вольтметра — 6 В. Визначте напругу на резисторі опором R_1 та напругу U на всій ділянці кола.
- Ділянка електричного кола містить три резистори, з'єднані послідовно (мал. 165). Опори резисторів $R_1 = 5$ Ом, $R_2 = 6$ Ом, $R_3 = 12$ Ом. Яку силу струму показує амперметр і яка напруга в колі, якщо показання вольтметра 12 В?
- Як зміняться покази електричних приладів, зображених на малюнку 166, якщо повзунок реостата перемістити вниз; угору?
- Визначте покази амперметра та другого вольтметра (мал. 167), якщо покази першого вольтметра 18 В.



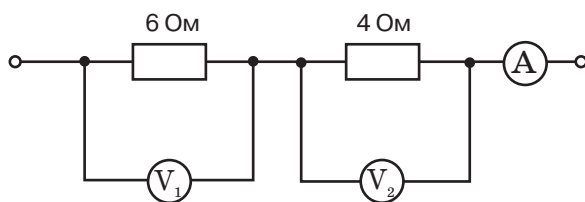
Мал. 164. До задачі 4



Мал. 165. До задачі 5



Мал. 166. До задачі 6



Мал. 167. До задачі 7

- 8.** До полюсів джерела струму приєднано послідовно два провідники однакових розмірів. Перший провідник виготовлено з алюмінію, другий — із міді. На кінцях якого провідника вольтметр покаже більшу напругу? У скільки разів відрізнятяться покази вольтметра на першому і другому провідниках?



ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9

Дослідження електричного кола з послідовним з'єднанням провідників

Мета роботи: дослідити електричні кола з послідовним з'єднанням провідників, перевірити закони послідовного з'єднання провідників.

Прилади та матеріали: батарея акумуляторів, дві електролампи, амперметр постійного струму на 2 А, вольтметр постійного струму на 4 В, вимикач, з'єднувальні провідники.

Вказівки щодо виконання роботи

1. Накресліть схему електричного кола, що складається із джерела струму, двох електричних ламп, з'єднаних послідовно, амперметра та вимикача.
2. Складіть коло за накресленою схемою для вивчення послідовного з'єднання елементів.
3. Визначте силу струму I_1 на лампі L_1 за показами амперметра. Увімкніть амперметр після другої лампи й виміряйте силу струму I_2 . Увімкніть амперметр в інше місце кола й виміряйте силу струму I . Переконайтеся, що сила струму є однаковою. Результати вимірювань запишіть в таблицю.

Номер досліду	Сила струму, А			Напруга, В			Опір, Ом		
	I_1	I_2	I	U_1	U_2	U	R_1	R_2	R
1									

4. Вольтметр підключіть паралельно: а) до лампи L_1 , виміряйте напругу U_1 ; б) до лампи L_2 , виміряйте напругу U_2 ; в) до ділянки кола з обома лампами, виміряйте напругу U . Результати вимірювань запишіть в таблицю.

5. Обчисліть опори ламп R_1 , R_2 та загальний опір послідовно з'єднаних елементів — R . Результати вимірювань запишіть в таблицю..
6. Зробіть висновок, чи виконуються закони послідовного з'єднання елементів.
7. Оцініть відносну похибку перевірки законів послідовного з'єднання:

■ для опорів $\varepsilon = \left| 1 - \frac{R_1 + R_2}{R} \right| \cdot 100\%$; для напруг $\varepsilon = \left| 1 - \frac{U_1 + U_2}{U} \right| \cdot 100\%$;

■ для сил струму $\varepsilon = \left| 1 - \frac{I_1}{I} \right| \cdot 100\%$ та $\varepsilon = \left| 1 - \frac{I_2}{I} \right| \cdot 100\%$;

■ для співвідношення $\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$, $\varepsilon = \left| 1 - \frac{\frac{U_1}{U_2}}{\frac{R_1}{R_2}} \right| \cdot 100\%$.



Паралельне з'єднання провідників

Ви дізнаєтесь

- Як визначається загальний опір паралельно з'єднаних елементів електричного кола, як розподіляється сила струму й напруга в такому з'єднанні

Пригадайте

- Яке з'єднання елементів електричного кола називають паралельним

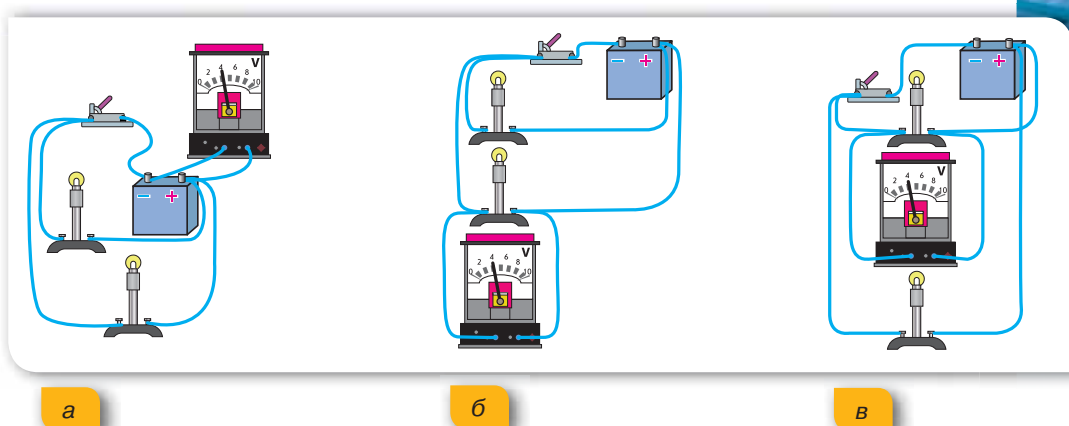
Паралельне з'єднання елементів електричного кола. Паралельним називають таке з'єднання елементів електричного кола, за якого перші кінці всіх провідників приєднують до однієї точки електричного кола, а другі кінці — до іншої.

У розгалужених колах є так звані вузлові точки (точки, у яких з'єднуються три і більше провідників). Вузлові точки розділяють електричне коло на окремі гілки. Особливістю розгалужених електричних кіл є те, що сила струму в кожній гілці може відрізнятися за значенням. Паралельно до полюсів джерела струму або затискачів споживача електричної енергії вмикається в електричне коло вольтметр.

Напруга на ділянці кола з паралельним з'єднанням провідників. Розглянемо електричне коло, що

складається з двох паралельно з'єднаних низьковольтних електроламп, джерела струму, вольтметра та вимикача.

Умикаючи вольтметр так, як показано на малюнку 168, а-в, переконуємось, що напруга на кінцях кожного паралельно з'єданого провідника дорівнює напрузі на джерелі струму.



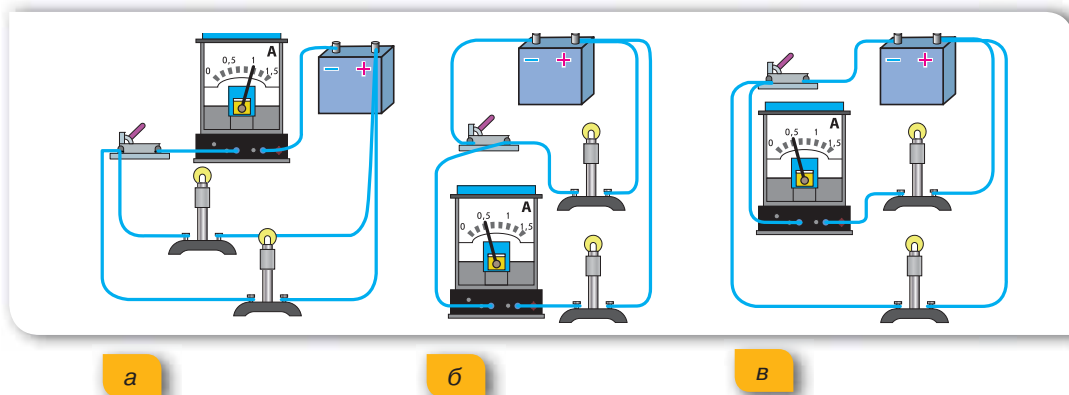
Мал. 168. Вимірювання напруги в колі з паралельним з'єднанням провідників:
а — на джерелі; б — на першій лампі; в — на другій лампі

Напруга на кожному паралельно приєднаному провідникові є однаковою і дорівнює напрузі на всій ділянці кола:

$$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n.$$

Завдяки цій властивості паралельного з'єднання його широко використовують у техніці й побуті. Усі побутові споживачі електричного струму (електричні освітлювальні лампи в квартирі, телевізор, холодильник, мікрохвильова піч) розраховані на однакову робочу напругу 220 В, тому в електромережу квартири їх вмикають паралельно.

Сила струму на ділянці кола з паралельним з'єднанням провідників. Розглянемо те саме електричне коло й будемо вимірювати амперметром силу струму на різних ділянках кола (мал. 169). Замкнемо електричне коло та виміряємо силу струму I до розгалуження (повну силу струму в колі),



Мал. 169. Вимірювання сили струму в колі з паралельним з'єднанням провідників:
а — у загальній частині кола; б — у першій лампі; в — у другій лампі

силу струму I_1 у першій електролампі, силу струму I_2 у другій електролампі. Порівняємо виміряні значення сили струму. Зробимо висновок, що сила струму до розгалуження дорівнює сумі сил струму в електролампах:

$$I = I_1 + I_2.$$

Сила струму в нерозгалуженій частині кола дорівнює сумі сил струму в окремих паралельно з'єднаних елементах електричного кола:

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n.$$

Опір на ділянці кола з паралельним з'єднанням провідників. Продовжуємо досліджувати електричне коло з паралельно з'єднаних елементів.

Сила струму в такому колі $I = I_1 + I_2$, напруга — $U_1 = U_2 = U$.

За законом Ома, $I = \frac{U}{R}$, відповідно: $I_1 = \frac{U}{R_1}$, $I_2 = \frac{U}{R_2}$.

Тоді $\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2}$. Спростивши вираз, отримаємо:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}.$$

За паралельного з'єднання елементів електричного кола величина, обернена до повного опору з'єднання, дорівнює сумі величин, обернених до опорів розгалужень:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}.$$

Підбиваємо підсумки

- Паралельним називають таке з'єднання елементів електричного кола, за якого одні кінці всіх провідників приєднують до однієї точки електричного кола, а інші кінці — до другої.
- Напруга на кожному паралельно приєднаному провідникові є однаковою і дорівнює напрузі на всій ділянці кола:

$$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n.$$
- Сила струму в нерозгалуженій частині кола дорівнює сумі сил струму в окремих паралельно з'єднаних елементах електричного кола:

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n.$$
- За паралельного з'єднання елементів електричного кола величина, обернена до повного опору з'єднання, дорівнює сумі величин, обернених до опорів розгалужень:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}.$$

Я знаю, вмію і розумію



1. Яке з'єднання елементів електричного кола називають паралельним?
2. Яким чином вимірюють напругу на різних ділянках електричного кола, що з'єднані паралельно?
3. Як співвідноситься сила струму в нерозгалуженій частині електричного кола із силами струму в його елементах, з'єднаних паралельно?
4. Як розраховують загальний опір розгалуження електричного кола?
5. Чому в житлових приміщеннях споживачі електричної енергії з'єднуються паралельно?



ПОЯСНІТЬ

1. Чому за паралельного з'єднання сила струму в кожному з будь-якої пари провідників і їхні опори пов'язані співвідношенням:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1} ?$$

2. Два дроти однакової довжини й однакового перерізу (залізний і мідний) увімкнуті в електричне коло паралельно. У якому з дротів сила струму буде більшою?



ВЧИМОСЯ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ЗАДАЧІ

Задача 1

Доведіть, що якщо коло складається з n паралельно з'єднаних однакових провідників з опором R_0 кожний, то загальний опір

кола R буде в n разів меншим від опору одного провідника: $R = \frac{R_0}{n}$.

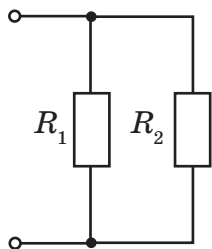
Дано:

R_0
 n

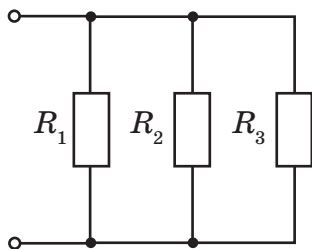
Розв'язання:

Розглянемо випадок паралельного з'єднання двох однакових провідників (мал. 170, а).

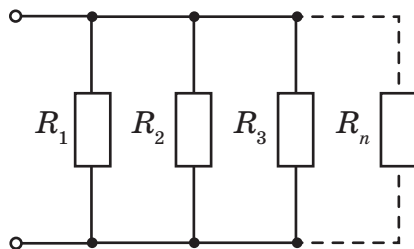
Довести: $R = \frac{R_0}{n}$



а



б



в

Мал. 170. Паралельне з'єднання провідників: а — двох; б — трьох; в — n провідників

Загальний опір двох паралельно з'єднаних провідників:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}.$$

Оскільки опори однакові, то $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_0} + \frac{1}{R_0} = \frac{2}{R_0}$, звідси $R = \frac{R_0}{2}$.

У випадку трьох паралельно з'єднаних однакових провідників (мал. 170, б, с. 203): $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_0} + \frac{1}{R_0} + \frac{1}{R_0} = \frac{3}{R_0}$, звідки $R = \frac{R_0}{3}$.

Відповідно для n паралельно з'єднаних однакових провідників (мал. 170, в, с. 203) з опором R_0 кожний $R = \frac{R_0}{n}$.

Задача 2

Ділянка електричного кола містить три паралельно з'єднані провідники, опори яких відповідно $R_1 = 3$ Ом, $R_2 = 5$ Ом і $R_3 = 15$ Ом. Визначте загальний опір ділянки кола.

Дано:

$$R_1 = 3 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 5 \text{ Ом}$$

$$R_3 = 15 \text{ Ом}$$

$$R = ?$$

Розв'язання:

Загальний опір трьох паралельно з'єднаних провідників визначається за формулою: $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$.

Зведемо до спільного знаменника:

$$\frac{1}{R} = \frac{R_2 R_3 + R_1 R_3 + R_1 R_2}{R_1 R_2 R_3}.$$

$$\text{Звідки } R = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_2 R_3 + R_1 R_3 + R_1 R_2}.$$

Підставляємо числові значення:

$$R = \frac{3 \text{ Ом} \cdot 5 \text{ Ом} \cdot 15 \text{ Ом}}{5 \text{ Ом} \cdot 15 \text{ Ом} + 3 \text{ Ом} \cdot 15 \text{ Ом} + 3 \text{ Ом} \cdot 5 \text{ Ом}} \approx 1,6 \text{ Ом}.$$

Відповідь: $\approx 1,6$ Ом.

Зверніть увагу! Значення загального опору ділянки з паралельним з'єднанням є меншим від значення будь-якого з опорів, що складають це паралельне з'єднання.

Задача 3

Два резистори паралельно приєднано до джерела струму, і їхній загальний опір дорівнює 7,5 Ом. Сила струму в першому резисторі дорівнює 400 мА, у другому — 1,2 А. Визначте опір кожного резистора, загальну напругу в колі.

Дано:

$$I_1 = 400 \text{ мА} = 0,4 \text{ А}$$

$$I_2 = 1,2 \text{ А}$$

$$R = 7,5 \text{ Ом}$$

СІ**Розв'язання:**

Оскільки резистори з'єднано паралельно, то загальна сила струму в колі визначається так:

$$I = I_1 + I_2, I = 0,4 \text{ А} + 1,2 \text{ А} = 1,6 \text{ А}.$$

Згідно із законом Ома:

$$U = I \cdot R,$$

$$U = 1,6 \text{ А} \cdot 7,5 \text{ Ом} = 12 \text{ В}.$$

$$R_1 - ? \quad R_2 - ?$$

$$U - ?$$

За умови паралельного з'єднання провідників загальна напруга і напруга на кожному з резисторів однакові: $U = U_1 = U_2$.

Відповідно опір резисторів визначається за формулами:

$$R_1 = \frac{U}{I_1}, \quad R_2 = \frac{U}{I_2},$$

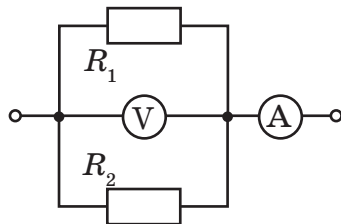
$$R_1 = \frac{12 \text{ В}}{0,4 \text{ А}} = 30 \text{ Ом}, \quad R_2 = \frac{12 \text{ В}}{1,2 \text{ А}} = 10 \text{ Ом}.$$

Відповідь: 30 Ом; 10 Ом; 12 В.

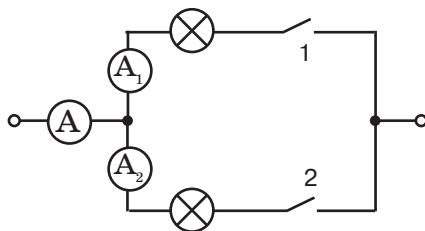


Вправа 20

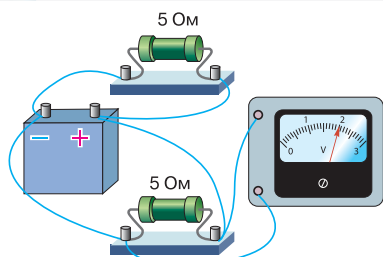
1. Неізовований дрiт має електричний опiр 1 Ом. Визначте опiр цього самого дроту, пiсля того як його посерединi розрiзали та скрутили отриманi половини разом по всiй довжинi.
2. Iзовований дрiт опором 1 Ом розрiзали посерединi та скрутили отриманi половини разом по всiй довжинi. Визначте опiр такого провiдника.
3. Iзовований дрiт розрiзали на три частини i сплели в один. У скiльки разiв змiнився опiр такого провiдника?
4. Два провiдники паралельно приєднано до джерела струму. Опiр першого 150 Ом, другого — 30 Ом. Визначте, у якому провiднику сила струму бiльша й у скiльки разiв.
5. Амперметр, включений в електричне коло (мал. 171), показує силу струму 1,6 А за напруги 120 В. Опiр резистора $R_1 = 100 \text{ Ом}$. Визначте опiр другого резистора R_2 й силу струму в кожнiй дiлянцi кола.
- 6*. Дiлянка електричного кола мiстить двi однаковi паралельно приєднанi лампи, три амперметри та два вимикачi (мал. 172). Якщо замкненi вимикачi 1 i 2,



Мал. 171. До задачі 5



Мал. 172. До задачі 6



Мал. 173. До задачі 7

амперметр A показує силу струму $1,2\text{ А}$. Що покажуть амперметри A_1 і A_2 , якщо замкнути: лише вимикач 1 ; лише вимикач 2 ?

7. До джерела струму приєднано два однакові резистори (мал. 173). За даними малюнка визначте силу струму в колі.



ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 10

Дослідження електричного кола з паралельним з'єднанням провідників

Мета роботи: дослідити електричні кола з паралельним з'єднанням провідників, перевірити закони паралельного з'єднання провідників.

Прилади та матеріали: батарея акумуляторів, дві електролампи, амперметр постійного струму на 2 А , вольтметр постійного струму на 4 В , вимикач, з'єднувальні провідники.

Вказівки щодо виконання роботи

1. Накресліть схему електричного кола, що складається із джерела струму, двох електричних ламп, з'єднаних паралельно, вольтметра та вимикача.
2. Складіть коло за накресленою схемою для вивчення паралельного з'єднання елементів.

Номер досліджу	Сила струму, А			Напруга, В			Опір, Ом		
	I_1	I_2	I	U_1	U_2	U	R_1	R_2	R
1									
2									

3. Визначте напругу U за показаннями вольтметра, що підключений до клем джерела струму. Підключіть вольтметр до клем лампи L_1 , виміряйте напругу U_1 , а також до клем лампи L_2 , виміряйте напругу U_2 . Результати вимірювань запишіть у таблицю.
4. Амперметр підключіть послідовно: а) з лампою L_1 і виміряйте силу струму I_1 ; б) з лампою L_2 і виміряйте силу струму I_2 ; в) у загальну ділянку кола й виміряйте силу струму I . Результати вимірювань запишіть у таблицю.
5. Обчисліть опори ламп R_1 , R_2 та загальний опір паралельно з'єднаних елементів R .
6. Зробіть висновок про виконання чи невиконання законів паралельного з'єднання елементів.

7. Оцініть відносну похибку перевірки законів паралельного з'єднання:

- для сил струму $\varepsilon = \left| 1 - \frac{I_1 + I_2}{I} \right| \cdot 100\%$;
- для напруг $\varepsilon = \left| 1 - \frac{U_1}{U} \right| \cdot 100\%$ та $\varepsilon = \left| 1 - \frac{U_2}{U} \right| \cdot 100\%$;
- для співвідношення $\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_1}{R_2}$, $\varepsilon = \left| 1 - \frac{\frac{I_1}{I_2}}{\frac{R_1}{R_2}} \right| \cdot 100\%$.



Методи розрахунку розгалужених кіл

Змішане з'єднання провідників. Електричні кола, з якими доводиться мати справу на практиці, складаються з кількох різних споживачів, які можуть бути з'єднані між собою послідовно, паралельно або послідовно й паралельно (змішане з'єднання).

Такі електричні кола розраховують за допомогою *еквівалентних схем*. Для побудови еквівалентної схеми виділяють ділянку кола, на якій резистори з'єднані тільки послідовно або тільки паралельно, тобто опір цієї ділянки можна розрахувати. Далі таку ділянку кола замінюють одним резистором, опір якого дорівнює розрахованому. Вибудовуючи таким чином кілька еквівалентних схем, визначають загальний опір кола. Якщо задана напруга джерела струму, можна визначити загальну силу струму. Далі вже можна розрахувати напруги і сили струму на окремих резисторах.

Покажемо, як використовувати методику еквівалентної схеми, на окремих прикладах.

Задача 1

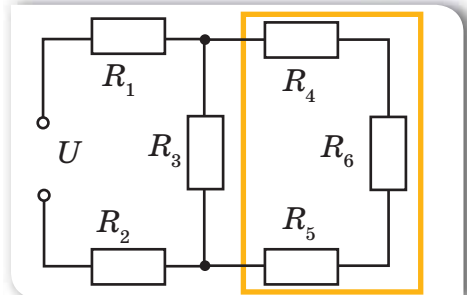
У коло, що зображене на малюнку 174, подано напругу 55 В. Опори всіх резисторів однакові й дорівнюють 2 Ом. Визначте загальний опір кола,

Ви дізнаєтесь

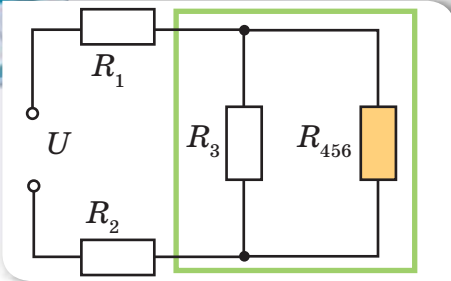
- Що таке еквівалентна схема

Пригадайте

- Співвідношення сили струму й напруги за послідовного та паралельного з'єднання провідників



Мал. 174

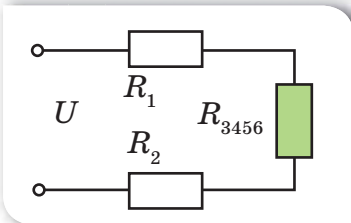


Мал. 175

а також силу струму й напругу на кожному резисторі.

З малюнка бачимо, що на схемі лише три резистори певним чином з'єднані — це резистори R_4 , R_5 , R_6 , і з'єднані вони між собою послідовно. Визначимо їхній опір: $R_{456} = R_4 + R_5 + R_6 = 6 \text{ Ом}$.

Тепер можна накреслити еквівалентну схему, замінивши ці резистори еквівалентним R_{456} (мал. 175).



Мал. 176

Тепер бачимо, що резистори R_3 і R_{456} з'єднані між собою паралельно, отже, опір цієї ланки:

$$R_{3456} = \frac{R_3 \cdot R_{456}}{R_3 + R_{456}} = \frac{2 \cdot 6}{2 \text{ Ом} + 6 \text{ Ом}} = 1,5 \text{ Ом}.$$

А зараз можна накреслити еквівалентну схему (мал. 176), замінивши паралельно з'єднані резистори еквівалентним резистором R_{3456} .

Чітко видно, що тепер усі резистори з'єднані послідовно, отже, загальний опір кола (мал. 177):

$$R = R_{1-6} = R_1 + R_2 + R_{3456} = 2 \text{ Ом} + 2 \text{ Ом} + 1,5 \text{ Ом} = 5,5 \text{ Ом}.$$

Тоді загальна сила струму:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{55 \text{ В}}{5,5 \text{ Ом}} = 10 \text{ А}.$$

А тепер будемо розглядати еквівалентні схеми у зворотному напрямі: від простіших до складніших, тобто в напрямку до початкової схеми. Спочатку розглянемо малюнок 176. Загальна сила струму, що проходить через резистори R_1 , R_2 , R_{3456} ($I = I_1 = I_2 = I_{3456}$).

Отже, можна порахувати напруги U_1 , U_2 , U_{3456} :

$$U_1 = I_1 R_1 = I R_1 = 10 \text{ А} \cdot 2 \text{ Ом} = 20 \text{ В}.$$

Зрозуміло, що $U_2 = 20 \text{ В}$,

дійсно: $U_2 = I_2 R_2 = I R_2 = 10 \text{ А} \cdot 2 \text{ Ом} = 20 \text{ В}$.

$$U_{3456} = I_{3456} R_{3456} = I R_{3456} = 10 \text{ А} \cdot 1,5 \text{ Ом} = 15 \text{ В}.$$

Перевіримо тепер рівність: $U = U_1 + U_2 + U_{3456}$ (закон напруг для послідовного з'єднання):

$$U = 20 \text{ В} + 20 \text{ В} + 15 \text{ В} = 55 \text{ В}.$$

Така перевірка показує, чи правильно ми розв'язуємо задачу. Якби цей закон не підтвердився, ми б повернулись до початку розв'язку і шукали помилку.

Обчислимо тепер струми через R_3 і R_{456} (мал. 175). Напруга на паралельній ланці $U_{3456} = U_3 = U_{456}$ (закон напруг для паралельного з'єднання).

$$\text{Отже, } U_3 = U_{456} = 15 \text{ В};$$

$$I_3 = \frac{U_3}{R_3} = \frac{15 \text{ В}}{2 \text{ Ом}} = 7,5 \text{ А};$$

$$I_{456} = \frac{U_{456}}{R_{456}} = \frac{15 \text{ В}}{6 \text{ Ом}} = 2,5 \text{ А}.$$

Контролюємо себе, перевіряючи, чи $I = I_3 + I_{456}$:

$$I = 7,5 \text{ А} + 2,5 \text{ А} = 10 \text{ А}.$$

Отже, ми робимо все правильно!

Струм через R_{456} протікає насправді через резистори R_4, R_5, R_6 (мал. 174, с. 207).

$$\text{Отже, } I_{456} = I_4 = I_5 = I_6 = 2,5 \text{ А}.$$

Тоді зрозуміло, що оскільки $R_4 = R_5 = R_6$,

$$\text{то } U_4 = U_5 = U_6 = 2,5 \text{ А} \cdot 2 \text{ Ом} = 5 \text{ В}.$$

$$\text{Справді, у сумі } U_{456} = U_4 + U_5 + U_6 = 15 \text{ В}.$$

Відповідь: $R = 5,5 \text{ Ом}$; $I_1 = I_2 = 10 \text{ А}$; $I_3 = 7,5 \text{ А}$; $I_4 = I_5 = I_6 = 2,5 \text{ А}$; $U_1 = U_2 = 20 \text{ В}$; $U_3 = 15 \text{ В}$; $U_4 = U_5 = U_6 = 5 \text{ В}$.

Задача 2

Визначте загальний опір ділянки кола та силу струму в кожному резисторі (мал. 178), якщо напруга між точками A і D дорівнює 26 В ; $R_1 = 2 \text{ Ом}$, $R_2 = 3 \text{ Ом}$, $R_3 = 6 \text{ Ом}$, $R_4 = 1 \text{ Ом}$, $R_5 = 2 \text{ Ом}$, $R_6 = 2 \text{ Ом}$, $R_7 = 4 \text{ Ом}$, $R_8 = 12 \text{ Ом}$.

Дано:

$$U = 26 \text{ В}$$

$$R_1 = R_5 = R_6 = 2 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 3 \text{ Ом}$$

$$R_3 = 6 \text{ Ом}$$

$$R_4 = 1 \text{ Ом}$$

$$R_7 = 4 \text{ Ом}$$

$$R_8 = 12 \text{ Ом}$$

$$I, I_1, I_2, I_3, I_4, I_5,$$

$$I_6, I_7, I_8 \text{ — ?}$$

Розв'язання:

На ділянках AB і CD резистори з'єднані паралельно.

Опір кожної ділянки відповідно (мал. 178):

$$\frac{1}{R_{AB}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}; \quad \frac{1}{R_{CD}} = \frac{1}{R_6} + \frac{1}{R_7} + \frac{1}{R_8}.$$

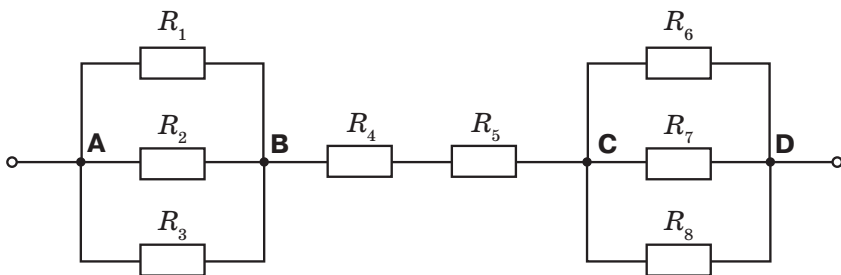
Тоді загальний опір кола буде складатися із послідовно з'єднаних ділянок AB, BC і CD :

$$R = R_{AB} + R_{BC} + R_{CD}, \text{ де } R_{BC} = R_4 + R_5.$$

$$R_{BC} = 1 \text{ Ом} + 2 \text{ Ом} = 3 \text{ Ом};$$

$$R_{AB} = 1 \text{ Ом}; \quad R_{CD} = 1,2 \text{ Ом}.$$

Після підстановки даних загальний опір кола дорівнює $R = 5,2 \text{ Ом}$.



Мал. 178

За законом Ома для ділянки кола визначаємо: $I = \frac{U}{R}$; $I = \frac{26 \text{ В}}{5,2 \text{ О}} = 5 \text{ А}$.

Струм такої сили проходить через резистори R_4 і R_5 , тобто $I_4 = I_5 = I = 5 \text{ А}$.
Напруга на ділянці AB : $U_{AB} = IR_{AB}$; $U_{AB} = 5 \text{ В}$.

Така сама напруга й на кожному з резисторів R_1, R_2, R_3 , оскільки вони з'єднані паралельно.

Тоді $I_1 = \frac{U_{AB}}{R_1}$; $I_1 = 2,5 \text{ А}$.

Аналогічно: $I_2 = 1,7 \text{ А}$, $I_3 = 0,8 \text{ А}$.

Так само визначаємо силу струму в кожному резисторі на ділянці CD .

Напруга на ділянці CD : $U_{CD} = IR_{CD}$; $U_{CD} = 6 \text{ В}$,

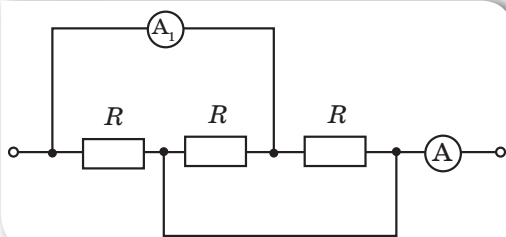
тоді $I_6 = 3 \text{ А}$, $I_7 = 1,5 \text{ А}$, $I_8 = 0,5 \text{ А}$.

Відповідь: $R = 5,2 \text{ Ом}$, $I_1 = 2,5 \text{ А}$, $I_2 = 1,7 \text{ А}$, $I_3 = 0,8 \text{ А}$, $I_4 = I_5 = I = 5 \text{ А}$,
 $I_6 = 3 \text{ А}$, $I_7 = 1,5 \text{ А}$, $I_8 = 0,5 \text{ А}$.



Вправа 21

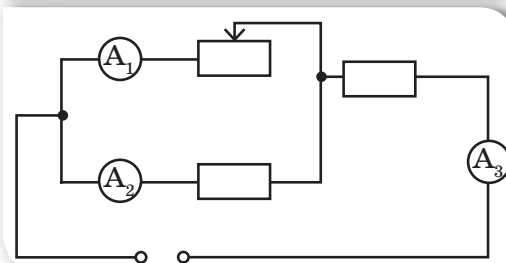
1. Чотири провідники з опором по $1,5 \text{ Ом}$ кожний необхідно з'єднати так, щоб отримати загальний опір 2 Ом . Як це здійснити?
2. Який опір можна одержати за допомогою трьох резисторів опором по 2 Ом кожний?
- 3*. Визначте покази амперметра A , якщо амперметр A_1 показує 2 А (мал. 179).



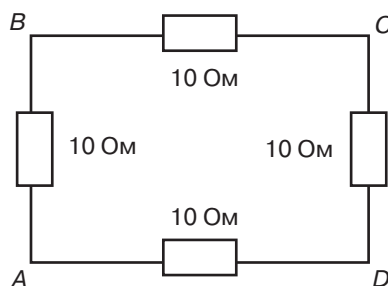
Мал. 179. До задачі 3

4. Як зміняться покази приладів, якщо повзунок реостата посунути ліво (мал. 180)?

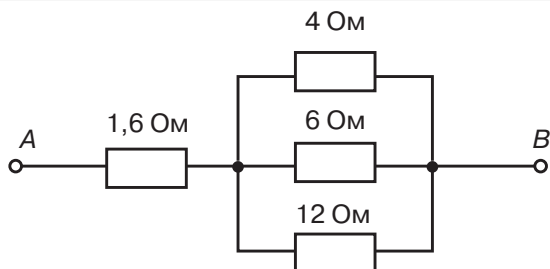
- 5*. Чотири однакові провідники з опорами по 10 Ом кожний з'єднані, як показано на малюнку 181. Яким буде загальний опір, якщо струм підвести до точок A і C ? До точок A і D ?



Мал. 180. До задачі 4



Мал. 181. До задачі 5



Мал. 182. До задачі 6

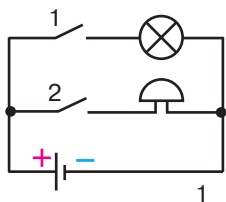
6*. Чотири провідники з'єднані, як показано на малюнку 182. Напруга між точками A і B дорівнює 18 В. Визначте загальний опір і силу струму в окремих провідниках.

7*. Два провідники за послідовного з'єднання мають опір 5 Ом, за паралельного з'єднання — 0,8 Ом. Визначте опір цих провідників.

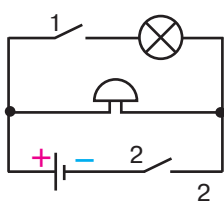
Перевірте себе (§ 34–43)

Рівень А (початковий)

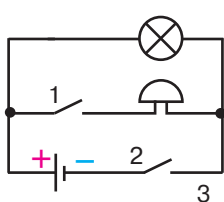
- Сила струму в колі електричної лампи дорівнює 0,3 А. Скільки електронів проходить крізь поперечний переріз спіралі за 5 хв?
 А $56 \cdot 10^{20}$ електронів
 Б $5,6 \cdot 10^{20}$ електронів
 В 5600 електронів
 Г 56 електронів
- Сила струму в залізному провіднику завдовжки 2 м і площею поперечного перерізу $0,2 \text{ мм}^2$ дорівнює 200 мА. Яка напруга на кінцях провідника?
 А 2 В Б 20 В В 0,2 В Г 200 В
- Оберіть схему електричного кола, у якому в разі замикання вимикача 2 дзвінок не працює, а лампа світиться.



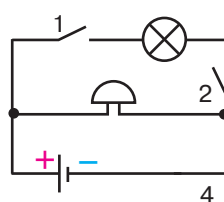
1



2



3



4

А 1 і 2 Б 3 В 2 Г 1, 2 і 4

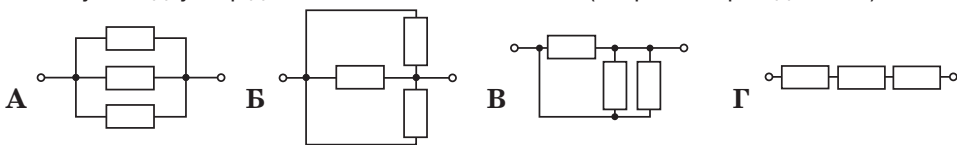
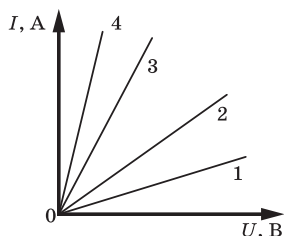
- Укажіть напругу на реостаті, якщо під час проходження по ньому електричного заряду 12 Кл електричне поле виконало роботу 720 Дж.

А 20 В В 0,2 В
 Б 60 В Г 8,64 кВ

5. Два резистори з'єднані послідовно. Опір першого резистора дорівнює 5 Ом, а опір другого — 15 Ом. Оберіть правильне твердження.
 А загальний опір резисторів — 10 Ом
 Б сила струму на першому резисторі більша
 В напруга на обох резисторах однакова
 Г сила струму в обох резисторах однакова
6. Визначте значення опору мідного дроту завдовжки 1 км, якщо його поперечний переріз — 10 мм^2 .
 А 17 Ом Б 1,7 Ом В 170 Ом Г 0,017 Ом

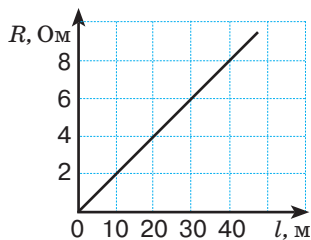
Рівень В (середній)

1. Оберіть графік залежності сили струму в металевому провіднику від напруги, який відповідає провіднику з найменшим опором.
2. У спіралі електронагрівача, виготовленій з нікелінового дроту площею поперечного перерізу $0,1 \text{ мм}^2$, за напруги 220 В сила струму дорівнює 4 А. Визначте довжину дроту.
3. У якому випадку опір ділянки кола максимальний? (Усі резистори однакові.)



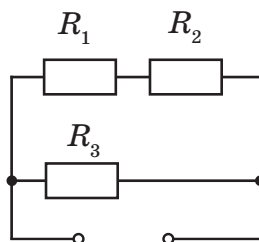
Рівень С (достатній)

1. Поясніть фізичну природу виникнення електричного опору металевих провідників на підставі їхньої атомно-молекулярної будови.
2. На малюнку зображено залежність опору провідника площею поперечного перерізу 1 мм^2 від його довжини. Визначте питомий опір матеріалу провідника.
3. Два провідники виготовлені з однакового матеріалу. Яке співвідношення між опороми R_1 і R_2 цих провідників, якщо перший коротший у 2 рази від другого, а другий тонший в 3 рази від першого?



- А $20 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$
 Б $5 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$
 В $0,5 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$
 Г $0,2 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$

- А $R_2 = R_1$ Б $R_2 = 27 R_1$ В $R_2 = 9 R_1$ Г $R_2 = 18 R_1$



Рівень D (високий)

1. У коло послідовно ввімкнено три провідники опором $R_1 = 50 \text{ Ом}$, $R_2 = 60 \text{ Ом}$, $R_3 = 120 \text{ Ом}$. Визначте напругу і силу струму в колі, а також напругу на другому провіднику, якщо напруга на першому провіднику становить 12 В.
2. Якою є напруга на резисторі R_2 (див. схему), якщо $R_1 = 1,5 \text{ Ом}$, $R_2 = 0,5 \text{ Ом}$, $R_3 = 2 \text{ Ом}$? Сила струму в резисторі R_3 становить 1 А.



Розширення меж вимірювання електровимірювальних приладів: шунт і додатковий опір

Розширення меж вимірювання амперметра.

Як ви вже знаєте, силу електричного струму вимірюють за допомогою амперметра (міліамперметра, мікроамперметра), який вмикають в електричне коло послідовно з резистором опором R . Опір амперметра має бути в багато разів менший від опору електричного кола.

Для вимірювання сили струму, що перевищує значення, на яке розрахований прилад, тобто для розширення меж його вимірювання, до амперметра підключають шунт, який на малюнку 183 позначено $R_{\text{ш}}$.

Шунт — це звичайний резистор, який під'єднують до приладу паралельно. Визначимо опір шунта, який необхідно підключити до амперметра у випадку, якщо потрібно виміряти силу струму, що в n разів перевищує силу струму, на яку розрахований прилад, тобто $n = \frac{I}{I_A}$. Опір амперметра

позначимо R_A . У цьому випадку сила струму I , яку вимірюють, дорівнює сумі струмів, що проходять через шунт і амперметр: $I = I_A + I_{\text{ш}}$. Оскільки I_A менша від вимірюваної I в n разів, то ціна поділки амперметра (якщо шкала приладу рівномірна) зросте також в n разів. Тобто відхиленню стрілки амперметра на одну поділку відповідатиме в n разів більша сила струму.

За законом Ома для ділянки кола: $R_{\text{ш}} = \frac{U}{I_{\text{ш}}}$. Ураховуючи, що $I_{\text{ш}} = I - I_A$

та $U = U_A = I_A R_A$, отримаємо: $R_{\text{ш}} = \frac{I_A}{I - I_A} R_A$.

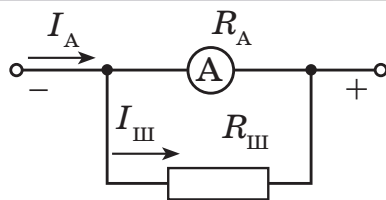
Оскільки $I = n I_A$, остання формула набуде вигляду: $R_{\text{ш}} = \frac{R_A}{n - 1}$.

Ви дізнаєтесь

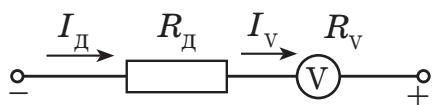
- Як виміряти значення сили струму та напруги, якщо вони перевищують верхню межу вимірювального приладу

Пригадайте

- Співвідношення сили струму та напруги за послідовного й паралельного з'єднання провідників



Мал. 183. Схема під'єднання шунта



Мал. 184.

Схема під'єднання додаткового опору

А струм, який тече через шунт, дорівнюватиме: $I_{\text{ш}} = I_A \frac{I}{I_A - 1} = I_A (n - 1)$.

Розширення меж вимірювання вольтметра. На практиці часто виникає потреба підвищити межу вимірювання вольтметра. Це завдання розв'язується за допомогою підключення до приладу

резистора (який називають додатковим опором).

Додатковий опір R_d під'єднують до вольтметра послідовно (мал. 184), тому сила струму в ньому та на приладі однакова: $I = I_d = I_v$.

Напруга, яку вимірює вольтметр U , дорівнює сумі напруг на вольтметрі U_v (U_v — максимальна напруга, яку може виміряти вольтметр) та на додатковому опорі U_d : $U = IR_v + IR_d$, звідки $R_d = \frac{U - IR_v}{I}$, де I — максимально допустима сила струму для вольтметра, яка розраховується за формулою: $I = \frac{U_v}{R_v}$.

Якщо позначити збільшення межі вимірювання вольтметра через n ($n = \frac{U}{U_v}$) і підставити значення I та n у формулу додаткового опору, отримаємо: $R_d = R_v \frac{U - U_v}{U_v} = R_v (n - 1)$. Тоді напруга на додатковому опорі дорівнює: $U_d = U - U_v = U_v (n - 1)$.

Використовуючи резистори для розширення меж вимірювання вольтметра й амперметра, можна досить легко й економічно вигідно збільшити межу їх вимірювання, що дасть змогу використовувати дані прилади в колах, параметри яких перевищують межу вимірювання цих пристроїв.

Підбиваємо підсумки

- На практиці часто виникає потреба розширити межі вимірювання електровимірювальних приладів.
- Для розширення меж вимірювання амперметра до нього підключають паралельно резистор, який називається шунт.
- Додатковий опір під'єднують до вольтметра послідовно, що розширює його межі вимірювання.

Експериментальні й дослідницькі завдання

1. Максимальна напруга, яку може виміряти вольтметр, — 4 В, до того ж через нього тече струм 20 мА. Який додатковий опір слід підключити до вольтметра, щоб за його допомогою виміряти напругу 12 В?

- Найбільша сила струму, який може текти через шунтований амперметр, дорівнює 2 А, а через приєднаний до нього шунт — 8 А. Визначте опір шунта, якщо опір амперметра — 0,2 мОм. Зробіть висновок про співвідношення опору шунта й амперметра.
- Вольтметр, розрахований на напругу 15 В, виготовлено з гальванометра з опором 2,3 Ом і чутливістю (напругою, яка відповідає відхиленню стрілки на одну поділку) $1,4 \cdot 10^{-3}$ В/под. Який додатковий опір використано під час виготовлення вольтметра, якщо шкала гальванометра має 10 поділок?



Я знаю, вмію і розумію



- У чому полягають особливості ввімкнення амперметра та вольтметра в електричне коло?
- Що являє собою шунт? Які особливості його приєднання до амперметра?
- Що являє собою додатковий опір? Які особливості його приєднання до вольтметра?



ПОЯСНІТЬ

- Чому опір ідеального амперметра має дорівнювати нулю, а опір ідеального вольтметра має наближатися до нескінченності?
- Поясніть формули для розрахунку: а) опору шунта та сили струму, який тече через шунт; б) величини додаткового опору та напруги на ньому.



Робота і потужність електричного струму

Робота електричного струму. Під час вивчення механічних і теплових явищ, а також на початку вивчення електричних явищ ми неодноразово користувалися терміном *робота*. І, як ми знаємо, робота у фізиці — це не характеристика самого тіла, а властивість сил діяти, унаслідок чого самим тілом або над тілом може виконуватись робота. У цьому параграфі дослідимо роботу електричного струму.

Ви вже знаєте, що електрична напруга на кінцях провідника дорівнює роботі, яка здійснюється електричним полем під час переміщення електричного заряду в 1 Кл по цьому провіднику, тобто $U = \frac{A}{q}$.

Відповідно робота електричного поля A може бути визначена як добуток перенесеного через поперечний переріз провідника електричного заряду q та напруги U на кінцях провідника:

$$A = q \cdot U.$$

Ви дізнаєтесь

- Як визначати енергетичні характеристики електричного струму

Пригадайте

- Що характеризують такі фізичні величини, як робота й потужність

Скориставшись співвідношенням між силою струму I , електричним зарядом, який пройшов через поперечний переріз провідника q та часом його проходження t (нагадаємо, $q = It$), можна записати такий вираз для обчислення роботи електричного поля:

$$A = IUt.$$

Таким чином, ми бачимо, що правильніше було б говорити «робота сил електричного поля з переміщення електричного заряду в провіднику» (пригадайте, ми говоримо «робота сили тяжіння з переміщення тіла»). Оскільки переміщення електричних зарядів у провіднику під дією електричного поля називають електричним струмом, то прийнято скорочено говорити «робота електричного струму», «робота струму». Як і у випадку механічної роботи, роботу струму можна оцінити за перетвореннями енергії (пригадайте, механічна робота визначається через зміну кінетичної або потенціальної енергії тіла). Таким чином, загальне визначення роботи електричного струму таке:

Робота електричного струму — це фізична величина, що характеризує перетворення електричної енергії і показує, яку роботу виконує електричне поле, переміщуючи електричні заряди по провіднику.

Кількісно робота струму на ділянці електричного кола визначається добутком сили струму, напруги на цій ділянці та часу, впродовж якого виконувалася ця робота

$$A = IUt.$$

Одиницею роботи струму є *джоуль* (Дж): $1 \text{ Дж} = 1 \text{ В} \cdot 1 \text{ А} \cdot 1 \text{ с}$.

Скориставшись законом Ома для ділянки кола $I = \frac{U}{R}$, замінимо силу струму у виразі для обчислення роботи. Тоді вираз для обчислення роботи матиме вигляд:

$$A = \frac{U^2}{R} t.$$

Якщо ж із закону Ома виразимо напругу через силу струму ($U = IR$), одержимо ще один вираз для обчислення роботи:

$$A = I^2 Rt.$$

Зауважимо, що формула $A = IUt$ є універсальною, у той час як $A = \frac{U^2}{R} t$ та $A = I^2 Rt$ є справедливими тільки в тих випадках, коли робота струму витрачається лише на зміну внутрішньої енергії провідника, тобто його нагрівання. Крім того, формулу $A = \frac{U^2}{R} t$ зручно використовувати у випадку паралельного з'єднання провідників, оскільки напруга на провідниках є однаковою, а формулу $A = I^2 Rt$ — у випадку послідовного з'єднання провідників, оскільки в цьому разі однаковою є сила струму.

Потужність електричного струму. Важливою характеристикою кожного електричного приладу є енергія, що споживається ним за одиницю часу. Цю характеристику називають *потужністю струму*.

Потужність електричного струму — це фізична величина, що дорівнює роботі електричного поля по напрямленому переміщенню електричних зарядів у провіднику за одиницю часу.

Щоб кількісно визначити середню потужність електричного струму, необхідно роботу електричного струму A поділити на час її виконання t :

$$P = \frac{A}{t}.$$

Одиницею потужності є *ват*, (Вт): $1 \text{ Вт} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{с}}$.

З формули $A = Pt$ і на підставі того, що під час споживання електроенергії електричний струм виконує роботу впродовж значного часу, який може становити декілька годин і навіть діб, вимірювання роботи електричного струму в джоулях є доволі незручним. На практиці для вимірювання роботи струму широко використовується позасистемна одиниця — кіловат-година (кВт · год):

$$1 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж}.$$

Саме тому визначати роботу електричного струму можна не лише за формулами, а й вимірювальним приладом, призначеним для обліку спожитої електричної енергії, — *електричним лічильником*.

Оскільки робота електричного струму $A = IUt$, то отримуємо й таку формулу:

$$P = \frac{IUt}{t} = IU.$$

Як бачимо, потужність електричного струму дорівнює добутку напруги на кінцях провідника та сили струму в ньому:

$$P = IU.$$

Це універсальна формула для обчислення потужності електричного струму.

З урахуванням формул, одержаних нами для обчислення роботи електричного струму, потужність струму можна також обчислити за однією з двох формул:

$$P = I^2 R, \quad P = \frac{U^2}{R}.$$

Ці залежності є справедливими тільки в тому разі, коли робота струму повністю витрачається на нагрівання провідника.

Потужність електричного струму можна визначити, помноживши покази амперметра, що ввімкнений у коло, на покази вольтметра. Проте для цього використовують також прилади, які дають змогу вимірювати потужність електричного струму безпосередньо. Їх називають *ватметрами*.

Фактична й номінальна потужність. Будь-який електричний прилад (лампа, електричний чайник, електричний двигун) розрахований на споживання певної потужності. Хочемо звернути вашу увагу на те, що, вимірюючи потужність струму в споживачі, ми визначаємо його *фактичну потужність*. Потужність, що вказана в паспорті електричного приладу або безпосередньо на приладі, називають *номінальною потужністю*. Крім номінальної потужності на приладах можуть вказувати номінальні значення напруги, на яку розрахований цей прилад. Проте напруга в мережі може відрізнятись від номінального значення, тоді відповідно зміниться і сила струму та фактична потужність електричного приладу. Отже, значення фактичної і номінальної потужностей споживача можуть відрізнятись.

Якщо коло складається з кількох споживачів, то, розраховуючи їхню фактичну потужність, слід пам'ятати, що за будь-якого з'єднання споживачів загальна потужність струму в усьому колі дорівнюватиме сумі потужностей окремих споживачів.

Підбиваємо підсумки

- Робота електричного струму — це фізична величина, що характеризує перетворення електричної енергії і показує, яку роботу виконує електричне поле, переміщаючи електричні заряди по провіднику.
- Кількісно робота струму на ділянці електричного кола визначається добутком сили струму, напруги на цій ділянці та часу, впродовж якого виконувалася ця робота $A = IUt$.
- Одиницею роботи струму є *джоуль* (1 Дж). Широко використовується й позасистемна одиниця роботи струму — кіловат-година (кВт · год): $1 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж}$.
- Потужність електричного струму — це фізична величина, що дорівнює роботі електричного поля по напрямленому переміщенню електричних зарядів у провіднику за одиницю часу:

$$P = \frac{A}{t}.$$

- Одиницею потужності є *ват* (Вт): $1 \text{ Вт} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{с}}$.



Я знаю, вмію і розумію



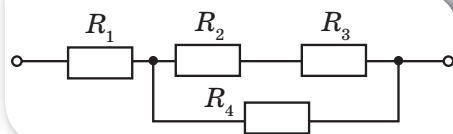
1. Що називають роботою електричного струму?
2. За якою формулою обчислюється робота електричного струму?
3. Що називають потужністю струму?
4. Як можна обчислити потужність?
5. Запишіть формули для обчислення потужності та вкажіть, коли якою формулою зручніше користуватися.
6. У яких одиницях вимірюють потужність електричного струму?



ВЧИМОСЯ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ЗАДАЧІ

Задача

До джерела напругою 200 В підключено ділянку кола, що складається з чотирьох резисторів (мал. 185). Визначте загальну потужність струму в усій ділянці кола та потужність струму на резисторах R_2 і R_4 . Опори резисторів дорівнюють: $R_1 = 20$ Ом, $R_2 = R_3 = 25$ Ом, $R_4 = 75$ Ом.



Мал. 185

Дано:

$$U = 200 \text{ В}$$

$$R_1 = 20 \text{ Ом}$$

$$R_2 = R_3 = 25 \text{ Ом}$$

$$R_4 = 75 \text{ Ом}$$

$$P - ? \quad P_2 - ? \quad P_4 - ?$$

Розв'язання:

Резистори R_2 і R_3 з'єднані послідовно. Опір цієї ділянки $R_{2,3} = R_2 + R_3$.

Ці резистори з'єднані паралельно з резистором R_4 .

Опір такої ділянки:

$$\frac{1}{R_{2,3,4}} = \frac{1}{R_{2,3}} + \frac{1}{R_4} = \frac{R_4 + R_{2,3}}{R_{2,3} \cdot R_4} = \frac{R_4 + R_2 + R_3}{(R_2 + R_3) \cdot R_4},$$

$$\text{звідки } R_{2,3,4} = \frac{(R_2 + R_3) \cdot R_4}{R_4 + R_2 + R_3}.$$

$$\text{Загальний опір ділянки } R = R_1 + \frac{(R_2 + R_3) \cdot R_4}{R_4 + R_2 + R_3}.$$

$$R = 20 \text{ Ом} + \frac{(25 \text{ Ом} + 25 \text{ Ом}) \cdot 75 \text{ Ом}}{75 \text{ Ом} + 25 \text{ Ом} + 25 \text{ Ом}} = 50 \text{ Ом}.$$

Потужність струму на всій ділянці кола:

$$P = \frac{U^2}{R}; \quad P = \frac{(200 \text{ В})^2}{50 \text{ Ом}} = 800 \text{ Вт}.$$

Визначаємо загальну силу струму на ділянці із формули: $P = I^2 R$,

$$I = \sqrt{\frac{P}{R}}, \quad I = \sqrt{\frac{800 \text{ Вт}}{50 \text{ Ом}}} = 4 \text{ А}.$$

Сила струму I_1 , що проходить через резистор R_1 , також дорівнює 4 А. У розгалуженій частині ділянки кола сили струму обернено пропорційні

до опорів $\frac{I_4}{I_{2,3}} = \frac{R_{2,3}}{R_4} = \frac{R_2 + R_3}{R_4}$, а також сила струму $I_1 = I_{2,3} + I_4$.

Розв'язуючи систему рівнянь

$$\frac{I_4}{I_{2,3}} = \frac{50}{75} \quad \text{і} \quad I_{2,3} + I_4 = 4,$$

отримуємо: $I_{2,3} = 2,4 \text{ А}$; $I_4 = 1,6 \text{ А}$.

Потужність струму в резисторах R_2 і R_4 відповідно:

$$P_2 = I_{2,3}^2 R_2, \quad P_2 = (2,4 \text{ А})^2 \cdot 25 \text{ Ом} = 144 \text{ Вт},$$

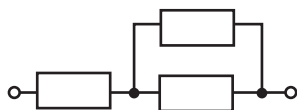
$$P_4 = I_4^2 R_4, \quad P_4 = (1,6 \text{ А})^2 \cdot 75 \text{ Ом} = 192 \text{ Вт}.$$

Відповідь: $P = 800 \text{ Вт}$, $P_2 = 144 \text{ Вт}$, $P_4 = 192 \text{ Вт}$.

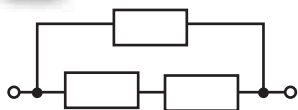


Вправа 22

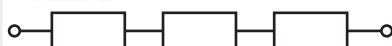
1. До джерела постійної напруги 9 В підключили три однакові резистори по 1 Ом (мал. 186). Визначте потужність електричного струму в кожному із трьох запропонованих варіантів.



а

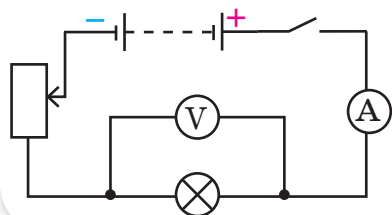


б



в

Мал. 186. До задачі 1



Мал. 187. До задачі 2

2. Як буде змінюватися споживана лампою потужність (мал. 187), якщо повзунок реостата перемістити вгору? униз?

3. Визначте роботу, яку щосекунди виконує двигун електродриля, якщо за напруги 220 В сила струму в ньому становить 4 А.

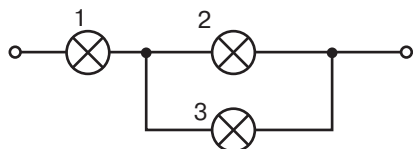
4. Резистори опором 600 Ом і 800 Ом приєднали паралельно до джерела струму. Порівняйте потужності на кожному резисторі.

5. У мережу напругою 220 В включено нагрівальний прилад. Визначте питомий опір матеріалу, з якого виготовлена спіраль нагрівального приладу, якщо він споживає потужність 2200 Вт. Довжина спіралі дорівнює 11 м, поперечний переріз — $0,21 \text{ мм}^2$.

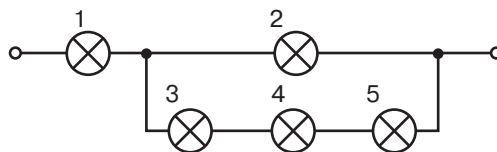
6. Визначте роботу, яку виконує двигун електричного міксера за 1,5 хв, якщо за напруги 220 В сила струму в обмотці двигуна становить 0,5 А. ККД двигуна — 75 %.

7. Як зміниться потужність, споживана лампами 1 і 2, якщо лампа 3 згорить (мал. 188)?

8. У колі (мал. 189) усі лампи однакові. Яка з них світитиметься найяскравіше?



Мал. 188. До задачі 7



Мал. 189. До задачі 8



Закон Джоуля—Ленца. Електронагрівальні прилади

Закон Джоуля—Ленца. Електричний струм нагріває провідник. Це явище вам добре відоме. Пояснюється воно тим, що заряджені частинки переміщуються під впливом електричного поля і взаємодіють з атомами речовини провідника, передаючи їм свою енергію. Унаслідок роботи електричного струму внутрішня енергія провідника збільшується. Теплову дію електричного струму експериментально досліджували англійський учений Джеймс Джоуль та російський фізик Емілій Ленц і незалежно один від одного в 1842 р. дійшли одного висновку, який згодом отримав назву закон Джоуля—Ленца.

Ви дізнаєтесь

- Як можна виміряти теплову дію струму

Пригадайте

- Дії електричного струму

Закон Джоуля—Ленца: кількість теплоти Q , що виділяється в провіднику, який має опір R , у результаті проходження по ньому струму силою I протягом часу t визначається добутком квадрата сили струму, опору провідника й часу проходження струму:

$$Q = I^2 R t.$$

Цей закон був встановлений експериментально. Ми, знаючи формулу роботи електричного струму $A = UIt$, виведемо формулу закону Джоуля—Ленца математично. Якщо на ділянці кола, якою проходить струм, не виконується механічна робота й не відбуваються хімічні реакції, то результатом роботи електричного струму буде тільки нагрівання провідників. Нагрітий провідник унаслідок теплообміну віддає отриману енергію в навколишнє середовище. Згідно із законом збереження енергії, кількість виділеної теплоти дорівнює роботі струму: $Q = A$. Оскільки $A = UIt$, а $U = IR$, то маємо: $Q = UIt = IRI t = I^2 R t$.

Зверніть увагу! Скориставшись законом Ома $I = \frac{U}{R}$, математично

можна отримати й такі формули закону Джоуля—Ленца: $Q = \frac{U^2 t}{R}$

і $Q = UIt$. Проте у випадку, якщо в колі виконується механічна робота або відбуваються хімічні реакції, ці формули **використовувати не можна**.

Електронагрівальні прилади. Теплова дія струму використовується в різних електронагрівальних приладах. *Електронагрівальні прилади* —



Мал. 190.
Електронагрівальні побутові прилади

це технічні засоби, що призначені для перетворення електричної енергії в теплову. Наразі в побуті широко використовують електричні праски, плити, чайники, електричні каміни, рефлектори тощо (мал. 190). У промисловості теплова дія струму використовується для плавлення спеціальних видів сталі й інших металів. У сільському господарстві за допомогою електричного струму обігрівають теплиці, інкубатори, сушать зерно тощо.

Основною частиною нагрівального електричного приладу є нагрівальний елемент. *Нагрівальний елемент* — це провідник із великим питомим опором, що здатний не руйнуватись під час нагрівання до високої температури (1000–1200 °С). Найчастіше для виготовлення нагрівальних елементів застосовують сплав нікелю, заліза, хрому й марганцю, відомий під назвою «ніхром». Великий опір, що його має ніхром, дає змогу виготовляти з нього дуже зручні, малі за розмірами нагрівальні елементи. У нагрівальному елементі провідник у вигляді дроту, стрічки чи спіралі намотують на каркас або прикріплюють до арматури із жаростійкого матеріалу (слюди або кераміки).

Цілком зрозуміло, що кожний, хто користується цими приладами, має знати їх будову, правила користування і поточного ремонту. Електронагрівальний прилад може нормально працювати лише за певної робочої (номінальної) напруги й розрахований на певну величину струму, тобто має певну потужність. Усі ці величини — робоча напруга, струм і потужність — є основними паспортними даними будь-якого електронагрівального приладу. Вони зазначені в паспорті, який додається до приладу, та відображені на табличці, закріпленій на приладі.

Мікрохвильова піч також є знайомим для багатьох нагрівальним побутовим приладом, проте, на відміну від електричних плит і духових шаф, нагрівального елемента в ній немає. Не вдаючись до детального пояснення фізичних процесів, які відбуваються, принцип дії мікрохвильової печі можна пояснити так. Нагрівання їжі відбувається завдяки дії електромагнітних хвиль на молекули води, що містяться в продуктах. Молекули води починають обертатись, виникає «міжмолекулярне тертя», у результаті чого виділяється теплота.

Освітлювальні лампи. Ще одним пристроєм, де використовується ефект нагрівання провідника під час проходження в ньому електричного струму, є лампа розжарювання.

Основною частиною лампи розжарювання є тонкий вольфрамовий провідник. Вольфрам — тугоплавкий метал із температурою плавлення 3387 °С. У лампі розжа-

рювання вольфрамова нитка нагрівається до $3000\text{ }^{\circ}\text{C}$ і починає яскраво світитися.

Нитку розжарювання вміщують у скляну колбу, з якої за допомогою насоса відкачують повітря. Це роблять з метою запобігання перегоранню нитки розжарювання внаслідок окиснення вольфраму. У звичайному повітрі за таких температур вольфрам миттєво перетворився б на оксид.

Проте відкачування повітря призводить до випаровування вольфраму з поверхні нитки розжарювання, унаслідок чого вона з часом стає тоншою й перегорає. З метою запобігання швидкому випаровуванню вольфраму лампи наповнюють газами, які не взаємодіють з вольфрамом, наприклад азотом або інертними газами — такими як криптон чи аргон. Таким чином, молекули газу перешкоджають швидкому руйнуванню нитки розжарювання. Газонаповнену лампу зображено на малюнку 191, а.

Перевагою лампи розжарювання є випромінювання постійного (не мерехтливого) світіння. Проте лампи розжарювання мають ряд суттєвих недоліків. Серед них — велике енергоспоживання, відносно невеликий термін роботи та мала ефективність. Так, усього 5 % спожитої електричної енергії перетворюється у світло, а решта 95 % — у тепло.

У 1976 р. американець Ед Харріс продемонстрував принципово нову лампу, яка згодом отримала назву енергозберігаючої газорозрядної лампи (мал. 191, б). У ній електричний струм проходить не по металевому провіднику, а через суміш газів, які внаслідок цього випромінюють світло. Газорозрядна лампа отримала назву енергозберігаючої тому, що, споживаючи потужність 20 Вт, вона дає такий самий світловий потік, як лампа розжарювання, що споживає 100 Вт. Термін роботи сучасних енергозберігаючих ламп становить близько 10 000 год, і 70 % спожитої ними електричної енергії перетворюється у світло.

Проте і на зміну газорозрядним лампам приходять нові — LED-лампи (мал. 191, в). LED-лампа (від англ. «*light-emitting diode*» — діод, що випромінює світло) — це напівпровідниковий пристрій, що випромінює світло, коли через нього проходить електричний струм, їх ще називають *світлодіодними лампами*.

Перевагами таких ламп є те, що близько 90 % спожитої електричної енергії перетворюється у світло; можна розробляти лампи, що випромінюють світло певного кольору. Колір світла, яке випромінює світлодіод, залежить від хімічного складу напівпровідника, що використаний у ньому.



а



б

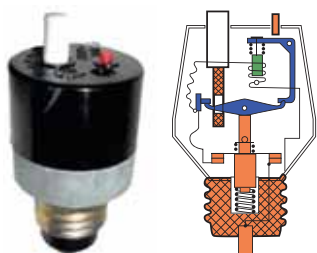


в

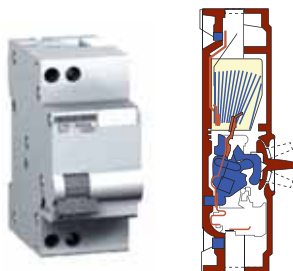
Мал. 191. Лампи:
а — розжарювання;
б — газорозрядні енергозберігаючі;
в — світлодіодні



а



б



в

Мал. 192. Запобіжники:
а — одноразові;
б, в — автоматичні
(багаторазові)

Світлодіоди застосовують в індикаторах, в інформаційних табло, світлофорах, ліхтариках, гірляндах тощо.

Запобіжники. Як відомо, побутові прилади, що споживають електричну енергію, у квартирах з'єднані паралельно. Тому, якщо ввімкнути відразу кілька потужних побутових приладів, загальний опір кола суттєво зменшиться, відповідно сила струму в колі значно зросте. Значне збільшення сили струму відбувається і в разі короткого замикання — з'єднання кінців ділянки кола провідником, що має малий опір порівняно з опором цієї ділянки. Коротке замикання може виникнути й через порушення ізоляції проводів.

Щоб уникнути пожежі через коротке замикання або перевантаження електричного кола, а також щоб не вийшли з ладу споживачі електричної енергії під час небезпечного збільшення сили струму, використовують запобіжники — пристрої, що розмикають коло в разі понаднормового збільшення сили струму.

Розрізняють одноразові запобіжники й автоматичні (багаторазові) вимикачі. Одноразовими є плавкі запобіжники (мал. 192, а). Корпус запобіжника виготовляють з електроізоляційного матеріалу (скла, кераміки). Головною деталлю запобіжника є плавка вставка (дріт, смужка металу), яку обирають з таким розрахунком, щоб вона розплавилася раніше, ніж сила струму досягне неприпустимих значень. Виводи плавкої вставки сполучені з клемми, за допомогою яких запобіжник вмикається в електричне коло послідовно зі споживачем або ділянкою кола, яка захищається. Для цього використовують спеціальні клемні утримувачі.

Робочим елементом багатьох автоматичних вимикачів є біметалева пластина, що складається з двох різних металів, скріплених між собою (мал. 192, б, в). Один кінець стрічки, як правило, нерухомо закріплений у корпусі пристрою, а інший — переміщується залежно від температури пластини. За нагрівання пластини кожний із двох металів деформується по-різному, пластина вигинається, розмикаючи тим самим електричне коло. На відміну від плавкого запобіжника, після охолодження біметалевої пластини автоматичний вимикач можна ввімкнути знову.

Підбиваємо підсумки

- Кількість теплоти, що виділяється в провіднику під час проходження електричного струму, чисельно дорівнює роботі струму $Q = A$.
- Кількість теплоти, яка виділяється провідником зі струмом, визначається добутком квадрата сили струму, опору провідника та часу проходження струму:

$$Q = I^2 R t.$$

Цей закон отримав назву закону Джоуля—Ленца.

- Основна частина будь-якого електронагрівального приладу — це нагрівальний елемент. Нагрівальний елемент являє собою провідник з великим питомим опором, який може витримувати великі температури.
- Змінюючи силу струму в нагрівальному елементі, можна регулювати температуру нагрівника.



Я знаю, вмію і розумію



1. Поясніть, чим зумовлена теплова дія електричного струму.
2. Сформулюйте закон Джоуля—Ленца.
3. Назвіть межі застосування виразу $Q = I^2 R t$.
4. Які ви знаєте електронагрівальні прилади?
5. Що таке нагрівальний елемент?
6. Які електричні лампи використовують люди в побуті?



ПОЯСНІТЬ

1. У скільки разів збільшиться кількість теплоти, що виділяється провідником, якщо сила струму в ньому збільшиться втричі?
2. Як зміниться кількість теплоти, що виділяється провідником під час проходження по ньому електричного струму, якщо довжину провідника зменшити вдвічі?
3. Два вольфрамові провідники однакової довжини мають різний діаметр. Поясніть, у якому з них виділяється більша кількість теплоти.



ВЧИМОСЯ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ЗАДАЧІ

Задача

За 10 хв в електричному чайнику нагріли 0,5 л води від 20 °С до кипіння. Сила струму в мережі дорівнює 1,2 А, а опір спіралі електричного чайника — 260 Ом. Питома теплоємність води — 4200 Дж/(кг · °С). Визначте ККД електричного чайника.

Дано:

$t = 10 \text{ хв}$

$V = 0,5 \text{ л}$

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

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

$I = 1,2 \text{ А}$

$R = 260 \text{ Ом}$

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

$\eta = ?$

СИ

600 с

$0,0005 \text{ м}^3$

Розв'язання:

ККД нагрівального приладу чисельно дорівнює відношенню корисної енергії до затраченої:

$$\eta = \frac{E_{\text{к}}}{E_{\text{з}}}.$$

Корисною енергією є енергія нагрівання води: $E_{\text{к}} = Q = cm(t_2 - t_1)$,

а затраченою — енергія, що виділилася в нагрівальному елементі під час проходження по ньому електричного струму:

$$E_{\text{з}} = Q = I^2 R t.$$

Масу води визначаємо через густину:

$$m = \rho V, \quad m = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 5 \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 = 0,5 \text{ кг}.$$

Узагальнена формула:

$$\eta = \frac{cm(t_2 - t_1)}{I^2 R t}.$$

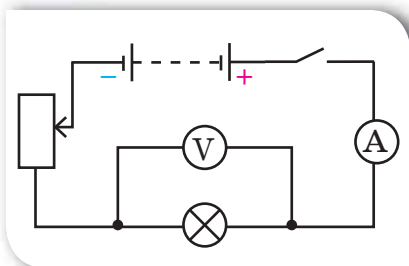
$$\eta = \frac{4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{ }^\circ\text{C}} \cdot 0,5 \text{ кг} \cdot (100 - 20) \text{ }^\circ\text{C}}{(1,2 \text{ А})^2 \cdot 260 \text{ Ом} \cdot 600 \text{ с}} = 0,75.$$

Відповідь: $\eta = 0,75$.



Вправа 23

1. Визначте кількість теплоти, що виділиться у провіднику опором 15 Ом за 10 хв , якщо сила струму в провіднику становить 2 А .
2. Сила струму в провіднику 5 А . Визначте опір провідника, якщо впродовж 10 хв виділяється кількість теплоти 5 кДж .
3. Поясніть, як зміниться кількість теплоти, що виділяється лампою розжарення (мал. 193), якщо повзунок реостата перемістити вниз; вгору.



Мал. 193. До задачі 3

4. Два провідники, опір яких 10 Ом і 23 Ом , увімкнули в мережу, напруга якої 100 В . Визначте кількість теплоти, яка виділяється щосекунди в кожному провіднику, якщо їх з'єднати: 1) послідовно; 2) паралельно.
5. Обчисліть кількість теплоти, яка щохвилини виділяється в електричному інкубаторі, що працює за напруги 220 В і сили струму 20 А , якщо 10% споживаної потужності витрачається не на обігрів, а на вентиляцію.

6. Пральна машина має потужність нагрівальних тенів 1500 Вт і ККД — 80 %. За який час тени нагріють воду об'ємом 5 л від 20 до 90 °С?
7. На електроплитці, увімкненій у мережу напругою 220 В, стоїть каструля, в якій міститься 0,5 л води з початковою температурою 20 °С. За 2 хв вода закипає. Визначте ККД електроплитки, якщо сила струму становить 7 А.
8.  Скільки електроенергії можна заощадити вдома за один день, якщо кожна сім'я на 1 год менше користуватиметься електричною лампочкою потужністю 100 Вт. В Україні приблизно 10 млн сімей.
9.  Лампа розжарювання споживає в п'ять разів більше електроенергії, ніж енергозберігаюча (денного світла). Скільки електроенергії можна заощадити вдома протягом місяця, якщо замінити лампочку розжарювання чи люмінесцентну на світлодіодну?
10.  Головний мозок людини в середньому має масу 1,5 кг, займає об'єм 0,003 м³ і споживає електричну потужність 25 Вт. Визначте: 1) енергію, необхідну мозку впродовж 8 годин; 2) на скільки більше споживає енергії процесор комп'ютера потужністю 130 Вт, порівняно з головним мозком людини.



Електричний струм у металах

Природа електричного струму в металах. Як ми вже неодноразово зазначали, електрони в металах легко залишають свій атом і стають вільними. Тепер потрібно з'ясувати: як рухаються вільні електрони в металевих провідниках. За відсутності у провіднику електричного поля електрони рухаються хаотично, подібно до того, як рухаються молекули газів (мал. 194, а, с. 228). Саме тому сукупність вільних електронів у металах ще називають «електронним газом». У будь-який момент часу швидкості руху різних електронів відрізняються значенням і напрямком. Траєкторією руху електронів є довільні ламані (мал. 194, б, с. 228).

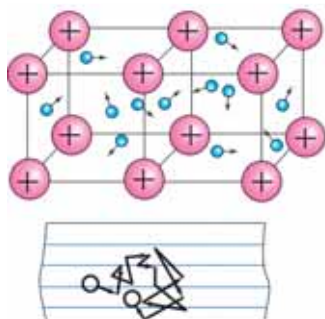
За наявності в провіднику електричного поля електрони, зберігаючи свій хаотичний рух, починають зміщуватись у напрямку позитивного полюса джерела (мал. 195, а, с. 228). Разом із безладним рухом електронів виникає і їхній упорядкований рух. На малюнку 195, б, с. 228 схематично показано траєкторію руху одного електрона під дією електричного поля.

Ви дізнаєтесь

- Як рухаються вільні електрони в металевих провідниках під дією електричного поля

Пригадайте

- Внутрішню будову твердих тіл

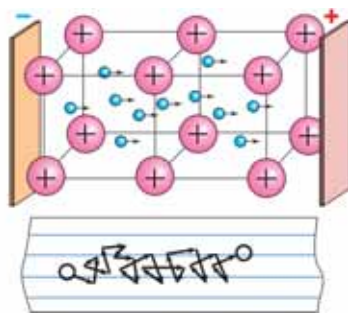


а

б

Мал. 194. Рух вільних електронів за відсутності електричного поля:

а — у кристалічних ґратках;
б — траєкторія руху електрона



а

б

Мал. 195. Рух вільних електронів за наявності електричного поля:

а — у кристалічних ґратках;
б — траєкторія руху електрона



Електричний струм у металах (металевих провідниках) — це впорядкований рух електронів під дією електричного поля, яке створює джерело електричного струму.

Електронна теорія провідності металів. Дослідженнями, що стосуються електронної провідності металів, займалися учені різних країн. Експериментально довели, що електричний струм у металах утворюється саме рухом електронів, російські вчені Л. І. Мандельштам і М. Д. Папалексі (1913 р.) і незалежно від них — американські фізики Р. Толмен і Т. Стюарт (1916 р.). Український учений А. Е. Малиновський представив свою інтерпретацію взаємодії вільних електронів і позитивних йонів у металах, зробив уточнення до теорії дослідів, які виконали Р. Толмен і Т. Стюарт. На підставі цих та багатьох інших дослідів утворилася класична теорія провідності металів, яку узагальнив німецький фізик П. Друде та розвинув нідерландський фізик Г. Лоренц (лауреат Нобелівської премії з фізики (1902 р., спільно з П. Зеєманом).

В основу класичної теорії провідності металів покладено такі положення:

1. Усі метали мають кристалічну будову. У вузлах кристалічних ґраток містяться йони металу, які здійснюють тепловий рух біля положень рівноваги.
2. У просторі між йонами хаотично рухаються електрони, сукупність яких називають «електронним газом». «Електронний газ» утворюється електронами, що порівняно слабо зв'язані з атомними ядрами. У середньому кожний атом металу втрачає один електрон, тобто кількість електронів провідності в одиниці об'єму металу дорівнює кількості атомів в одиниці об'єму ($n_e = n_a$).
3. Унаслідок хаотичного руху електронів у разі відсутності електричного поля в металі немає переважного напрямку переміщення зарядів.

4. Під дією електричного поля електрони починають напрямлено рухатися між йонами, що містяться у вузлах кристалічної ґратки, утворюючи електричний струм.

У результаті досліджень вдалось оцінити швидкість упорядкованого руху електронів у металевому провіднику. Це значення має порядок 10^{-4} м/с. Як бачимо, це дуже мале значення. З практики відомо, що всі електроприлади, увімкнені в коло, починають працювати відразу після замикання кола, хоч би на якій відстані від перемикача вони розміщувалися. Звідси випливає, що *швидкість поширення електричного струму в провіднику і швидкість упорядкованого руху електронів у ньому — це не одне й те саме!*

Згідно з електронною теорією цей факт пояснюється таким чином. Як відомо, тепловий рух електронів не припиняється ніколи, тому електрони з величезними швидкостями рухаються в усіх напрямках. У разі створення на кінцях провідника електричного поля, на електрони починає діяти електрична сила. Ця сила на тлі хаотичного руху електронів спричинює їх повільне зміщення в напрямку електричного поля. А швидкість поширення самого електричного поля в провіднику (як і швидкість поширення будь-якого електромагнітного випромінювання) становить близько 300 000 км/с.

Підбиваємо підсумки

- Електричний струм у металах (металевих провідниках) — це впорядкований рух електронів під дією електричного поля, яке створює джерело електричного струму.
- Швидкість поширення електричного струму в провіднику і швидкість упорядкованого руху електронів у ньому — це не одне й те саме: швидкість упорядкованого руху електронів за наявності електричного поля — 10^{-4} м/с; а швидкість поширення самого електричного поля в провіднику — близько 300 000 км/с.



Я знаю, вмію і розумію



1. Як рухаються електрони в провіднику в разі відсутності в ньому електричного поля та за його наявності?
2. Поясніть природу електричного струму в металах.
- 3*. Сформулюйте основні положення класичної теорії провідності металів.



ПОЯСНІТЬ

Як довести, що електричний струм у металах виникає внаслідок руху електронів, а не руху йонів?

§ 48

Залежність опору металевих провідників від температури

Ви дізнаєтесь

■ Як залежить електричний опір металевих провідників від температури

Пригадайте

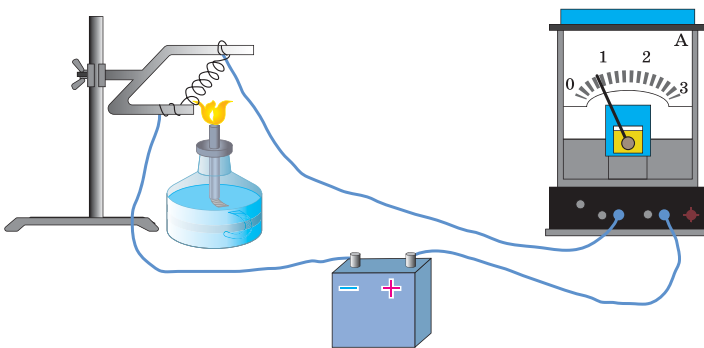
■ Чим зумовлений електричний опір металевих провідників

Залежність опору провідників від температури.

Вивчаючи дії електричного струму, ми розглядали, зокрема, його теплову дію і з'ясували, що під час проходження електричного струму по металевому провіднику він нагрівається. З'ясуємо детальніше процеси, що пов'язані з нагріванням металевих провідників унаслідок проходження через них електричного струму.

Як відомо, електрони в металах одночасно беруть участь у двох рухах: тепловому та напрямленому. Оскільки температура визначається інтенсивністю теплового руху, то зі збільшенням температури кінетична енергія теплового руху електронів і йонів у вузлах кристалічної ґратки збільшується. Зі збільшенням кінетичної енергії збільшується і кількість зіткнень вільних носіїв заряду з йонами, що містяться у вузлах кристалічної ґратки. Оскільки ці зіткнення і є причиною опору металів, то з підвищенням температури опір металів має збільшуватися. Перевіримо це на досліді.

Намотаємо у вигляді спіралі декілька метрів тонкого залізного дроту й увімкнемо його в коло, що містить батарею гальванічних елементів і амперметр (мал. 196). Опір дроту підберемо таким чином, щоб за кімнатної температури стрілка амперметра відхилялася практично на всю шкалу. Відмітимо покази амперметра та почнемо сильно нагрівати дріт за допомогою спиртівки. Із плином часу ми побачимо, що під час нагрі-



Мал. 196. Дослід, що демонструє залежність опору провідника від температури

вання дроту сила струму в колі зменшується. Ураховуючи, що напруга залишається незмінною, робимо висновок: *опір дроту під час нагрівання збільшується*.

Якщо проводити досліди з іншими спіралями — такими самими за розмірами, як і залізна, але виготовленими з інших речовин, то переконаємося, що їхній опір також збільшується, однак величина, на яку збільшується опір, щоразу буде іншою.

Дамо кількісну оцінку залежності опору провідника від температури. Для цього скористаємося поняттям відносного приросту деякої величини та сформулюємо за його допомогою означення відносного приросту опору.

Відносний приріст опору провідника — це відношення зміни опору провідника до його початкового опору. Нехай за температури $t_0 = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ опір провідника дорівнював R_0 , а з підвищенням температури до t опір збільшився до R . Тоді відносний приріст опору провідника в разі збільшення

температури від t_0 до t дорівнює $\frac{R - R_0}{R_0}$. Численні досліди довели, що ха-

рактер залежності відносного приросту опору провідника від зміни його температури має лінійний характер. Тобто відносний приріст опору про-

відника прямо пропорційний зміні його температури: $\frac{R - R_0}{R_0} \sim t - t_0$.

Зрозуміло, що для кожного виду металу ця залежність індивідуальна. Є метали, у яких збільшення опору досить значне, а є спеціальні сплави, опір яких з підвищенням температури майже не змінюється. Для порівняння залежності зміни опору від зміни температури використовують фізичну величину, що має назву *температурний коефіцієнт опору матеріалу провідника* й позначається α .

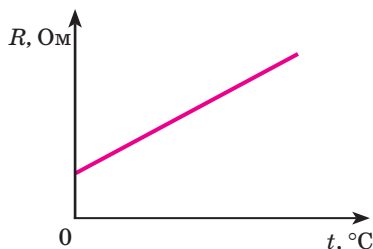
Увівши поняття коефіцієнта опору, отримуємо рівність:

$$\frac{R - R_0}{R_0} = \alpha(t - t_0).$$

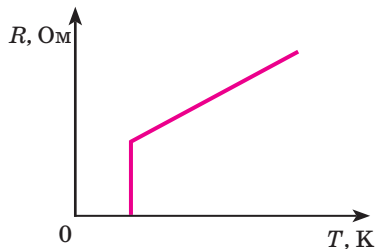
Із цієї формули можна встановити одиницю температурного коефіцієнта опору та його фізичний зміст. Як відомо, коефіцієнти або бувають безрозмірними, або мають таку розмірність, щоб виконувалась рівність обох частин. У нашому випадку $[\alpha] = \frac{1}{^{\circ}\text{C}}$. Якщо зміна температури становить $1\text{ }^{\circ}\text{C}$, то температурний коефіцієнт опору показує відносний приріст опору провідника.

Температурний коефіцієнт опору α — це фізична величина, яка показує відносний приріст опору провідника в разі зміни його температури на $1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Формулу можна записати в такому вигляді: $R = R_0(1 + \alpha\Delta t)$, де R_0 — опір провідника за температури ($0\text{ }^{\circ}\text{C}$); R — опір за температури t ; Δt — різниця температур; α — температурний коефіцієнт опору.



Мал. 197. Графік залежності опору металевого провідника від температури



Мал. 198. Різке зменшення опору за температур, що наближаються до абсолютного нуля

На малюнку 197 зображено графік цієї залежності.

Ураховуючи, що $R = \rho \frac{l}{S}$, можна також записати й формулу для визна-

чення залежності питомого опору від температури $\rho = \rho_0(1 + \alpha \Delta t)$.

Для чистих металів температурні коефіцієнти опору відрізняються мало і приблизно становлять $0,004 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$. Температурні коефіцієнти опору сплавів значно менші. Існують спеціальні сплави, опір яких майже не змінюється зі зміною температури. Такими сплавами є константан, манганін. Температурний коефіцієнт опору в манганіні майже в 400 разів менший, ніж у міді. Властивості цих матеріалів використовуються при виготовленні точних електровимірювальних приладів та еталонів опору.

Залежність опору матеріалів від температури використовують для виготовлення термометрів опору. У найпростішому випадку — це намотаний на пластинку тонкий дріт, опір якого за різних температур відомий наперед. Термометр опору вміщують усередину тіла, температуру якого потрібно виміряти (наприклад, піч), а кінці обмотки вмикають у коло. Такі термометри використовують для вимірювання дуже високих температур, за яких ртутні й інші рідинні термометри застосовувати не можна.

Явище надпровідності. На початку XX ст. нідерландський учений Г. Камерлінг-Оннес отримав рідкий гелій (температура якого становить 4,1 К ($-269 \text{ } ^\circ\text{C}$)). Коли він почав вимірювати опір чистої ртуті, зануреної в рідкий гелій, то виявив, що за таких умов опір ртуті падає до нуля. Пізніше було встановлено, що багато інших металів і сплавів теж різко втрачають опір за наднизьких температур. Це явище отримало назву *надпровідність*. Критична температура, за якої настає надпровідність, для різних матеріалів різна. Проте для всіх металів вона близька до абсолютного нуля (мал. 198).

Розглянемо природу надпровідності й можливості її практичного використання.

Ми знаємо, що для підтримання електричного струму в металах необхідно весь час діяти на електрони електричною чи іншою сторонньою силою, що забезпечуватиме їхній неперервний спрямований рух. Тому, як відомо, необхідною умовою існування струму в електричному колі є наявність у ньому джерела струму. За умови використання надпровідників сили, які протидіють рухові, відсутні. Тому для підтримання струму в надпровіднику немає потреби у джерелі струму. Отже, *струм, що виникає в надпровіднику, може зберігатись як завгодно довго й після припинення дії джерела струму*. Звичайно, весь цей час надпровідник має перебувати за наднизьких температур.

Практичне застосування надпровідності має принести людству надзвичайне зменшення втрат електроенергії під час її транспортування. Це причина, завдяки якій використання надпровідних пристроїв є одним із найбільш важливих і перспективних способів енергозбереження. Розрахунки показують, що застосування надпровідності дасть змогу зменшити втрати, пов'язані з передачею і використанням електроенергії з 30–35 % до 1–2 %, що є рівнозначним побудові в Україні кількох нових потужних електростанцій.

Підбиваємо підсумки

- Опір металів лінійно збільшується з підвищенням температури, а саме: $R = R_0(1 + \alpha \Delta t)$, де R_0 — опір провідника за температури (0°C); R — опір за температури t ; Δt — різниця температур; α — температурний коефіцієнт опору.
- Надпровідність — явище різкої втрати опору за низьких температур.



Я знаю, вмію і розумію



1. Доведіть, що опір металевого провідника збільшується зі збільшенням температури.
2. Що таке температурний коефіцієнт опору?
3. У чому полягає явище надпровідності металів?



ПОЯСНІТЬ

Чому нитку розжарювання електричної лампи виготовляють із вольфраму, а не із заліза або нікелю? Чи відрізняється значення сили струму в електричній лампі у момент її ввімкнення і в процесі експлуатації? Коли найчастіше «перегорає» електрична лампа розжарювання: у момент увімкнення чи в процесі експлуатації?



Електричний струм у розчинах і розплавах електролітів. Закон Фарадея

Ви дізнаєтесь

■ Особливості електричного струму в рідких середовищах

Пригадайте

- Умови існування електричного струму
- Що таке анод і катод

Природа електричного струму в розчинах і розплавах електролітів. Ще на початку вивчення електричного струму (§ 34) було зазначено, що залежно від агрегатного стану речовини розрізняють особливості існування електричного струму, зокрема в металах, рідинах і газах, де носіями струму можуть бути вільні електрони, позитивні й негативні йони. До цього часу ми вивчали закономірності існування електричного струму в металевих провідниках і знаємо, яке велике практичне значення має це явище. Настав час дослідити особливості утворення і існування струму в інших середовищах.

Багато речовин у твердому стані мають йонну структуру. Але у твердому стані йони міцно зв'язані один з одним, оскільки мають протилежні електричні заряди, тому їхня рухливість ускладнена. Досліди показують, що під час нагрівання (у розплавленому стані) деякі солі й оксиди металів можуть розпадатися на окремі йони. У розплаві такої речовини рухливість йонів збільшується. А найбільшою вона буде, якщо таку речовину розчинити у воді. У розчині речовина розпадається на позитивно й негативно заряджені йони під впливом молекул води. Розщеплення речовини на йони у водному розчині або в розплаві називають *електролітичною дисоціацією*, а такі речовини — *електролітами*.

Електроліти — це речовини, водні розчини або розплави яких проводять електричний струм.

Типовими електролітами є солі, кислоти й луги, багато органічних сполук.

Проведемо дослід. З'єднаємо послідовно джерело струму, електричну лампу та два електроди (анод — електрод, приєднаний до позитивного полюса джерела струму, і катод — електрод, приєднаний до негативного полюса джерела струму). Звичайно ж, лампочка світитися не буде, оскільки електричне коло розімкнуте. Додамо у склянку кухонну сіль NaCl та опустимо в неї електроди (мал. 199, а). Лампочка знову не світитися, оскільки кухонна сіль є діелектриком.

Зануримо тепер електроди в ємність із дистильованою водою (мал. 199, б). Лампа знову не світиться, оскільки дистильована вода також є діелектриком. Додамо трохи солі в посудину з водою. Ми побачимо, що лампа почне світитися, а отже, у колі з'явився електричний струм (мал. 199, в).

Результати досліду підтверджують той факт, що в розчині солі з'являються носії струму. За відсутності зовнішнього електричного поля йони разом із молекулами, які не розпалися на йони, перебувають у безперервному хаотичному русі. Що ж відбувається, якщо в розчин електроліту поміщають два електроди? Оскільки електроди різнойменно заряджені, то між ними виникає електричне поле. Очевидно, що позитивні йони (їх ще називають катіони) почнуть рухатися до негативно зарядженого електрода — катода, а негативні йони (аніони) — до позитивно зарядженого електрода, тобто до анода. У колі виникає електричний струм, зумовлений напрямленим рухом електричних зарядів обох знаків.



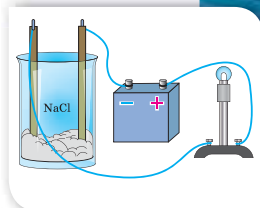
Електричний струм у розчинах електролітів — це впорядкований рух йонів.

Давайте поміркуємо над тим, а як же залежить провідність розчинів і розплавів електролітів від температури. Пригадайте такий факт: цукор чи сіль значно легше розчиняється в гарячій воді, ніж у холодній. Отже, з підвищенням температури зростає кількість молекул, які розпадаються на йони, тобто кількість вільних носіїв електричного заряду збільшується. Що більшою буде кількість вільних носіїв заряду, то краще речовина проводить електричний струм. Отже, очевидним є висновок: *зі збільшенням температури розчинів і розплавів електролітів їх провідність збільшується, а опір відповідно зменшується.*

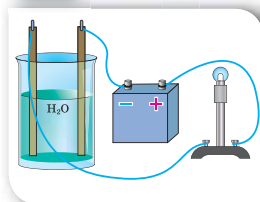
Електроліз. Досліджуючи дії струму (§ 35), ми вже згадували про хімічну дію струму. Дослідимо її детальніше.

У розчині під дією електричного поля до катода рухаються позитивно заряджені йони (катіони), які під час контакту з катодом нейтралізуються, приєднавши відповідну кількість електронів. Нейтральні атоми, що утворилися, осідають на електроді у вигляді твердого шару або виділяються у вигляді газу. Водночас аніони (негативно заряджені йони), досягши поверхні анода, навпаки, «віддають» йому надлишкові електрони й також нейтралізуються.

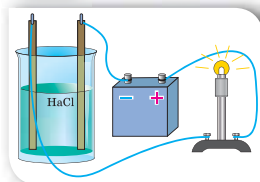
Розглянемо приклад. Хлорид міді CuCl_2 дисоціює у водному розчині на йони міді та хлору:



а

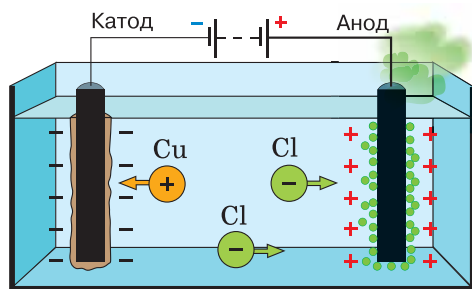


б



в

Мал. 199.
Дослідження
провідності:
а — солі;
б — дистильованої
води; в — розчину
солі



Мал. 200. Процес електролізу

У разі підключення електродів до джерела струму йони під дією електричного поля починають упорядкований рух: позитивно заряджені йони міді рухаються до катода, а негативно заряджені йони хлору — до анода (мал. 200).

Досягнувши катода, йони міді нейтралізуються його надлишковими електронами й перетворюються в нейтральні атоми, які виділяються (осідають) на катоді. Відбувається хімічна реакція відновлення: $\text{Cu}^{2+} + 2e \rightarrow \text{Cu}$. Йони хлору, досягнувши анода, віддають по од-

ному електрону. Відбувається хімічна реакція окислення: $2\text{Cl}^- \rightarrow \text{Cl}_2 + 2e$. (Окислювач — речовина, до складу якої входять атоми, що приєднують електрони під час хімічної реакції.) Після цього нейтральні атоми хлору з'єднуються попарно й утворюють молекули хлору Cl_2 . Хлор виділяється на аноді у вигляді бульбашок газу.

Бачимо, що, на відміну від металів, під час проходження електричного струму крізь електроліт на електродах виділяється речовина (у нашому прикладі — мідь і хлор). Такий процес називають електролізом.

Електроліз — це процес виділення речовини на електродах під час проходження електричного струму крізь розчини або розплави електролітів.

Закони Фарадея для електролізу. У 1833–1834 рр. видатний англійський учений Майкл Фарадей експериментально встановив кількісні співвідношення, що описують явище електролізу. Перший закон Фарадея для електролізу дає змогу обчислити масу речовини, яка виділяється на електроді.

Перший закон Фарадея

Маса речовини m , що виділилася або осіла на електроді в результаті електролізу, прямо пропорційна силі струму I й часу проходження струму через електроліт t :

$$m = kIt,$$

де k — коефіцієнт пропорційності (електрохімічний еквівалент).

У другому законі Фарадея стверджується: електрохімічний еквівалент речовини пропорційний молярній масі цієї речовини й обернено пропорційний її валентності.

Електрохімічний еквівалент речовини дорівнює масі цієї речовини, що виділяється на електроді за 1 с під час проходження через електроліт струму силою 1 А.

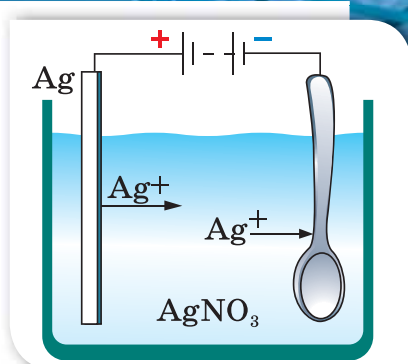
Значення електрохімічного еквівалента найбільш поширених речовин подано в таблиці на форзаці підручника.

Використання електролізу. Явище електролізу застосовується в сучасній техніці. Розглянемо деякі приклади.

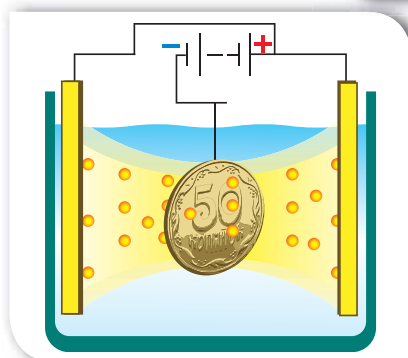
Деталі технічних пристроїв, деякі частини предметів побуту інколи покривають тонкою плівкою благородного металу (платина, золото, срібло) з декоративно-естетичною метою або з метою запобігання корозії. Такий процес називається *гальваностегія* (від *гальвано* і грец. «*stego*» — покриваю). У техніці, аби уникнути корозії, окремі деталі різних пристроїв покривають нікелем, хромом, кадмієм.

Деталь заздалегідь ретельно очищають і поміщають в електролітичну ванну, наповнену водним розчином солі відповідного металу, та сполучають із негативним полюсом джерела струму. Анодом слугує пластинка з того самого металу. У результаті електролізу на поверхні деталі осідає шар металу, сіль якого міститься в розчині електроліту (мал. 201, а).

Використовуючи явище електролізу, можна отримати абсолютно точні рельєфні копії предметів (наприклад, монет, медалей, ювелірних прикрас тощо). Для цього з предмета спочатку роблять зліпок з якого-небудь пластичного матеріалу (наприклад, із воску). Потім поверхню цього зліпка роблять електропровідною, покриваючи її тонким шаром електропровідної речовини. Підготовлений у такий спосіб зліпок поміщають в електролітичну ванну як катод (мал. 201, б). У процесі проходження через ванну електричного струму зліпок покривається товстим шаром металу. За допомогою гальванопластики виготовляють, наприклад, точні копії дорогоцінних прикрас, знайдених археологами.



а

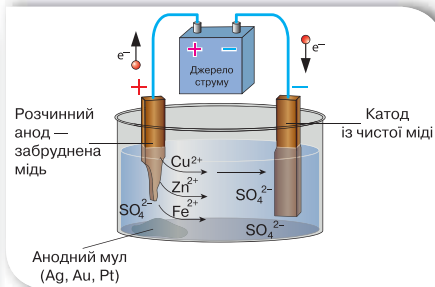


б

Мал. 201. Застосування електролізу: а — гальваностегія; б — гальванопластика



а



б

Мал. 202. Рафінування міді: а — промислові установки; б — схема дії

Процес рафінування (очищення) металів також ґрунтується на явищі електролізу. На малюнку 202, с. 237 показано, як очищують (рафінують) мідь. Із цією метою пластини із забрудненого металу поміщають в електроліт, який містить солі цього металу й інші необхідні компоненти, і підключають до позитивного полюса джерела струму. До негативного підключають електрод із чистого металу. Унаслідок проходження електричного струму відбуваються хімічні реакції: на катоді осідає чиста мідь, домішки випадають в осад. Осад містить домішки золота та срібла і є джерелом їх добування.

Підбиваємо підсумки

- Розщеплення речовини на йони у водному розчині або в розплаві називають *електролітичною дисоціацією*.
- Речовини, водні розчини або розплави яких проводять електричний струм, називають *електролітами*.
- Електричний струм у розчинах електролітів — це впорядкований рух йонів.
- На відміну від металів, під час проходження електричного струму крізь електроліт на електродах виділяється речовина. Такий процес називається *електролізом*.
- Для електролізу встановлено *закон Фарадея*: маса речовини m , що виділилася на електроді в результаті електролізу, прямо пропорційна силі струму I й часу проходження струму через електроліт t : $m = kIt$, де k — коефіцієнт пропорційності (електрохімічний еквівалент).
- Явище електролізу застосовується в сучасній техніці.



Я знаю, вмію і розумію



1. Які речовини називають електролітами? Чому кристали з йонним зв'язком є електролітами?
2. Поясніть механізм виникнення струму в електролітах.
3. Що називають електролізом?
4. Сформулюйте закон Фарадея.
5. У чому полягає фізичний зміст електрохімічного еквівалента речовини?



ПОЯСНІТЬ

1. Чому електроліт у розчині чи розплаві є електрично нейтральним, хоча він містить величезну кількість йонів обох знаків?
2. За яких умов у посудині з електролітом, де є носії струму обох знаків, струму немає?
3. Чому під час проходження струму крізь електроліт на електродах виділяється чиста речовина, що входить до складу електроліту?
4. У чому полягає відмінність між негативним йоном в електроліті й електроном?



ВЧИМОСЯ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ЗАДАЧІ

Задача

Під час електролізу сталеву деталь площею поверхні 800 см^2 було вкрито шаром нікелю завтовшки 54 мкм . За якої сили струму відбувався електроліз, якщо він тривав 4 год ?

Дано:

$S = 800 \text{ см}^2$
 $d = 54 \text{ мкм}$
 $t = 4 \text{ год}$
 $k = 0,3 \cdot 10^{-6} \text{ кг/Кл}$
 $\rho = 8,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$
 $I = ?$

СІ

$8 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2$
 $5,4 \cdot 10^{-5} \text{ м}$
 $1,44 \cdot 10^4 \text{ с}$

Розв'язання:

Під час електролізу маса речовини, що виділяється з розчину електроліту, визначається за формулою: $m = kIt$.

Масу речовини можна визначити за значенням її густини:

$$m = \rho V = \rho Sd.$$

Прирівнявши формули, визначаємо силу струму: $I = \frac{\rho d S}{kt}$.

$$I = \frac{8,9 \cdot 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 5,4 \cdot 10^{-5} \text{ м} \cdot 8 \cdot 10^{-2} \text{ м}^2}{0,3 \cdot 10^{-6} \frac{\text{кг}}{\text{Кл}} \cdot 1,44 \cdot 10^4 \text{ с}} = 8,9 \text{ А}.$$

Відповідь: $8,9 \text{ А}$.



Вправа 24

1. У розчині електроліту внаслідок проходження заряду 1 Кл на катоді виділяється $1,118 \text{ мг}$ срібла. Визначте масу срібла, що виділиться внаслідок проходження електричного заряду 500 Кл .
2. Під час електролізу розчину цинк сульфату виділилося $2,45 \text{ г}$ цинку. Визначте електрохімічний еквівалент цього металу, якщо крізь електроліт протягом 60 хв проходив електричний струм силою 2 А .
3. Якою була сила струму під час електролізу розчину мідного купоросу, якщо за 50 хв на катоді виділилося $1,98 \text{ г}$ міді?
4. Під час посріблення виробу на катоді за 30 хв осіло $4,55 \text{ г}$ срібла. Визначте силу струму під час електролізу.
5. Під час електролізу необхідно затратити $2 \text{ кВт} \cdot \text{год}$ енергії. Визначте масу цинку, яка в цьому разі виділиться, якщо напруга на клеммах становить 4 В .
6. Скільки часу тривало нікелювання, якщо на виробі осів шар нікелю масою $1,8 \text{ г}$? Сила струму становила 2 А .
7. У разі пропускання через електроліт струму силою $1,5 \text{ А}$ за 5 хв на катоді виділяється 137 мг деякої речовини. Що це за речовина?

§ 50

Електричний струм
у газах

Ви дізнаєтесь

- Особливості електричного струму в газоподібних середовищах

Пригадайте

- Умови існування електричного струму

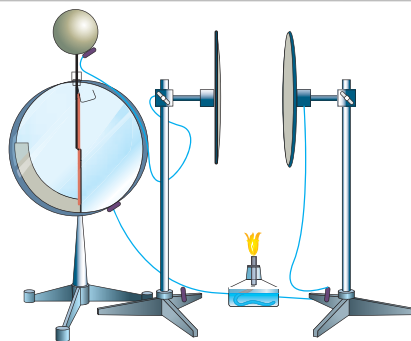
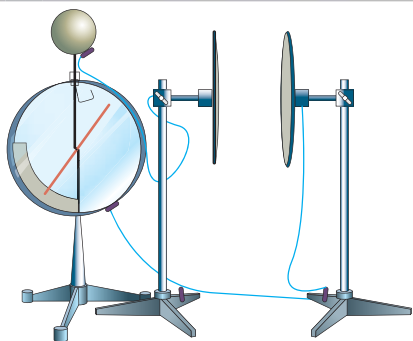
Газовий розряд. За звичайних умов гази майже повністю складаються з нейтральних атомів чи молекул, тому є діелектриками.

Переконалися в тому, що повітря є діелектриком, можна за допомогою такого досліду. Візьмемо дві металеві пластини. Одну з пластин приєднаємо до корпусу електрометра. Потім доторкнемося негативно зарядженою паличкою до пластини, приєднаної до електрометра. Обидві пластини набудуть електричного заряду, одна негативного (внаслідок дотику), інша (та, що заземлена) — позитивного

(внаслідок впливу) (мал. 203, а).

За умови достатньо сухого повітря заряд на пластинах триматиметься доволі довго, а отже, електричний струм через повітряний простір між пластинами не проходить. Це свідчить про те, що в повітрі між зарядженими пластинами майже відсутні вільні носії електричного заряду.

Однак за деяких умов можна одержати електричний струм і в газах. Внесемо у простір між пластинами запалену спиртівку. Спостерігаємо швидкий розряд електрометра (мал. 203, б). Отже, повітря внаслідок значного підвищення температури набуло провідності й замкнуло коло, тобто в нагрітому газі протікає електричний струм. Процес проходження електричного струму через газ називають *газовим розрядом*.



Мал. 203. Дослід з електропровідності повітря: а — за нормальних умов повітря не проводить електричний струм; б — нагріте повітря проводить електричний струм

Газовий розряд — це процес проходження електричного струму через газ.

Механізм електропровідності газів. Давайте спробуємо проаналізувати розглянутий дослід. Звідки ж узялися заряджені частинки? Що являють собою вільні носії електричного заряду в газах?

Ви вже знаєте, що в газах молекули (атоми) не перебувають у певних положеннях, а вільно рухаються по всьому об'єму та стикаються між собою. Під час нагрівання молекули (атоми) значно збільшують свою швидкість і відповідно збільшується кінетична енергія теплового руху молекул (атомів) газу. Тепер у разі їхнього зіткнення молекули можуть «розбитися», тобто електрон може відірватися від молекули (атома) та стати вільним. Утративши електрон, молекула (атом) стає позитивним йоном.

Під час теплового руху електрон, зіткнувшись із нейтральною молекулою (атомом), може «прилипнути» до неї — таким чином утвориться негативний йон. Такий процес називають *йонізацією газу*.

Йонізація — це процес утворення позитивних і негативних йонів та вільних електронів з молекул (атомів).

Газ, що має йони та вільні електрони, називають *йонізованим*. Зовнішню умову, що спричинює йонізацію газу, називають *йонізатором*.

Отже, в йонізованому газі вільними носіями електричного заряду є: електрони, позитивні й негативні йони.

Йонізувати газ можна в такий спосіб: нагріти його або опромінити електромагнітним випромінюванням, наприклад, рентгенівським або ультрафіолетовим.

У газах одночасно з процесом йонізації відбувається і зворотний процес — *рекомбінація*. Він полягає в тому, що позитивні й негативні йони (або позитивні йони й електрони) під час зіткнень з'єднуються між собою: утворюються нейтральні атоми або молекули. Із часом кількість йонів у газі зменшуватиметься, і зрештою практично всі йони нейтралізуються, а газ знову стане діелектриком.

Отже, механізм провідності газів схожий на механізм провідності розчинів і розплавів електролітів. У разі відсутності зовнішнього електричного поля заряджені частинки й нейтральні молекули рухаються хаотично. Якщо йони та вільні електрони потрапляють у зовнішнє електричне поле, то вони починають рухатися спрямовано та створюють електричний струм у газах — газовий розряд.

У випадку газового розряду позитивні йони рухаються до катода, а негативні йони й електрони — до анода. На електродах відбувається нейтралізація заряджених частинок, так само, як під час проходження електричного струму через розчини та розплави електролітів. Однак, на відміну від розчинів електролітів, у газах відсутнє виділення речовин на електродах.

Йони газу, наблизившись до електродів, віддають їм свої заряди, перетворюються на нейтральні молекули та потрапляють знову в газ.

Давайте поміркуємо над тим, як же залежить провідність газів від температури. З підвищенням температури зростає швидкість руху молекул, а отже, дедалі більше молекул, стикаючись, «розбиваються» на йони та електрони, тобто кількість вільних носіїв електричного заряду збільшується. Що більшою буде кількість вільних носіїв заряду, то краще речовина проводитиме електричний струм. Отже, очевидним є висновок: *зі збільшенням температури газів їхня провідність збільшується, а опір відповідно зменшується.*

Несамостійний і самостійний газові розряди. Ми з'ясували, що газовий розряд може існувати за двох умов: існування електричного поля і наявності зовнішнього йонізатора. Дослід показує, що якщо усунути причину, яка б викликала йонізацію газу (прибрати пальник, вимкнути джерело рентгенівського випромінювання тощо), то газовий розряд припиняється. Причиною припинення газового розряду є зменшення кількості вільних носіїв електричного заряду внаслідок рекомбінації молекул газу та відновлення молекул після стикання йонів з електродами. У цьому разі говорять про *несамостійний газовий розряд*.

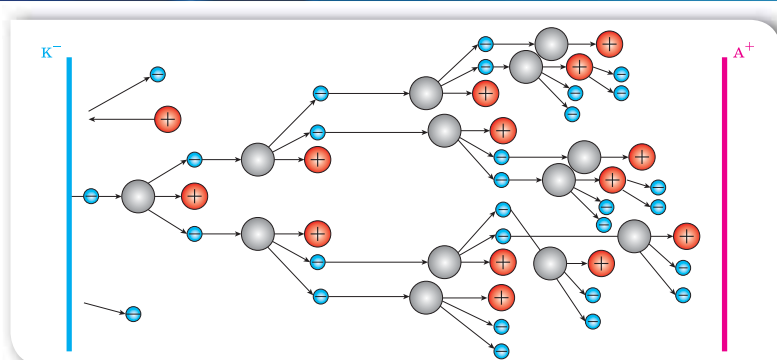
Несамостійний газовий розряд — це процес проходження електричного струму, що відбувається тільки за наявності зовнішнього йонізатора.

За певних умов газ може проводити електричний струм і після припинення дії йонізатора — настає самостійний газовий розряд.

Самостійний газовий розряд — це електричний розряд у газі, що зберігається після припинення дії зовнішнього йонізатора.

З'ясуємо, за яких умов можливий самостійний газовий розряд. Розглянемо пару заряджених частинок (позитивний йон і електрон), що утворилася завдяки дії зовнішнього йонізатора й рухається в сильному електричному полі.

Вільний електрон починає рухатися до позитивного електрода — анода, а позитивний йон — до катода. На своєму шляху електрон зустрічає йони та нейтральні атоми. У проміжках між двома послідовними зіткненнями енергія електрона збільшується завдяки роботі сил електричного поля. Маючи малу масу, електрон майже повністю віддає свою енергію під час зіткнень. Так, зустрічаючись із нейтральним атомом, він «вибиває» з нього електрон. У результаті далі вже рухаються два електрони, які прискорюються електричним полем і йонізують зустрічні атоми, і т. д. Унаслідок цього кількість заряджених частинок швидко зростає, виникає *електронна лавина* (мал. 204).



Мал. 204. Модель
електронної лавини

Що стосується йонів, то вони, рухаючись в електричному полі, також збільшують свою енергію. Але повністю віддати її нейтральному атому (молекулі), тим самим йонізуючи його, йон не може, оскільки має масу, сумірну з масою атома. Під час зіткнення відбувається лише передавання частини кінетичної енергії (як між більярдними кулями).

Проте електронна лавина — це не єдина причина виникнення вільних носіїв електричного заряду в газах. Виявляється, що під час газового розряду відбувається емісія (виліт) електронів з поверхні катода. Прискорені електричним полем позитивні йони, які утворилися внаслідок йонізації ударом, стикаються з поверхнею катода та вибивають з нього електрони. Крім того, під час самостійного газового розряду речовина електродів сильно нагрівається. Унаслідок цього швидкість руху електронів збільшується настільки, що вони починають самостійно вилітати з поверхні негативного електрода й рухатися через газ.

Отже, самостійний газовий розряд можливий за умови сильного електричного поля. У випадку розрідженого газу самостійний розряд можливий і за слабкого електричного поля, оскільки час між зіткненнями буде більшим, і електрон встигне набрати достатньої енергії для удару.

Залежно від властивостей і стану газу, матеріалу й розміщення електродів, а також від прикладеної до електродів напруги виникають різні види самостійного розряду.



Тліючий

спостерігається за низьких тисків (десяті й соті частки міліметра ртутного стовпа) і напруги між електродами в кілька сотень вольтів. Використовується в оформленні рекламних вивісок



Коронний

Спостерігається за атмосферного тиску в дуже неоднорідних електричних полях, наприклад поблизу дротів ліній високої напруги



Іскровий

виникає за високої напруги між електродами в повітрі й має вигляд пучка яскравих зигзагоподібних смужок, що відгалужуються від тонкого каналу. Використовується для оброблення деталей з тугоплавких металів. Прикладом велетенського іскрового розряду є блискавка



Дуговий

Якщо одержати іскровий розряд, а потім поступово зменшувати електричний опір кола, зменшуючи відстань між електродами, розряд перейде з переривчастого в безперервний *дуговий*. Використовується в прожекторах, проєкційних апаратах і кіноапаратах, а також для зварювання металів

Підбиваємо підсумки

- Процес проходження електричного струму через газ називають газовим розрядом.
- Електричний струм у газі являє собою спрямований рух позитивних йонів до катода, а негативних йонів і електронів — до анода.
- Зі збільшенням температури газів їх провідність збільшується, а опір відповідно зменшується.
- Розрізняють такі види самостійного газового розряду: тліючий, іскровий, коронний і дуговий.



Я знаю, вмію і розумію



1. Чому за звичайних умов газу є діелектриками? Чому під час нагрівання чи опромінення газу рентгенівськими або ультрафіолетовими променями газ стає провідником?
2. Що називають газовим розрядом?
3. Який механізм проходження електричного струму в газах? Які заряджені частинки є носіями струму в газах?
4. Який газовий розряд називається несамоістиним; самоістиним?



ПОЯСНІТЬ

1. До зарядженого електроскопа піднесли запалений сірник. Що відбуватиметься зі стрілкою електроскопа?
2. Чим відрізняється йонізація газів від дисоціації електролітів?

§ 51

Електричний струм
у напівпровідниках

Властивості напівпровідників. У другій половині ХХ ст. у різних галузях народного господарства широко розповсюдились напівпровідникові пристрої. Як ви вже знаєте, назва напівпровідники пояснюється тим, що їхня провідність займає проміжне значення між провідниками та діелектриками. До напівпровідників належить значно більше речовин, ніж до провідників і діелектриків разом узятих.

Завдяки дослідям було встановлено, що питомий опір напівпровідників з підвищенням температури не зростає, як у металів, а навпаки, різко зменшується. На малюнку 205 наведено графік залежності питомого опору напівпровідника від температури.

Як бачимо на малюнку, з наближенням температури до абсолютного нуля питомий опір напівпровідника різко зростає, тобто за низьких температур напівпровідник поводить себе як діелектрик. Зі збільшенням температури питомий опір напівпровідників швидко зменшується.

Відомі й інші властивості напівпровідників:

- електропровідність напівпровідників залежить від освітленості, тобто напівпровідникам властива так звана фотопровідність. Напівпровідники можуть перетворювати енергію світла в електричний струм;

- електропровідність напівпровідників можна значно збільшити введенням у них атомів деяких інших елементів (домішок).

Ці та деякі інші властивості напівпровідників були відомі досить давно, проте широко використовувати їх стали порівняно недавно.

Внутрішня будова напівпровідників. Пояснимо властивості напівпровідників, розглянувши їхню будову на прикладі чотиривалентного елемента Германію (мал. 206, а, с. 246).

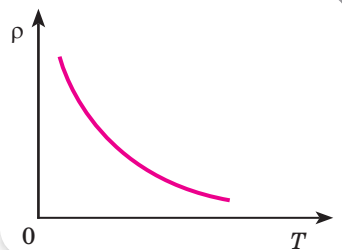
На зовнішній оболонці атом Германію має 4 власні електрони. Прагнучи заповнити зовнішню оболонку до 8 електронів, атоми вишиковуються в кристалі германію так, що кожний атом має чотирьох найближчих «сусідів», які віддають йому по одному електрону (точніше, один електрон сусіднього атома стає спільним — належить обом атомам одночасно).

Ви дізнаєтесь

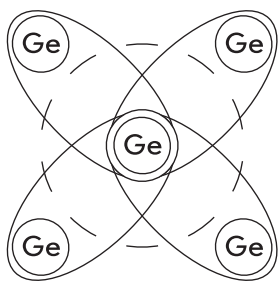
- Які особливості мають напівпровідники

Пригадайте

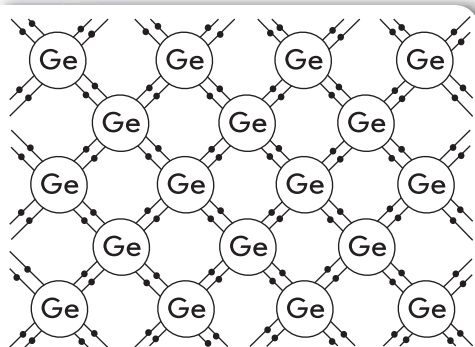
- Які речовини називають напівпровідниками



Мал. 205. Залежність питомого опору від температури для напівпровідника



a



б

Мал. 206. Схеми будови: а — атома Германію; б — кристала германію

Отже, взаємодія пари сусідніх атомів у кристалі германію здійснюється за допомогою ковалентного (парноелектронного) зв'язку (мал. 206, б).

За низьких температур і відсутності світла всі електрони зайняті в ковалентних зв'язках. Вільних носіїв заряду в кристалі напівпровідника немає, тому кристал не проводить струму і його опір великий. За цих умов кристал є ізолятором.

З підвищенням температури кристала (або в результаті опромінення світлом, рентгенівськими променями, або під впливом сильних електричних чи магнітних полів) деякі ковалентні зв'язки руйнуються. На місці кожного розірваного зв'язку утворюється вакантне місце з нестачею електрона. Така конфігурація називається діркою. Електрони та дірки рухаються хаотично. Електрони займають місця дірок (рекомбінують) або вивільняються, розриваючи парноелектронні зв'язки (генеруються вільні електрони та дірки). Процеси генерації та рекомбінації відбуваються безперервно.

Електропровідність напівпровідників.

Якщо до такого кристала прикласти напругу, то вільні електрони будуть рухатися до позитивного полюса поля, пере-

міщуючись стрибкоподібно від одного вільного місця (дірки) до іншого. Тому створюється враження, що в напівпровіднику, крім електронів, рухаються ще й позитивно заряджені частинки — дірки.

Отже, за умови дії зовнішнього електричного поля, у кристалі напівпровідника окрім впорядкованого руху електронів виникає ще й впорядковане переміщення дірок. Саме тому до електричного струму вільних електронів (n -провідності) додається електричний струм, пов'язаний з переміщенням дірок (p -провідність).

Власна та домішкова провідність. Провідність чистих напівпровідників, що не мають ніяких домішок, називають власною провідністю напівпровідників. Власна провідність напівпровідників невелика, оскільки малою є кількість вільних носіїв струму — електронів і дірок.

Дуже важлива особливість напівпровідників полягає в тому, що за наявності домішок у них поряд із власною провідністю виникає додаткова —

домішкова провідність. Як домішки використовують атоми елементів сусідніх груп періодичної системи хімічних елементів. Наприклад, внесемо у чотиривалентний Германій невелику кількість п'ятивалентного Арсену (мал. 207, а).

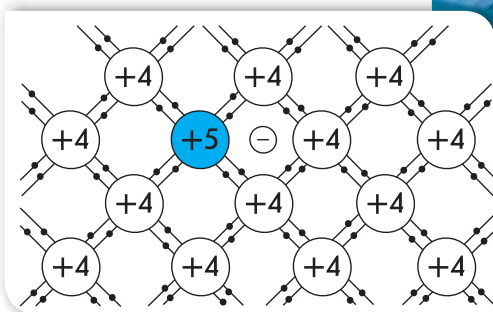
Заміщаючи атом Германію у кристалі, атом Арсену віддає на утворення ковалентних зв'язків із сусідніми атомами Германію чотири електрони, а п'ятий стає вільним.

Домішки, що легко віддають електрони, а отже, збільшують кількість вільних електронів, називають **донорними домішками**. Напівпровідники з донорною провідністю мають більшу кількість електронів провідності порівняно з кількістю дірок. Їх називають **напівпровідниками *n*-типу**. У них електрони є основними носіями заряду, а дірки — неосновними.

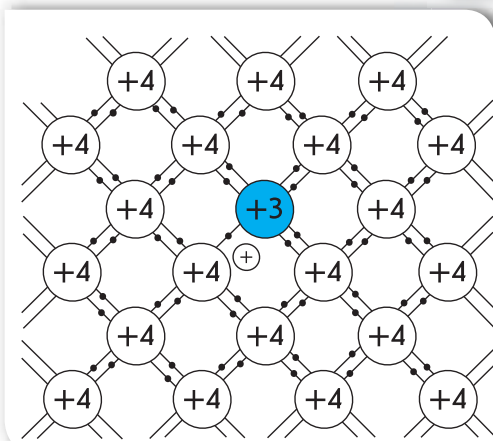
Коли ж як домішку використовують Індій, атоми якого тривалентні, то тип провідності Германію теж зміниться. Тепер для встановлення нормальних парно-електронних зв'язків із атомами Германію атому Індію не вистачає одного електрона. Унаслідок цього утворюється дірка. Кількість дірок у кристалі дорівнюватиме кількості атомів Індію (мал. 207, б). Домішки цього типу називають **акцепторними** (приймальними). Напівпровідники з переважанням діркової провідності над електронною називають **напівпровідниками *p*-типу**. Основними носіями заряду таких напівпровідників є дірки, а неосновними — електрони. Змінюючи концентрацію домішки, можна істотно змінити кількість носіїв заряду того або іншого знака, а отже, створити напівпровідники, в яких переважає концентрація або позитивно, або негативно заряджених носіїв.

Електронно-дірковий перехід. Цікаві явища спостерігаються в місці контакту напівпровідників *n*- і *p*-типів. Перехід між двома областями напівпровідника з різними типами електропровідності називають **електронно-дірковим**, або ***p-n*-переходом**.

Основна властивість *p-n*-переходу — одnobічна провідність — широко використовується в різноманітних напівпровідникових пристроях.



а



б

Мал. 207. Утворення напівпровідника *n*-типу (а) та *p*-типу провідності (б)

Підбиваємо підсумки

- До напівпровідників належать речовини, що за питомим опором займають проміжне місце між провідниками й ізоляторами (діелектриками).
- Властивості напівпровідників:
 - питомий опір напівпровідників з підвищенням температури не зростає, як у металів, а навпаки, різко зменшується;
 - електропровідність напівпровідників залежить від освітленості, тобто напівпровідникам властива так звана фотопровідність;
 - напівпровідники можуть перетворювати енергію світла в електричний струм;
 - електропровідність напівпровідників можна значно збільшити введенням у них атомів деяких інших елементів (домішок).
- Носіями електричного струму в напівпровідниках є електрони та дірки, які з'являються внаслідок вивільнення електронів із деяких ковалентних зв'язків під час теплових коливань атомів.



Я знаю, вмію і розумію



1. Чим напівпровідники відрізняються від металів і діелектриків?
2. Як у чистих напівпровідниках виникають електронна та діркова провідність?
3. Що називають власною провідністю напівпровідників?



ПОЯСНІТЬ

1. Чому зменшується питомий опір напівпровідників з підвищенням температури?
2. Чому опір напівпровідників дуже залежить від наявності домішок?



Напівпровідникові прилади та їх застосування в техніці

Ви дізнаєтесь

- Про використання напівпровідникових приладів

Пригадайте

- Що таке напівпровідник

Застосування напівпровідникових приладів. Стрімкий розвиток техніки й технологій став можливим завдяки використанню напівпровідникових приладів. На них можна натрапити у звичайному радіоприймачі, мобільному телефоні, квантовому генераторі (лазері) тощо. Напівпровідникові інтегральні мікросхеми є основою сучасних гаджетів,

комп'ютерів. З термо- та фотоелементами ви вже мали справу, використовуючи їх як джерела електричного струму.

Терморезистори. Прилади, дія яких ґрунтується на використанні залежності опору напівпровідників від температури, дістали назву терморезисторів, або термісторів (мал. 208).

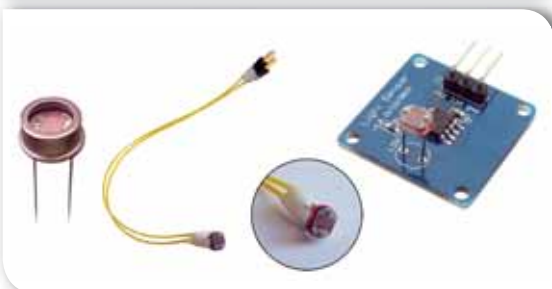
Терморезистор вмикається в електричне коло того чи іншого пристрою. Його опір значно перевищує опір інших елементів кола і, що найголовніше, сильно залежить від температури. Зміна температури терморезистора спричинює зміну сили струму в колі. Це дає можливість застосовувати терморезистори в різних схемах і створювати автоматичні пристрої для дистанційного вимірювання і регулювання температури, пожежної сигналізації, контролю за температурним режимом механізмів тощо.

Фоторезистори. У сучасній електронній техніці широко використовуються напівпровідникові прилади, засновані на принципах фотоелектричного перетворення сигналів (мал. 209). Цей принцип обумовлений зміною електрофізичних властивостей речовини в результаті поглинання нею світлової енергії. До того ж змінюється провідність речовини, що спричинює зміну сили струму в колі, у яке включений світлочутливий елемент.

У фоторезисторах використовується залежність опору напівпровідника від освітлення. Це дає змогу застосовувати їх у різного виду реле (для автоматичного вмикання і вимикання пристроїв, для підрахунку й сортування виробів на конвеєрах тощо).



Мал. 208. Види термісторів



Мал. 209. Фоторезистори

Підбиваємо підсумки

- Напівпровідники широко використовуються в техніці, зокрема, це напівпровідникові джерела струму (термо- та фотоеlementи), термістори, фоторезистори тощо.



Я знаю, вмію і розумію



1. Чому напівпровідники мають широке застосування?
2. Наведіть приклади використання напівпровідникових приладів.
3. Що таке термістор? Яка властивість напівпровідника покладена в основу його дії?
4. Що таке фоторезистор? Яка властивість напівпровідника покладена в основу його дії?



Фізика Навколо нас

БЕЗПЕКА ЛЮДИНИ ПІД ЧАС РОБОТИ З ЕЛЕКТРИЧНИМИ ПРИЛАДАМИ ТА ПРИСТРОЯМИ

Щодня ми користуємось електричними приладами, але потрібно знати, що вони є джерелом небезпеки. Дія електричного струму на людину може призводити до електричних травм і пошкоджень, таких як скорочення м'язів, що супроводжується сильним болем, втратою свідомості, порушенням роботи серця чи дихання (або обох цих порушень разом).



Іноді трапляються нещасні випадки від дії електричного струму, які призводять до смерті людини.



Щоб уникнути багатьох неприємностей, достатньо завжди пам'ятати правила поводження з електричними приладами та дотримуватися їх:

1. Електронагрівальні прилади, такі як електрочайник, електросамовар, електропраска, електрокамін та ін., потрібно вмикати в електромережу тільки повністю справними.
2. Переважна кількість побутових електроприладів є переносними, і тому часто виникає пошкодження їхньої ізоляції. Також буває, що електричний кабель обірвався чи оголився. У таких випадках у жодному разі не торкайтесь оголених місць, бо це може призвести до травми.
3. Не залишайте без нагляду електроприлади, увімкнені в розетку.
4. Забороняється тягнути за електричний кабель руками, тому що він може обірватись і вразити електричним струмом.
5. Не можна заповнювати водою ввімкнені в електромережу чайники, кавоварки, каструлі.
6. Не торкайтесь мокрими руками електричних кабелів, штепсельних розеток, вимикачів, інших електроприладів, увімкнених в електромережу, та не витирайте їх вологою ганчіркою.
7. Не можна підвішувати речі на кабелі, що ввімкнені в мережу.
8. Не можна бавитись із штепсельними розетками — це загрожує вашому життю.
9. Коли йдете з дому — всі електроприлади мають бути вимкнені.
10. Не можна сильно навантажувати подовжувачі, вмикаючи одночасно багато потужних електроприладів.
11. Не залишайте без догляду своїх молодших братиків і сестричок.



Якщо не забувати цих простих правил, то можна уникнути багатьох неприємностей.

Пам'ятайте, несправності в електромережі й електричних приладах може усунути лише фахівець-електрик!

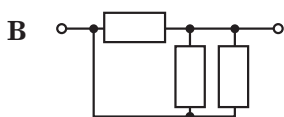
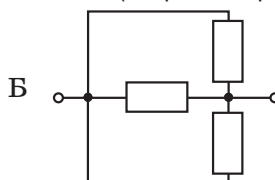
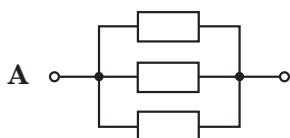
Використання електричних приладів не за призначенням або невміле користування ними можуть призвести до **пожежі**! Якщо вже так сталося, що електричне обладнання загорілося, то перш за все потрібно:

- ♦ вимкнути електрорубильник (Обов'язково поцікавтеся, де розташований електрорубильник вашого помешкання, та навчіться ним користуватися!). Якщо знеструмити електромережу неможливо, то слід пам'ятати: не можна застосовувати для гасіння воду та пінні вогнегасники, можна лише порошкові;
- ♦ терміново **зателефонувати за номером 101** і викликати пожежну охорону.

Перевірте себе (§ 44–52)

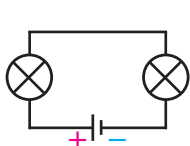
Рівень А (початковий)

1. Два резистори з'єднані послідовно. Опір першого резистора 5 Ом, а опір другого — 15 Ом. Виберіть правильне твердження.
 - А загальний опір резисторів 10 Ом
 - Б сила струму на першому резисторі більша
 - В напруга на обох резисторах однакова
 - Г сила струму в обох резисторах однакова
2. З підвищенням температури речовини електричний опір збільшується...
 - А тільки в газах
 - Б тільки в електролітах
 - В тільки в напівпровідниках
 - Г тільки в металах
3. Електродвигун, увімкнений до мережі, споживає потужність 6,2 кВт. Яку роботу виконує струм у колі двигуна за 1,5 год?
 - А 4,13 кДж
 - Б 33,48 МДж
 - В 9,3 кДж
 - Г 93 кВт · год
4. Прикладом самостійного газового розряду є...
 - А веселка
 - Б грім
 - В блискавка
 - Г світіння електричної лампочки
5. Що змінилося на ділянці електричного кола, якщо ввімкнений послідовно з резистором амперметр показує збільшення сили струму?
 - А збільшився опір резистора
 - Б зменшилась напруга
 - В збільшилась напруга або зменшився опір
 - Г збільшився опір або зменшилась напруга
6. У якому випадку опір ділянки кола максимальний? (Усі резистори однакові.)

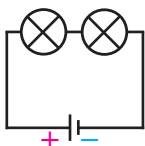


Рівень В (середній)

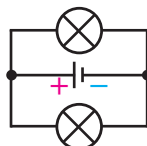
1. У яких випадках лампи з'єднано паралельно?



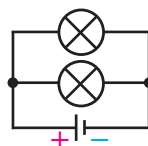
1



2



3



4

А 1

Б 2

В 3 і 4

Г 1 і 4

2. Які носії заряду утворюються під час йонізації газу?

- А електрони
 Б електрони та дірки
 В електрони та йони обох знаків
 Г позитивні й негативні йони

3. Сила струму в електролітичній ванні становить 0,5 А. Визначте масу срібла, яка виділиться під час електролізу за 10 хв. Електрохімічний еквівалент срібла — 1,12 мг/Кл.

А 0,056 г

В 560 мг

Б 0,336 г

Г 33,6 мг

Рівень С (достатній)

1. Поясніть фізичну природу виникнення електричного опору металевих провідників на підставі їх атомно-молекулярної будови.
2. Яку роботу виконує електродвигун пральної машини за 10 хв, якщо напруга в мережі — 380 В, а опір обмотки — 200 Ом? ККД електродвигуна — 70 %.
3. Амперметр опором 5 мОм, розрахований на силу струму 5 А, увімкнений у електричне коло. До нього приєднують шунт, який являє собою мідний дріт із площею поперечного перерізу 8 мм², намотаний на ізоляційний циліндр радіусом 1,9 см (кількість витків дорівнює 10). Яку максимальну силу струму після приєднання такого шунта зможе виміряти амперметр?

Рівень D (високий)

1. Скільки часу повинен працювати електричний чайник, щоб нагріти 0,5 л води від 20 °С до кипіння, якщо сила струму в мережі 1,2 А, а опір спіралі електрочайника — 260 Ом? Втратами енергії знехтувати.
2. В електролітичній ванні за 10 хв виділилося 0,33 г міді. Опір розчину мідного купоросу становить 3,6 Ом. Визначте потужність струму, який проходить через розчин. Електрохімічний еквівалент міді дорівнює 0,33 мг/Кл.



Підсумки до розділу «Електричні явища. Електричний струм»

Після вивчення розділу «Електричні явища. Електричний струм» вам стали більш зрозумілими ті природні й штучні явища та процеси, що пояснюються особливостями руху та взаємодії електрично заряджених частинок речовини. Ваші знання електричних явищ і процесів будуть більш цілісними й операційними, коли ви навчитесь їх систематизувати, застосовувати загальні принципи, теорії, ідеї до аналізу часткових питань, практичного втілення знань у конкретних життєвих ситуаціях. Особливо такі вміння стануть у пригоді в ситуації, де ви вимушені будете діяти не за інструкцією, у пошуку неординарних вирішень проблем.

1. Ви детальніше вивчили будову атома.

Електрони і протони мають унікальні природні властивості — *саме вони є носіями елементарного електричного заряду, тобто найменшої порції електричного заряду*.

2. Ви детальніше ознайомились із фундаментальною взаємодією, якою зумовлена найбільша кількість явищ і процесів у природі, — це *електромагнітна взаємодія*, що відбувається між електрично зарядженими тілами.

Електричний заряд — це фізична величина, що кількісно характеризує електромагнітну взаємодію.

3. Ви можете описати деякі фізичні характеристики речовини й поля, що пояснюються рухом і взаємодією електрично заряджених частинок.

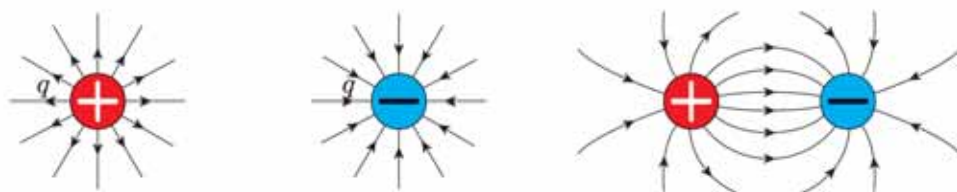
Електризація — процес утворення на тілах, що взаємодіють, однакових за величиною, але протилежних за знаком електричних зарядів.

Електризація **через дотик** — набуття тілами, що контактують, електричного заряду внаслідок обміну електронами.

Електризація **через вплив** — перерозподіл електричного заряду в незарядженому тілі, зумовлений дією на нього зарядженого тіла.

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

Лінії, за допомогою яких графічно зображають електричне поле, називають *силовими лініями*, або *лініями напруженості*.



Порівнювати електричні поля можна за їхніми *напруженостями*, тобто за відношенням сили, з якою поле діє на точковий заряд, розміщений у дану точку простору, до величини цього заряду $\vec{E} = \frac{\vec{F}_{\text{ел}}}{q}$.

Закон Кулона: сила взаємодії двох нерухомих точкових зарядів прямо пропорційна добутку модулів цих зарядів, обернено пропорційна квадрату відстані між ними та напрямлена вздовж прямої лінії, що з'єднує ці заряди:

$$F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{R^2},$$

де k — коефіцієнт пропорційності, $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$.

Однорідно заряджені тіла відштовхуються, різноіменно заряджені — притягуються.

Електричний струм — це процес напрямленого руху заряджених частинок.

Основними умовами існування електричного струму є:

1. Існування вільних носіїв заряду.
2. Наявність джерела струму (джерела зовнішнього електричного поля).
3. Замкненість провідників, по яких протікає струм.

Провідниками називають речовини, що мають заряджені частинки, які здатні рухатися впорядковано по всьому об'єму тіла внаслідок дії електричного поля.

Діелектриками, або ізоляторами, називають речовини, які за певних умов не мають вільних носіїв електричного заряду.

Розрізняють особливості проходження електричного струму в різних середовищах.

Назва середовища	Метали	Електроліти — речовини, водні розчини або розплави яких проводять електричний струм	Гази	Напівпровідники
Процес утворення носіїв струму	Мають вільні електрони	Електролітична дисоціація — розщеплення речовини на йони у водному розчині або в розплаві	Йонізація — утворення позитивних і негативних йонів і вільних електронів з молекул (атомів) газу	Власна і домішкова провідність. У разі підвищення температури, за яскравого освітлення або внесення домішок руйнуються ковалентні зв'язки й утворюються вільні електрони та дірки
Носії струму	Вільні електрони	Позитивні й негативні йони	Позитивні і негативні йони й електрони	Електрони й дірки
Закони	Закон Ома; Закон Джоуля—Ленца	Закон Фарадея		

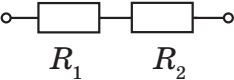
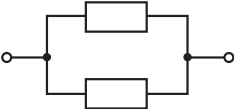
Джерела електричного струму — це пристрої, у яких відбувається перетворення різних видів енергії (механічної, хімічної, теплової, світлової) в електричну.

Джерело струму, споживачі, пристрої для замикання (розмикання), електровимірювальні прилади, з'єднані між собою провідниками, утворюють найпростіше **електричне коло**.

Проходження електричного струму в колі характеризується силою струму (I), напругою (U) та електричним опором (R).

Закон Ома для ділянки кола: сила струму в однорідній ділянці кола прямо пропорційна напрузі на кінцях цієї ділянки й обернено пропорційна її електричному опору:

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

Послідовне з'єднання	Паралельне з'єднання
 $R = R_1 = R_2$	 $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$ $\frac{1}{R} = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$
Сила струму в усіх частинах електричного кола однакова: $I = I_1 = I_2 = \dots = I_n.$	Сила струму в нерозгалуженій частині кола дорівнює сумі сил струму в окремих паралельно з'єднаних елементах електричного кола: $I = I_1 + I_2 + \dots + I_n.$
Повна напруга в електричному колі (або напруга на полюсах джерела струму) дорівнює сумі напруг на окремих ділянках кола: $U = U_1 + U_2 + \dots + U_n.$	Напруга на кожному паралельно приєднаному провідникові є однаковою й дорівнює напрузі на всій ділянці кола: $U = U_1 = U_2 = \dots = U_n.$

Електричний струм проявляється за такими діями: *тепловою, хімічною і магнітною*.

Теплова дія струму у випадку, коли на ділянці кола не здійснюється механічна робота і струм не здійснює хімічної дії, описується **законом Джоуля—Ленца**: кількість теплоти Q , що виділяється в провіднику, який має опір R , за час t під час проходження по ньому струму силою I , визначається добутком квадрата сили струму, опору провідника та часу проходження струму:

$$Q = I^2 R t.$$

Хімічна дія струму (електроліз) — процес виділення речовини на електродах під час проходження електричного струму крізь розчини або розплави електролітів, який описується **законом Фарадея**: маса речовини m , що виділилася на електроді в результаті електролізу, прямо пропорційна силі струму I й часу проходження струму через електроліт t :

$$m = k I t,$$

де k — коефіцієнт пропорційності (електрохімічний еквівалент).

4. Ви вмієте описувати електричні характеристики тіл й електричні процеси за допомогою відповідних фізичних величин:

Назва фізичної величини	Визначення	Символ для позначення	Прилад для вимірювання / одиниця	Формула для визначення
Електричний заряд	фізична величина, що кількісно характеризує електромагнітну взаємодію	q	електрометр / кулон (Кл)	$q = eN$
Сила взаємодії двох нерухомих точкових зарядів (електрична сила, сила Кулона)	прямо пропорційна добутку модулів цих зарядів, обернено пропорційна квадрату відстані між ними та напрямлена вздовж прямої лінії, що з'єднує ці заряди	F	ньютон (Н)	$F = k \frac{ q_1 \cdot q_2 }{R^2}$
Сила струму	фізична величина, що характеризує електричний струм у колі й дорівнює відношенню електричного заряду q , що пройшов через поперечний переріз провідника, до часу його проходження t	I	амперметр / ампер (А)	$I = \frac{q}{t}$
Напруга	фізична величина, що характеризує електричне поле й визначається відношенням роботи електричного поля на певній ділянці кола до електричного заряду, що пройшов по цій ділянці	U	вольтметр / вольт (В)	$U = \frac{A}{q}$
Електричний опір	фізична величина, що характеризує властивість провідника протидіяти проходженню електричного струму	R	омметр / ом (Ом)	$R = \rho \cdot \frac{l}{S}$
Питомий опір речовини провідника	фізична величина, що показує, який опір має виготовлений із цієї речовини провідник довжиною 1 м і площею поперечного перерізу 1 м ²	ρ	ом·м	табличне значення
Робота електричного струму	фізична величина, що характеризує електричну енергію струму й можливість її перетворення на інші види	A	джоуль (Дж)	$A = IUt$ $A = \frac{U^2}{R} t$ $A = I^2 R t$
Потужність електричного струму	фізична величина, що дорівнює роботі електричного поля за одиницю часу по напрямленому переміщенню електричних зарядів у провіднику	P	ват (Вт)	$P = \frac{A}{t}$ $P = IU$ $P = I^2 R$ $P = \frac{U^2}{R}$

5. Ви можете оцінити роль видатних учених у розвитку знань про електрику.

(бл. 624–547 р. до н. е.)	Учені Стародавньої Греції спостерігали притягання легких предметів до бурштину, натертого шерстю
1600 р.	Уперше термін «електрика» став вживати англійський лікар і природодослідник Вільям Гільберт, який систематизував відому на той час інформацію про електрику та магнетизм
1670 р.	Німецький дослідник Отто Геріке винайшов спосіб отримання електрики. (Пригадайте, які ще дослідники проводили цей винахідник. Ви їх вивчали в 7 класі в розділі «Тиск твердих тіл, рідин та газів».)
1729 р.	Англійський фізик Стефан Греї виявив, що всі речовини можна поділити на провідники та непровідники електрики
1745 р.	Пітер Ван Мушенбрек з м. Лейдена, Голландія, встановив, що електрику можна накопичувати та зберігати
1749 р.	Бенджамін Франклін, американський політичний діяч, дипломат, учений, письменник, журналіст, видавець. В історію фізики увійшов як учений, який довів, що блискавка являє собою електричний розряд в атмосфері
1748–1751 рр.	Російський фізик Георг-Вільгельм Ріхман відкрив явище електро-статичної індукції (електризації через вплив). Винайшов електро-метр
1789–1792 рр.	Італійські вчені Луїджі Гальвані та Алессандро Вольта відкрили контактні електричні явища й винайшли джерела постійного струму — гальванічні елементи, «вольтів стовп»
1801 р.	Англійські вчені Ентоні Карлейль і Вільям Нікольсон, використовуючи «вольтів стовп», виявили, що постійний струм, проходячи крізь воду, розкладає її на кисень і водень
1808 р.	Англійський учений Гемфрі Деві уперше здійснив електроліз солей. Установив залежність електропровідності провідників від їхньої довжини, площі поперечного перерізу, залежність електро-провідності від температури
1820 р.	Датський фізик Ганс-Християн Ерстед на дослідах встановив, що магнітна стрілка, розміщена поблизу провідника, відхиляється від свого попереднього положення, коли в провіднику проходить струм
1820 р.	Домінік-Франсуа Араго встановив, що дротяна спіраль, по якій проходить струм, діє на металеві ошурки так само, як і магніт
1820 р.	Французький учений Андре-Марі Ампер, досліджуючи силу взаємодії двох провідників зі струмом, відкрив закон, який названо його ім'ям
1826 р.	Німецький фізик Георг Симон Ом відкрив закон, який пов'язує опір кола, електрорушійну силу та силу струму
1834 р.	Англійський фізик Майк Фарадей сформулював закони електро-лізу
1842–1843 рр.	Емілій Ленц та Джеймс Джоуль незалежно один від одного відкрили закон, що встановлює зв'язок між тепловими та електричними явищами
1897 р.	Англійський фізик Джозеф-Джон Томсон експериментально відкрив електрон

ВИКОНЦЕМО НАВЧАЛЬНІ ПРОЄКТИ



Мабуть, основне, без чого не може прожити людина, — це електрика. Від електропостачання залежить геть усе: починаючи від води й закінчуючи теплом і світлом. Крім того, у наше життя стрімко вриваються планшети, електронні книжки й інші гаджети й комунікатори. Готівку поступово замінюють банківські картки. На зміну автомобілів з двигунами внутрішнього згорання приходять електромобілі.

Блага цивілізації, з одного боку, необхідні, а з іншого — можуть бути шкідливими.

Оцінити роль і значення електрики в житті людини ви зможете, виконуючи навчальні проєкти:

**«ЕЛЕКТРИКА В ЖИТТІ ЛЮДИНИ»,
«ВПЛИВ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМКУ
НА ЛЮДСЬКИЙ ОРГАНІЗМ»**

Учені вважають, що масштабне використання джерел поновлюваної енергії — сонячної, вітрової, океанічної — є виходом з енергетичної кризи, що насувається на нашу планету.

- ◆ А що ви знаєте про альтернативні джерела енергії?
- ◆ Чи доводилося вам обраховувати плату за спожиту електричну енергію?
- ◆ У скільки разів можна заощадити на використанні енергозберігаючих ламп?
- ◆ Чому економічно вигідно переходити на зимовий і літній час?

Спробуйте дати відповіді на ці запитання, виконуючи навчальні проєкти:

**«СУЧАСНІ ПОБУТОВІ ТА ПРОМИСЛОВІ ЕЛЕКТРИЧНІ ПРИЛАДИ»,
«СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ»**





ФІЗИЧНИЙ ПРАКТИКУМ

Що треба знати про похибки вимірювань. Недосконалість вимірювальних приладів і методів вимірювання, людських органів чуття, а також вплив середовища вносять певну неточність (похибку) у процес вимірювання.

Існують різні способи обчислення похибок вимірювань. Під час оцінювання результатів вимірювання ми будемо користуватися поняттями абсолютної і відносної похибки.

Пригадаємо: похибка, яка дорівнює модулю різниці між істинним X і вимірним x значеннями фізичної величини ($\Delta x = |X - x|$), називається **абсолютною похибкою результату вимірювань**.

Відносна похибка результатів вимірювань дорівнює відношенню абсолютної похибки до виміряного значення фізичної величини $\varepsilon = \frac{\Delta x}{X} \cdot 100\%$.

Щоб визначити абсолютну похибку результату вимірювань, необхідно враховувати особливості вимірювань: відоме чи не відоме істинне значення фізичної величини; як здійснювались вимірювання (одноразово чи багаторазово); які прилади використовувались і т. ін. Тому поки що домовимося, що *під час одного прямого вимірювання абсолютна похибка визначатиметься похибкою вимірювального приладу* — $\Delta x_{\text{пр}}$. У таблиці вказані похибки вимірювальних приладів, які найчастіше використовуються у шкільному фізичному експерименті.

Таблиця абсолютних похибок вимірювальних приладів

№ з/п	Засіб вимірювання	Межа вимірювань	Ціна поділки	Похибка приладу, $\Delta x_{\text{пр}}$
1	Лінійка учнівська	до 50 см	1 мм	± 1 мм
2	Вимірювальний циліндр	до 250 мл	1 мл	± 1 мл
3	Штангенциркуль	150 мм	0,1 мм	$\pm 0,05$ мм
4	Мікрометр	25 мм	0,01 мм	$\pm 0,005$ мм
5	Динамометр	4 Н	0,1 Н	$\pm 0,05$ Н
6	Терези	200 г	—	$\pm 0,01$ г
7	Секундомір	0–30 хв	0,2 с	± 1 с за 30 хв
8	Термометр лабораторний	0–100 °С	1 °С	± 1 °С
9	Барометр-анероїд	720–780 мм рт. ст.	1 мм рт. ст.	± 3 мм рт. ст.
10	Амперметр шкільний	2 А	0,1 А	$\pm 0,05$ А
11	Вольтметр шкільний	6 В	0,2 В	$\pm 0,015$ В

Якщо для даного приладу не вказано $\Delta x_{\text{пр}}$, то вважають, що абсолютна похибка вимірювання дорівнює:

а) половині ціни поділки вимірювального приладу, якщо значення фізичної величини збігається з позначкою шкали приладу;

б) ціні поділки шкали, якщо значення фізичної величини міститься між позначками шкали вимірювального приладу або стрілка приладу коливається.

Якщо в роботі використовуються цифрові прилади, то абсолютна похибка дорівнює одиниці найменшого розряду (наприклад, якщо покази цифрового амперметра 0,23 А, то $\Delta x = 0,01$ А).

Під час запису результатів вимірювання *абсолютна похибка завжди округлюється до однієї значущої цифри із завищенням, а результат вимірювання — до величини розряду, який залишився в абсолютній похибці після округлення.*

Остаточний результат для значення величини x записують у вигляді: $x = x_{\text{вим}} \pm \Delta x$, де $x_{\text{вим}}$ — виміряне значення (або середнє арифметичне); Δx — абсолютна похибка.

Абсолютна похибка не характеризує в повній мірі якість вимірювань. Так, похибка в 1 см, якщо ми вимірюємо рейку довжиною 12 м, є незначною, але така сама похибка вимірювання бруска довжиною 12 см уже буде грубою. Для оцінки точності вимірювання використовують *відносну похибку*, яку інколи називають *точністю* і найчастіше виражають у відсотках.

Найчастіше доводиться визначати величини, які неможливо виміряти безпосередньо (коефіцієнт тертя, питому теплоємність речовини, густину речовини тощо). Для таких фізичних величин потрібно відшукати функціональну залежність від величин, які можна виміряти безпосередньо. Такі вимірювання з наступним обрахунком шуканої величини називають *непрямими вимірюваннями*.

Похибки *непрямих вимірювань фізичних величин* визначають за похибками безпосередньо виміряних величин з використанням формул для обчислення похибок, які наведено в таблиці.

№	Формула для обчислення	Похибка	
		абсолютна	відносна
1	$X = a + b$	$\Delta x = \pm (\Delta a + \Delta b)$	$\varepsilon = \pm \frac{\Delta a + \Delta b}{a + b}$
2	$X = a - b$	$\Delta x = \pm (\Delta a + \Delta b)$	$\varepsilon = \pm \frac{\Delta a + \Delta b}{a - b}$
3	$X = a \cdot b$	$\Delta x = \pm (a\Delta b + b\Delta a)$	$\varepsilon = \pm \left(\frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} \right)$
4	$X = \frac{a}{b}$	$\Delta x = \pm \frac{b\Delta a + a\Delta b}{b^2}$	$\varepsilon = \pm \left(\frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} \right)$

В експериментальних роботах, де необхідно перевірити виконання рівності $A = B$, права і ліва частини якої вимірюються незалежно одна від одної, використовують метод порівняння з одиницею. Якщо $A = B$, то $\frac{A}{B} = 1$. Підставляючи у цей вираз експериментальні дані, можемо отримати

результат, відмінний від одиниці. Наприклад, $\frac{A}{B} = 0,9$, це означає, що відносна похибка дорівнює 0,1. Тобто відносна похибка експериментальної перевірки рівності $A = B$ обчислюється за формулою:

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

Іноколи в експериментальних роботах використовують графічний метод обробки результатів, так званий *метод інтерполяції*. У цьому випадку графік слід будувати так, щоб приблизно однакова кількість експериментально отриманих точок була по різні боки від нього. Обравши на побудованому графіку довільну точку, записують її значення і обчислюють шукану величину. Таким чином, побудова графіка дає змогу визначити середнє значення величини без складних обчислень.



ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ № 1

Калориметричний метод вимірювання

Мета роботи: ознайомитись із калориметричним методом вимірювання.

Прилади та матеріали: калориметр; мензурка; термометр; посудина з водою; електрочайник.

Вказівки щодо виконання роботи

1. Виміряйте початкову температуру калориметра — t_1 .
2. Налийте в калориметр 100 см³ підігрітої води. Виміряйте початкову температуру води t_2 °C.
3. Акуратно помішуючи термометром воду в калориметрі, виміряйте кінцеву температуру води і калориметра t_c °C.
4. Скориставшись рівнянням теплового балансу, визначте теплоємність калориметра: $C_k = \frac{cm(t_2 - t_c)}{t_c - t_1}$, де значення питомої теплоємності води (c) візьміть із таблиць.
5. Дослід повторіть тричі, результати вимірювань та обчислень запишіть у таблицю (с. 264).
6. Обчисліть середнє значення $C_{k \text{ сеп}}$ та відхилення кожного значення від середнього.
7. Обчисліть середню абсолютну похибку як середнє арифметичне відхилень.
8. Обчисліть відносну похибку вимірювань.
9. Результат запишіть у вигляді: $C_k = (C_{k \text{ сеп}} \pm \Delta C_k)$, Дж/°C за ε , %.

Номер досліду	m , кг	c , Дж/(кг·°C)	t_c , °C	t_1 , °C	t_2 , °C	c_k , Дж/°C	$c_{k\text{сер}}$, Дж/°C	$c_{k\text{сер}} - c_k$, Дж/°C



ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ № 2

Порівняння теплоємностей металів

Мета роботи: навчитися вимірювати та порівнювати теплоємності металів.

Обладнання: алюмінієве, мідне і залізне тіла масами 50–100 г; калориметр; мензурка; термометр; посудина з водою; електроплитка; терези з різноважками.

Вказівки щодо виконання роботи

- Визначте за допомогою терезів масу калориметра m_k і маси мідного, залізного й алюмінієвого тіл. Результати вимірювань запишіть у таблицю.
- Опустіть тіла в посудину з киплячою водою.
- Налийте в калориметр 100 см³ води за кімнатної температури. Виміряйте початкову температуру води й калориметра t_1 , °C, запишіть її в таблицю.
- Опустіть в калориметр мідне тіло, нагріте до температури 100 °C, і визначте температуру в калориметрі після встановлення теплової рівноваги t_k , °C, запишіть її в таблицю. Вийміть тіло та злийте воду з калориметра.
- Виконайте пункти 3 – 4 спочатку для алюмінієвого, а потім для залізного тіла.
- Скориставшись рівнянням теплового балансу, обчисліть кількість теплоти ΔQ , передану кожним із трьох тіл калориметру та воді:
 $\Delta Q = (c_k m_k + c_v m_v)(t_k - t_1)$, де c_k — питома теплоємність речовини калориметра; m_v — маса води в калориметрі; c_v — питома теплоємність води; t_1 — початкова температура калориметра та води, t_k — кінцева температура.
- Скориставшись виразом $C = c \cdot m = \frac{\Delta Q}{\Delta t}$, обчисліть теплоємності міді, заліза й алюмінію.
- Результати обчислень запишіть у таблицю.

Речовина	Залізо	Алюміній	Мідь
Маса тіла — m , кг			
Маса калориметра — m_k , кг			
Маса води в калориметрі — m_v , кг			

Продовження таблиці

Початкова температура калориметра й води $t_1, ^\circ\text{C}$			
Температура в разі встановлення теплової рівноваги $t_k, ^\circ\text{C}$			
Зміна температури тіла — $\Delta t, ^\circ\text{C}$			
Кількість теплоти, переданої тілом калориметру $\Delta Q, \text{Дж}$			
Теплоємність речовини $C, \text{Дж}/^\circ\text{C}$			

Додаткове завдання. 1. Визначте теплоємність внутрішньої посудини калориметра. *Обладнання:* калориметр, нагрівник, вода, мензурка, термометр.
2. Визначте питому теплоємність свинцю. *Обладнання:* свинцевий дріб масою 150–200 г, високий картонний циліндр, лінійка, термометр.



ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ № 3

Спостереження за ростом кристалів

Мета роботи: ознайомитися з одним із методів вирощування кристалів.

Обладнання: мікроскоп; предметне скло; скляна паличка; насичені розчини хлористого амонію, щавлевокислого амонію, кухонної солі.

Вказівки щодо виконання роботи

1. Помістіть на столик мікроскопа предметне скло, відрегулюйте освітлення і обертанням мікрометричного гвинта отримайте чітке зображення поверхні предметного скла. Отримання чіткого зображення можна полегшити нанесенням на поверхню скла мітки олівцем. Під час регулювання чіткості зображення гвинт обертайте обережно, щоб не допустити зіткнення об'єктива з предметним склом.
2. Витягніть предметне скло із затискачів і помістіть на нього за допомогою скляної палички краплю насиченого розчину хлористого амонію.
3. Помістіть скло з краплею під об'єктив мікроскопа так, щоб добре було видно межу краплі, оскільки перші кристали утворюються зазвичай саме там.
4. Спостерігайте за процесом зародження і росту кристалів. Результати спостережень відобразіть у звіті, який має містити опис процесу зростання кристалів і малюнок із схематичним зображенням явища, яке ви спостерігали.
5. Аналогічні спостереження, записи та малюнки виконайте з використанням розчинів кухонної солі, щавлевокислого амонію.



ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ № 4

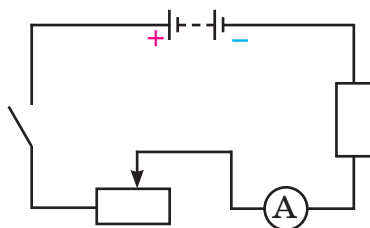
Регулювання сили струму та напруги в колах постійного струму

Мета роботи: навчитися регулювати силу струму та напругу в колах постійного струму.

Обладнання: батарея акумуляторів; реостат; амперметр; вольтметр; лампа розжарювання; вимикач; з'єднувальні проводи; лінійка.

Вказівки щодо виконання роботи

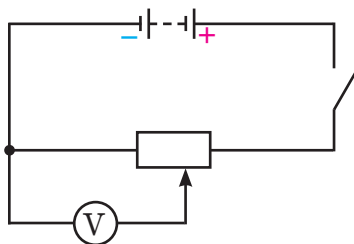
1. Поставте повзунок на середину реостата й визначте, у який бік його слід рухати, щоб збільшити чи зменшити опір реостата.
2. Зберіть електричне коло за схемою.



3. Поставте повзунок у положення, яке відповідає максимальному значенню опору реостата, і замкніть коло. Запишіть показання амперметра.
4. Змінюючи положення повзунка реостата стежте за показаннями амперметра.
5. Прикладіть збоку реостата масштабну лінійку. Повторіть дослід, відмітивши кілька положень повзунка і відповідні їм сили струму. На основі результатів вимірювань встановіть залежність між зміщенням повзунка реостата і силою струму в колі.

X , см							
I , А							

6. Для регулювання напруги реостатом зберіть електричне коло за схемою.



7. Поставте рухомий контакт на лівому кінці реостата й замкніть коло. У цьому випадку вольтметр покаже нуль.
8. Плавню переміщуйте повзунок реостата вправо і спостерігайте поступове збільшення показань вольтметра. Коли повзунок дійде до крайнього правого положення, вольтметр показуватиме найбільшу напругу.

9. Повторіть дослід кілька разів, переміщаючи повзунок в обох напрямках. Переконайтеся, що таким чином можна дістати напругу, яка змінюється від нуля до максимальної, що створюється джерелом струму на зовнішній ділянці кола.
10. Повторіть дослід, приклавши до реостата масштабну лінійку. Відмітьте кілька положень повзунка й відповідні їм напруги. На основі результатів вимірювання встановіть залежність між зміщенням повзунка та значенням регульованої напруги.

X, см							
U, В							

Додаткове завдання. 1. Перевірте на досліді, як залежить напруга на затискачах джерела струму від опору зовнішнього кола. Побудуйте графік цієї залежності. Обладнання доберіть самостійно. 2. Виміряйте напругу (до 25 В) в електричному колі, використовуючи для цього два вольтметри, кожен з яких розрахований на напругу до 15 В, і з'єднувальні проводи. 3. Маємо: електричну лампу, реостат, вимикач, вольтметр, джерело струму. Накресліть схему з'єднання елементів кола, в якому можна за допомогою реостата регулювати силу струму, що проходить через лампочку, а за допомогою вольтметра — вимірювати сумарну напругу на реостаті й лампі.



ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ № 5

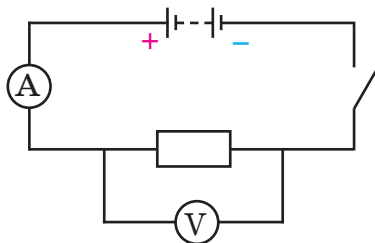
Визначення питомого опору провідника

Мета роботи: навчитися визначати питомий опір дроту.

Обладнання: дріт; лабораторний амперметр; лабораторний вольтметр; акумулятор; вимикач; реостат; штангенциркуль; лінійка; з'єднувальні провідники.

Вказівки щодо виконання роботи

1. Зберіть електричне коло за схемою.



2. Виміряйте силу струму й напругу на досліджуваному провіднику. Запишіть результати вимірювань у таблицю.
3. Вимкніть провідник з кола. Виміряйте його довжину l і діаметр d . Запишіть результати вимірювань у таблицю.

4. Обчисліть значення питомого опору провідника за формулою: $\rho = \frac{\pi U d^2}{4 I l}$.

Запишіть результати обчислень у таблицю.

U, В	I, А	l, м	d, м	ρ , Ом·м	$\Delta\rho$, Ом·м	ε , %

5. Обчисліть похибки:

- а) абсолютну інструментальну похибку для відповідних засобів вимірювання випишіть із таблиці;
 б) абсолютна похибка відліку дорівнює половині ціни поділки шкали приладу;
 в) максимальна абсолютна похибка дорівнює сумі абсолютної інструментальної і абсолютної похибки відліку відповідних засобів вимірювання;
 г) відносна похибка вимірювань: $\varepsilon_p = \frac{\Delta U}{U} + 2 \frac{\Delta d}{d} + \frac{\Delta I}{I} + \frac{\Delta \ell}{\ell}$;

д) абсолютна похибка вимірювань: $\Delta \rho = \rho \cdot \varepsilon_p$, де ε_p виражається десятковим дробом.

6. Результат вимірювання питомого опору запишіть з урахуванням похибок.

7. За довідником визначте матеріал, з якого виготовлено провідник, і порівняйте його питомий опір з отриманим значенням.

Додаткове завдання. 1. Визначте довжину мідного дроту, намотаного на катушку. *Обладнання:* катушка мідного дроту, джерело постійного струму, реостат, вольтметр, лінійка, таблиця питомих опорів, з'єднувальні провідники, вимикач. 2. Визначте питомий опір матеріалу дроту, з якого виготовлено реостат. (Опір реостата 2 Ом.) *Обладнання:* малоомний реостат, штангенциркуль.



ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ № 6

Визначення залежності опору від освітленості для напівпровідникового фоторезистора і фотодіода

Мета роботи: дослідити залежність опору напівпровідникового фоторезистора і фотодіода від освітленості.

Обладнання: фоторезистор; фотоелемент; амперметр; джерело струму; гальванометр; реостат; ліхтарик; з'єднувальні провідники.

Вказівки щодо виконання роботи

1. Складіть установку: фоторезистор увімкніть у коло джерела постійного струму напругою близько 4 В послідовно з амперметром.
2. Відмітьте початкову силу струму. Цей струм називають темновим; сила цього струму залежить від електричного опору фоторезистора і від прикладеної до нього напруги.
3. Увімкніть ліхтарик і, повільно наближаючи й віддаляючи його від фоторезистора, спостерігайте за змінами сили струму в колі. Зробіть висновок.
4. Не змінюючи освітлення, змініть полярність вмикання фоторезистора в коло. Зробіть висновок.
5. Під'єднайте до гальванометра затемнений (закритий від світла) фотоелемент. Змініть полярність підключення фотоелемента. За добре помітної зміною сили струму в колі зробіть висновок.
6. Змініть затемнення з фотоелемента. За денного освітлення гальванометр буде показувати певну силу струму.
7. Розташуйте ліхтарик на відстані 1 м від фотоелемента. Увімкніть ліхтарик (спостерігається різке збільшення сили струму). Наближаючи та віддаля-

ючи ліхтарик, переконайтеся, що сила струму залежить від інтенсивності освітлення (фотоелемент, що працює в такому режимі, називають фотодіодом).

- Порівняйте залежності сили струму від інтенсивності освітлення для фоторезистора та фотодіода, зробіть висновок.



ЛАБОРАТОРНИЙ ПРАКТИКУМ № 7

Визначення заряду електрона

Мета роботи: навчитися застосовувати закон Фарадея для електролізу з метою визначення елементарного електричного заряду.

Обладнання: електролітична ванна з водним розчином сульфату міді й мідними електродами; джерело постійного струму; секундомір або годинник із секундною стрілкою; амперметр постійного струму; терези з важками; реостат; наждачний і фільтрувальний папір; вимикач; сушильна камера; з'єднувальні провідники.

Вказівки щодо виконання роботи

- Зважте катод, заздалегідь зробивши на його верхній частині позначку, щоб надалі не переплутати його з анодом, m_1 .
- Закріпивши електроди в тримачі й, не вставляючи їх у ванну з розчином, складіть електричне коло.
- Опустіть електроди у ванну з розчином. Замкніть коло. Встановіть за допомогою реостата силу струму в колі не більше 1 А. Процес електролізу має тривати 15–20 хв, до того ж силу струму в колі потрібно підтримувати постійною.
- Після завершення досліду розімкніть коло. Від'єднайте мідний катод, обережно промийте його проточною водою, висушіть (за допомогою фільтрувального паперу) і визначте його масу, m_2 .
- Обчисліть наближене значення заряду електрона за формулою:

$$e = \frac{M}{(m_2 - m_1)nN_A} \cdot I \Delta t,$$

де M — молярна маса міді, n — валентність міді, N_A — стала Авогадро.

- Обчисліть похибки:
 - абсолютну інструментальну похибку для відповідних засобів вимірювання випишіть із таблиці;
 - абсолютна похибка відліку дорівнює половині ціни поділки шкали приладу;
 - максимальна абсолютна похибка дорівнює сумі абсолютної інструментальної і абсолютної похибки відліку відповідних засобів вимірювання;
 - відносна похибка вимірювань: $\varepsilon_e = \frac{2\Delta m}{m_2 - m_1} + \frac{\Delta I}{I} + \frac{\Delta t}{t}$;
 - абсолютна похибка вимірювань: $\Delta e = e_{\text{наб}} \cdot \varepsilon_e$, де ε_e виражається десятковим дробом.
- Запишіть результат визначення заряду електрона з урахуванням похибок.
- Порівняйте дослідне значення заряду електрона з табличним.

Відповіді до вправ

Вправа 1. 1) $1,1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^{-3}$, $1,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}^{-3}$; 2) 10^{-7} м ; 3) 1 250 000; 4) $2 \cdot 10^{24}$.

Вправа 2. 2) 30 мм; 3) збільшиться в 9 разів; 4) У 1,4 раза; 5) У 1,2 раза.

Вправа 3. 2) Рідкий; 3) а) 210 грн; б) 840 грн; в) 2100 грн; а) 2555 грн; б) 10 220 грн; в) 25 550 грн; 4) Ні; 5) $4 \cdot 10^7 \text{ с}$; 5 м^3 .

Вправа 4. 1) а) 200,19 м; б) 199,86 м; 2) $2009,6 \text{ см}^2$; 3) 108 м; 4) 09 м^3 ; 5) $95,2 \text{ }^\circ\text{C}$.

Вправа 5. 1) а) 3220 Дж; б) 559 200 Дж; 2) збільшиться в 2 рази; 3) 9200 Дж; 4) $378 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$; 5) Нагрівання; вода; 6) $c_{\text{III}} > c_{\text{II}} > c_{\text{I}}$; 7) На $10 \text{ }^\circ\text{C}$; 8) $20 \text{ }^\circ\text{C}$; 9) На нагрівання води у 25 разів більше.

Вправа 6. 1) $40 \text{ }^\circ\text{C}$; 2) $6,4 \text{ }^\circ\text{C}$; 3) 120 л гарячої, 80 л холодної; 4) $40 \text{ }^\circ\text{C}$; 5) $12 \text{ }^\circ\text{C}$; 6) $2172 \text{ Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$; 7) 10 550 Дж; 8) $19,5 \text{ }^\circ\text{C}$; 9) $0,1 \text{ }^\circ\text{C}/\text{хв}$.

Перевірте себе (§ 1–12)

Рівень А (початковий): 1) Б; 2) А; 3) А; 4) Б; 5) Г; 6) В.

Рівень В (середній): 1) В; 2) А; 3) Г.

Рівень С (достатній): 1) Г; 2) $30 \text{ }^\circ\text{C}$; 3) 117,2 кДж.

Рівень D (високий): 1) Сталь; 2) 10 м.

Вправа 7. 1) Для льоду. У 13,8 раза; 2) У 158 разів; 3) Ні. Лід спочатку нагрівається до температури плавлення, а вже потім тане, і процес плавлення потребує надходження теплоти; 4) Правильно на мал. б. На мал. а помилка у швидкості нагрівання; на мал. в — помилка в температурі плавлення; 6) 3125 Дж; 7) I — лід, II — сталь; 8) $83,3 \text{ }^\circ\text{C}$.

Вправа 8. 1) Водяна пара; 2) $57,5 \cdot 10^5 \text{ Дж}$; 3) 2,72 МДж; 4) 12,3 МДж; 5) $89,4 \text{ }^\circ\text{C}$.

Перевірте себе (§ 13–17)

Рівень А (початковий): 1) Г; 2) В; 3) В; 4) А; 5) 1 — В; 2 — Б; 3 — Г; 4 — Д; 5 — А.

Рівень В (середній): 1) Б; 2) Г; 3) А.

Рівень С (достатній): 1) Б; 2) Б; 3) 2.

Рівень D (високий): 1) $5,3 \cdot 10^5 \text{ Дж}$; 2) 1 МН.

Вправа 9. 1) 4,82 кг; 2) 133 МДж; 3) Ні, під час спалювання кам'яного вугілля піч прогріється більше; 4) 105 МДж; 15 частин бензину на 4 частини спирту; 5) Дизельне паливо; 6) $15 \text{ МДж}/\text{кг}$; $30 \text{ МДж}/\text{кг}$; 2 рази; 7) 216 МДж; дизельне паливо та природний газ; 8) $55 \text{ }^\circ\text{C}$; 9) 105 кДж; 10) 100 кДж; 333 Вт.

Вправа 10. 1) 29,4 %; 2) 0,96 ГДж; 3) 33,3 %; 4) 20 %; 5) 9,9 %; 6) 33,3 %; 8) 140 кВт.

Перевірте себе (§ 18–26)

Рівень А (початковий): 1) Г; 2) В; 3) В; 4) В; 5) Б; 6) Г.

Рівень В (середній): 1) Б; 2) Б; 3) А.

Рівень С (достатній): 1) В; 2) 0,38 кг; 3) 1048 кДж.

Рівень D (високий): 1) 3,87 МДж; 2) 545 Н.

Вправа 11. 1) (1; 1), (3; 3), (11; 11), (13; 13); 3) а — позитивний; б — негативний; 4) один.

Вправа 12. 1) 10 мН; 2) 5 мН/Кл; 3) 4 мкН; 4) 1 нКл.

Вправа 13. 1) $6,4 \cdot 10^{-7} \text{ Кл}$; $3,64 \cdot 10^{-18} \text{ кг}$; 2) —; 3) Зменшиться; 4) Діелектрики можуть «утримувати» електричний заряд, на відміну від провідників; 5) Обидві кульки мають позитивний заряд. Заряд кульки б більший; 6) Змінився на позитивний.

Вправа 14. 1) Модуль сили взаємодії не зміниться, а напрямок — зміниться на протилежний; 2) 1–2 притягання; 2–3 відштовхування; 1–3 притягання; 3) Збільшиться в 3 рази; 4) 45 мН; 5) 3,35 см; 6) 10 нКл; 7) $9 \cdot 10^{-5}$ Н; $5 \cdot 10^{-5}$ Н; 8) $36 \cdot 10^{-5}$ Н, у напрямку заряду 40 нКл.

Перевірте себе (§ 27–33)

Рівень А (початковий): 1) Б; 2) Г; 3) В; 4) В; 5) В; 6) Г.

Рівень В (середній): 1) Б; 2) Б; 3) Г.

Рівень С (достатній): 1) Б; 2) 1 — Д; 2 — Г; 3 — А.

Рівень D (високий): 1) збільшилася в 1,8 рази; зменшилася в 0,5 рази.

Вправа 15. 1) 3,4 А; 2) 15,4 с; 3) 0,6 А; 4) $5 \cdot 10^{12}$; 5) $1,6 \cdot 10^{-6}$ А; 6) 1,5 Кл; заряд, що проходить через поперечний переріз провідника за 4 с.

Вправа 16. 1) 24 В; 2) —; 3) —; 4) 18 Кл; 5) а) 0–2 А; 0,1 А/под; 1,3 А; б) від –5 мА до 5 мА; 1 мА/под; 3 мА; в) 0–160 В; 1 В/под; 103 В; г) 0–10 В; 0,5 В/под; 4 В; д) 0–2 А; 0,1 А/под; 1,8 А.

Вправа 17. 1) 3 А; 2) 0,3 А; 3) $R_1 = 2$ Ом; $R_{II} = 4$ Ом; $R_{III} = 1$ Ом; 4) 12 Ом; 5) 440 Ом.

Вправа 18. 1) 0,01 Ом; 2) 0,765 мм²; 3) $R_2 > R_1$ в 2 рази; 4) 45 м; 5) 6,8 кг; 6) ≈ 14 мОм; 7) 0,33 Ом; 8) 0,384 Ом · мм²/м; 9) 18,5 м.

Вправа 19. 1) 3,2 В; 2 В; 1,2 В; 2) 110 В; 3) 440 Ом; 4) 3 В; 9 В; 5) 2 А; 46 В; 6) Униз: покази амперметра і вольтметра зменшаться; 7) 3 А; 30 В; 8) На алюмінієвому в 1,65 рази більша.

Вправа 20. 1) 0,25 Ом; 2) 0,25 Ом; 3) У 9 разів; 4) У другому в 5 разів; 5) 300 Ом; 1,2 А; 0,4 А; 6) —; 7) 1,12 А.

Вправа 21. 1) Три опори з'єднати паралельно й послідовно до них приєднати четвертий; 2) 2/3 Ом; 1,33 Ом; 6 Ом; 3 Ом; 3) 6 А; 4) У першого і третього амперметра збільшаться, у другого — зменшаться; 5) 10 Ом; 7,5 Ом; 6) 3,6 Ом; 5 А; 2,5 А; 1,67 А; 0,83 А; 7) 4 Ом; 1 Ом.

Перевірте себе (§ 34–43)

Рівень А (початковий): 1) Б; 2) В; 3) Б; 4) Б; 5) Г; 6) Б.

Рівень В (середній): 1) Г; 2) Г; 3) 13,75 м.

Рівень С (достатній): 1) —; 2) Г; 3) Г.

Рівень D (високий): 1) 55,2 В; 0,24 А; 14,4 В; 2) 0,5 В.

Вправа 22. 1) 27 Вт; 121,5 Вт; 54 Вт; 2) Зростає потужність; 3) 880 Дж; 4) Потужність другого від потужності першого; 5) 0,42 Ом · мм²/м; 6) 7425 Дж.

Вправа 23. 1) 36 кДж; 2) 0,33 Дж; 3) Донизу: зменшується опір кола, зростає сила струму й відповідно зростає кількість теплоти, що виділяється; 4) а) 303 Дж; б) 1435 Дж; 5) 237,6 кДж; 6) 20 хв 25 с; 7) 91 %.

Вправа 24. 1) 559 мг; 2) 0,34 г/Кл; 3) 2 А; 4) 2,26 А; 5) 612 г; 6) 3000 с; 7) $0,3 \cdot 10^{-6}$ кг/Кл; нікель; 8) 2000 с.

Перевірте себе (§ 44–52)

Рівень А (початковий): 1) Г; 2) Б; 3) Б; 4) В; 5) В; 6) Г.

Рівень В (середній): 1) В; 2) В; 3) Б.

Рівень С (достатній): 1) —; 2) 303 кДж; 3) 5,96 А.

Рівень D (високий): 1) 7 хв 28 с; 2) 10 Вт.

Предметний покажчик

А

Акумулятор 166
Аморфне тіло 26, 60
Ампер 176
Амперметр 176
Анод 165
Атом 7

Б

Ближній порядок 60
Броунівський рух 9

В

Ват 217
Ватметр 217
Випаровування 69
Внутрішня енергія 34
Вологість повітря 71
Вольт 179
Вольтметр 180

Г

Газова турбіна 99
Газовий розряд 240
Газоподібний стан 23
Гальванічний елемент 165
Гальванометр 162
Гальванопластика 237
Гальваностегія 237
Горіння 83

Д

Дальній порядок 59
Двигун внутрішнього згорання 97
Джерело електричного струму 164
Дифузія 8
Діелектрики 135
Дуговий розряд 244

Е

Електризація 129
Електризація дотиком 147
Електризація через вплив 147
Електрична схема 173
Електричне коло 172
Електричне поле 137
Електричний заряд 130
Електричний лічильник 217
Електричний опір 184
Електричний струм 162
Електроліз 236

Електроліт 234
Електрометр 152
Електрон 133
Електронагрівальний прилад 221
Електроскоп 152
Електрофорна машина 166

З

Заземлення 153
Закон Джоуля—Ленца 221
Закон збереження електричного заряду 149
Закон Кулона 157
Закон Ома 185
Закон Фарадея 236
Запобіжники 224

І

Іскровий розряд 244

Й

Йонізація 241

К

Калориметр 52
Катод 165
Кипіння 73
Кількість теплоти 46
Коефіцієнт корисної дії нагрівника 84
Коефіцієнт корисної дії теплової машини 93
Конвекція 40
Конденсація 69
Коронний розряд 243
Коротке замикання 186
Кристал 59
Кристалічна ґратка 60

Н

Напівпровідники 245
Напруга 178
Нейтрон 134
Несамостійний газовий розряд 242
Номінальна потужність 218
Нормальні умови 14
Носії струму 162

П

Парова турбіна 99
Питома теплоємність речовини 47
Питома теплота згорання 84

Питома теплота пароутворення 74
Питома теплота плавлення 64
Питомий опір 190
Плазма 24
Потужність електричного струму 217
Провідники 142
Протон 134

Р

Резистор 193
Реостат 187
Рідина 24
Рідкі кристали 112
Робота електричного струму 215

С

Самостійний газовий розряд 242
Світлодіод 223
Сила струму 175
Силова лінія 140

Т

Тверде тіло 26
Температура 16
Температура плавлення речовини 64
Температурна шкала 19
Теплова машина 93
Теплова рівновага 16
Теплове випромінювання 43
Тепловий баланс 50
Тепловий рух 14
Тепловий стан 15
Тепловізор 43
Теплоізолятори 115
Теплообмін 35
Теплопровідність 38
Термоелемент 166
Термометр 18
Тліючий розряд 243

Ф

Фактична потужність 218
Фотоелемент 166

Х

Хаотично 9
Холодильна машина 101