

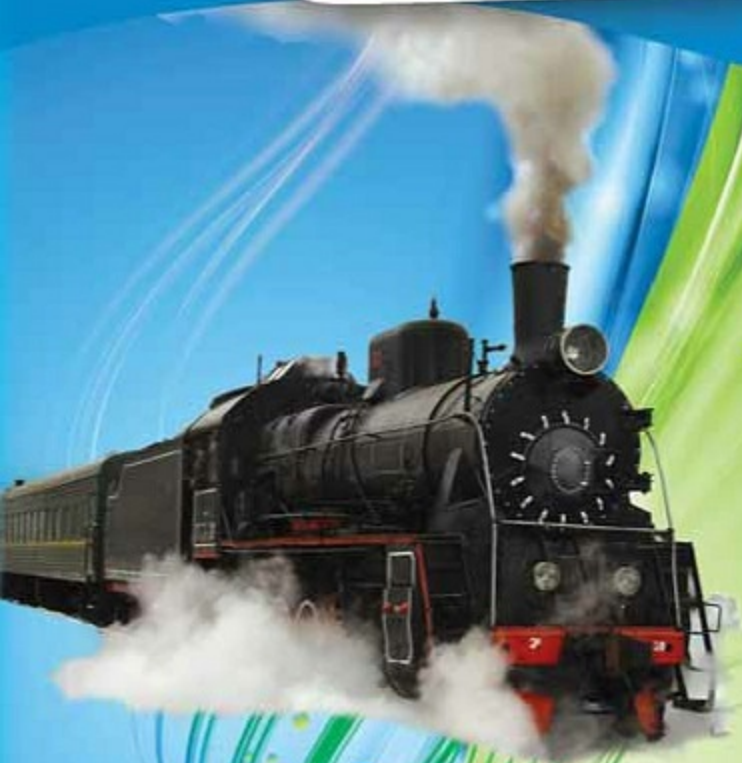
Оріон

Т. М. Засєкіна  
Д. О. Засєкін



# Фізика

8



УДК 53(075.3)  
ББК 22.3я721  
З-36

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України  
(наказ МОН України від 10.05.2016 р. № 491)*

**ВИДАНО ЗА РАХУНОК ДЕРЖАВНИХ КОШТІВ. ПРОДАЖ ЗАБОРОНЕНО**

Експерти, які здійснювали експертизу даного підручника під час проведення конкурсного відбору проектів підручників для учнів 8 класу загальноосвітніх навчальних закладів і зробили висновок про доцільність надання підручнику грифа «Рекомендовано Міністерством освіти і науки України»:

*Зиков С. М.*, учитель Запорізького ліцею «Логос» Запорізької міської ради, учитель-методист;

*Левицька Т. М.*, завідувач міським методичним кабінетом управління освіти Ніжинської міської ради;

*Чінчой О. О.*, кандидат педагогічних наук, доцент кафедри фізики та методики її викладання Кіровоградського державного педагогічного університету імені Володимира Винниченка

**Засєкіна Т. М.**

З-36 Фізика : підруч. для 8 кл. загальноосвіт. навч. закладів / Т. М. Засєкіна, Д. О. Засєкін. — К. : УОВЦ «Оріон», 2016. — 256 с. : іл.

ISBN 978-617-7355-36-5.

**УДК 53(075.3)  
ББК 22.3я721**


# 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 із раніше вивченого. В основному тексті параграфа формули, визначення і поняття для зручності виділено 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. З цією метою в підручнику після кожного параграфа є рубрика «Я знаю, вмію й розумію». В рубриці «Домашні досліди та спостереження» пропонуються завдання, які ви зможете виконати самостійно.

Оскільки розв'язування фізичних задач є одним із найважливіших умінь, що формуються у процесі опанування фізики, то в підручнику запропоновано рубрику «Вчимося розв'язувати задачі», а також «Вправи» із задачами різної складності. Задачі підвищеного рівня складності позначені зірочкою (\*). Виконуючи завдання з рубрики «Перевірте себе», ви зможете оцінити свої знання й уміння застосувати їх.

У рубриці «Фізика навколо нас» міститься додатковий матеріал, що ілюструє текст параграфа прикладами з історії фізики, техніки та повсякденного життя. У деяких параграфах є рубрика з додатковим матеріалом, яка позначена відповідною піктограмою .

У кінці підручника вміщено відповіді до вправ і предметний покажчик.

**Бажаємо успіхів у навчанні, нехай ця книжка стане вашим добрим помічником!**

Автори



# ЗМІСТ

<b>Як користуватися підручником</b> . . . . .	3
<b>Розділ 1. Теплові явища</b> . . . . .	6
§ 1. Тепловий рух . . . . .	8
§ 2. Агрегатні стани речовини . . . . .	13
§ 3. Температура . . . . .	20
§ 4. Залежність розмірів тіл від температури. . . . .	30
§ 5. Внутрішня енергія . . . . .	36
§ 6. Теплопровідність . . . . .	39
§ 7. Конвекція . . . . .	42
§ 8. Теплове випромінювання. . . . .	45
§ 9. Кількість теплоти. Розрахунок кількості теплоти під час нагрівання тіла . . . . .	48
§ 10. Тепловий баланс . . . . .	53
<b>Лабораторна робота № 1.</b> <b>Вивчення теплового балансу за умов змішування води різної температури</b> . . . . .	59
<b>Лабораторна робота № 2.</b> <b>Визначення питомої теплоємності речовини</b> . . . . .	60
<b>Перевірте себе (§1–10)</b> . . . . .	61
§ 11. Кристалічні та аморфні тіла . . . . .	63
§ 12. Розрахунок кількості теплоти під час плавлення/тверднення тіл . . . . .	68
§ 13. Випаровування і конденсація . . . . .	73
§ 14. Кипіння. Розрахунок кількості теплоти під час пароутворення / конденсації . . . . .	77
§ 15. Згорання палива. Розрахунок кількості теплоти внаслідок згорання палива . . . . .	82
§ 16. Перетворення енергії в теплових процесах . . . . .	90
§ 17. Теплові двигуни . . . . .	98
<b>Перевірте себе (§11–17)</b> . . . . .	104
<b>Підсумки до розділу «Теплові явища»</b> . . . . .	106
<b>Виконуємо навчальні проекти</b> . . . . .	112
<b>Проявляємо компетентність</b> . . . . .	115
<b>Розділ 2. Електричні явища. Електричний струм</b> . . . . .	118
§ 18. Взаємодія заряджених тіл . . . . .	120
§ 19. Електрон. Електричні властивості речовини . . . . .	125



§ 20. Електричне поле . . . . .	130
§ 21. Механізми електризації тіл. Закон збереження електричного заряду . . . . .	134
§ 22. Подільність електричного заряду . . . . .	140
§ 23. Закон Кулона . . . . .	144
§ 24. Електричний струм. Джерела електричного струму . . . . .	150
§ 25. Дії електричного струму. . . . .	157
§ 26. Електричне коло . . . . .	161
§ 27. Сила струму . . . . .	165
§ 28. Електрична напруга . . . . .	169
§ 29. Електричний опір. Закон Ома для ділянки кола . . . . .	176

### **Лабораторна робота № 3.**

<b>Вимірювання опору провідника за допомогою амперметра й вольтметра . . . . .</b>	<b>181</b>
--	------------

§ 30. Електричний опір металевих провідників. Питомий опір . . . . .	183
<b>Перевірте себе (§18–30) . . . . .</b>	<b>188</b>
§ 31. Послідовне з'єднання провідників . . . . .	190

### **Лабораторна робота № 4.**

<b>Дослідження електричного кола з послідовним з'єднанням провідників. . . . .</b>	<b>197</b>
--	------------

§ 32. Паралельне з'єднання провідників . . . . .	198
--	-----

### **Лабораторна робота № 5.**

<b>Дослідження електричного кола з паралельним з'єднанням провідників . . . . .</b>	<b>204</b>
---	------------

§ 33. Робота і потужність електричного струму . . . . .	210
§ 34. Закон Джоуля — Ленца. Електронагрівальні прилади . . . . .	217
§ 35. Електричний струм в металах . . . . .	224
§ 36. Електричний струм у розчинах і розплавах електrolітів. Закон Фарадея . . . . .	227
§ 37. Електричний струм у газах . . . . .	234
<b>Перевірте себе (§31–37) . . . . .</b>	<b>242</b>
<b>Підсумки до розділу «Електричні явища. Електричний струм» . . . . .</b>	<b>244</b>

<b>Виконуємо навчальні проекти . . . . .</b>	<b>250</b>
<b>Відповіді до вправ . . . . .</b>	<b>252</b>
<b>Предметний покажчик . . . . .</b>	<b>254</b>

Розділ 1

# Теплові явища



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 в житті людини, тварин та 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». З часом парові машини удосконалювались, 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», 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 досліди і 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» ви здобудете знання, які дозволять вам не тільки пояснювати теплові явища, а й застосовувати їх у своїй практичній і майбутній професійній діяльності.





# Тепловий рух

## Ви дізнаєтесь

- Як рухаються і взаємодіють між собою молекули
- Чому рух молекул називають тепловим

## Пригадайте

- Положення молекулярно-кінетичного вчення про будову речовини

**Теплові явища.** У природі відбуваються явища, які ми пов'язуємо з теплом і холодом: нагрівання й охолодження, плавлення й тверднення, випаровування й конденсація. Такі явища називають *теповими*. Теплові явища можуть супроводжуватися зміною агрегатного стану речовини.

Питання: що таке теплота, як її можна виміряти, як вона передається від одного тіла до іншого — цікавили багатьох дослідників ще з давніх часів. Те, що теплові явища пов'язані із внутрішнім рухом і взаємодією частинок тіла, учені довели завдяки тривалим спостереженням, 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 й 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 внаслідок удару або тертя тіла нагріваються. Проте процес узгодження наукових пояснень теплових явищ на основі внутрішнього руху та взаємодії частинок речовини був складним і тривалим. Адже людина неспроможна безпосередньо бачити частинки речовини й спостерігати особливості їхнього руху.

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

Почнемо з дослідів, що переконливо доводять: речовина складається із мікрочастинок (молекул, атомів), які постійно й хаотично<sup>1</sup> рухаються та взаємодіють між собою.

Наші дослідження будуть пов'язані з мікрочастинками, яких ми не можемо побачити неозброєним оком. Тому для опису цих частинок, зображення їх на малюнках ми будемо користуватися фізичним моделюванням. Пригадуєте, досліджуючи механічний рух, ми використовували фізичну модель — *матеріальну точку*, тобто в певних умовах нехтували розмірами тіла.

<sup>1</sup> **Хаотично** (від старогрец. *χάος*) — безладно, неорганізовано, неконтрольовано.

Досліджуючи теплові явища, також будемо вдаватися до моделювання, зокрема, до схематичного та графічного зображення *структурних часток речовини у вигляді кульок*. Хоча насправді внутрішня будова речовини є іншою. Як відомо, структурними частками різних речовин можуть бути атоми, йони, молекули та інші частинки. Для пояснення деяких процесів, коли не важливо, яка саме частинка є структурною, вживається узагальнений термін «молекула».

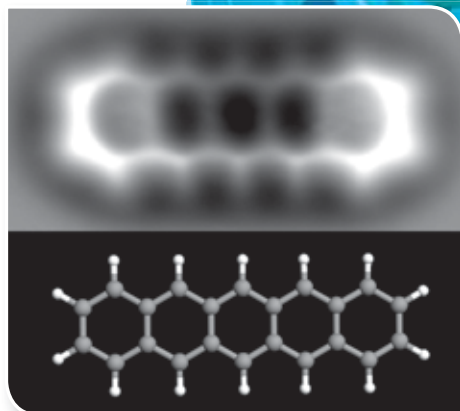
Одним із найсучасніших досягнень людства є нанотехнології, які дозволили вченим «зазирнути» в таємниці мікросвіту. Сучасні нанотехнології дають змогу не лише отримати зображення молекул й атомів (мал. 1), а й створити нові їхні комбінації для отримання матеріалів із наперед заданими властивостями.

#### **Явища, що підтверджують рух молекул.**

Поспостерігайте, що відбуватиметься, якщо налити в посудину томатного соку, а потім акуратно, щоб не відбувалося змішування, долити води й залишити розчин на 2–3 дні. Ви помітите, що з часом почне змінюватися колір рідини: спершу на межі двох рідин, а згодом — і в усьому об'ємі (мал. 2).

Як це можна пояснити? Очевидно, що молекули однієї речовини (наприклад, томатного соку) внаслідок руху можуть проникати між молекули іншої (наприклад, води) без жодного зовнішнього втручання. У цей же час молекули води також проникають між молекули томатного соку.

Це явище має назву *дифузія*.



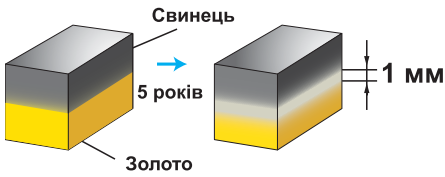
Мал. 1. Фотографія органічної молекули пентацена ( $C_{22}H_{14}$ ), що складається із 22 атомів Карбону й 14 атомів Гідрогену. Розмір молекули 1,4 нм. Знизу — модель цієї молекули: сірі кульки — атоми Карбону, білі — Гідрогену



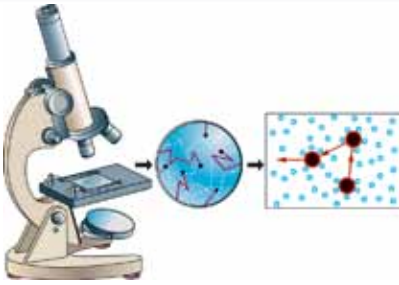
Мал. 2. Дослід зі спостереження дифузії в рідинах

**Дифузія** — явище взаємного проникнення частинок однієї речовини у проміжки між частинками іншої при їх безпосередньому контакті. 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. Наприклад, щоб аромат парфумів поширився кімнатою, потрібно декілька секунд, а щоб цукор повністю розчинився у воді — кілька хвилин.



Мал. 3. Дослід зі спостереження дифузії у твердих тілах



Мал. 4. Спостереження й моделювання броунівського руху



**Роберт Броун**  
(1773–1858)

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

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 впродовж 5 років золото і свинець взаємно проникли одне в одне на відстань близько 1 мм (мал. 3).

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

Переконатись у тому, що молекули речовини постійно й хаотично рухаються, можна й за допомогою такого дослідів. Розчинимо у воді невелику кількість фарби (сажі або молока). Візьмемо краплину цього слабкого розчину, нанесемо її на скельце та помістимо на предметний столик мікроскопа. Спостерігаємо дивну картину: часточка фарби ніби оживає, вона рухається безладно в різних напрямках. Що змушує її рухатись?

Причина руху полягає в тому, що молекули води зіштовхуються з мікрочастиною фарби (або жиру молока чи крупинкою сажі), штовхають її з різних боків, і ці удари не компенсуються, оскільки кількість ударів-зіткнень у кожний момент часу з кожного боку різні. У результаті мікрочастинка рухається. Траєкторія її руху — ламана лінія (мал. 4).

Причина руху полягає в тому, що молекули води зіштовхуються з мікрочастиною фарби (або жиру молока чи крупинкою сажі), штовхають її з різних боків, і ці удари не компенсуються, оскільки кількість ударів-зіткнень у кожний момент часу з кожного боку різні. У результаті мікрочастинка рухається. Траєкторія її руху — ламана лінія (мал. 4).

Першим таке явище в 1827 р. спостерігав англійський ботанік Роберт Броун. За допомогою мікроскопа він розглядав спори плауна<sup>1</sup> у воді. Учений помітив, що спори рухаються. Сам Броун спочатку вважав, що це відбувається тому, що спори живі. Однак частинки продовжували хаотично рухатися навіть після кип'ятіння суміші. Причому при збільшенні температури суміші

<sup>1</sup> **Плаун**, або **п'ядич**, **зелениця**, — рід багаторічних, трав'янистих, вічнозелених спорових рослин. **Спори** (від грец. «сім'я, сіяння») — мікроскопічні одноклітинні, рідше багатоклітинні зачатки рослин, що служать для розмноження й поширення, а також збереження виду в несприятливих умовах.



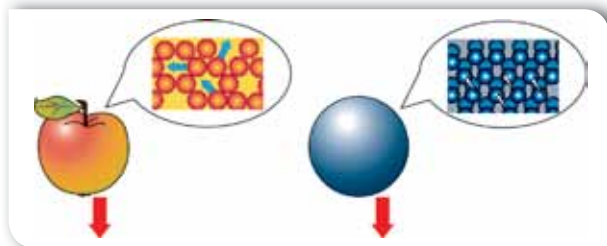
рух спор ставав інтенсивнішим. Згодом Броун спостерігав такий самий хаотичний рух дрібних частинок інших речовин (органічних і неорганічних). Однак він не зміг пояснити цього явища. Проте ім'я дослідника увійшло в історію фізики: рух завислих у рідині мікрочастинок названо на його честь — броунівським рухом.

Броунівський рух вивчали багато вчених. Пояснення цьому явищу дали в 1905–1906 рр. видатний німецький фізик А. Ейнштейн та польський учений М. Смолюховський.

**Особливості теплового руху.** Усі теплові явища зумовлені рухом і взаємодією частинок речовини (молекул). Таким чином, явище дифузії та броунівський рух є наочним підтвердженням хаотичного й безперервного руху мікрочастинок речовини. Причому швидкість руху молекул збільшується зі збільшенням температури речовини. Тому хаотичний рух молекул і називають тепловим.

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

Рух яблука або залізної кульки — це приклад механічного руху, а рух молекул яблука або молекул заліза — це тепловий рух (мал. 5).



Мал. 5. Механічні й теплові рухи

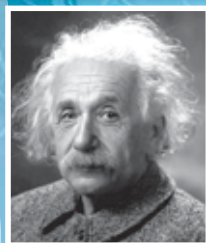
Чому виникла необхідність називати рух молекул тепловим? Адже кожна молекула здійснює механічний рух, має певну швидкість руху, кінетичну енергію. Головна відмінність теплового руху від механічного пояснюється тим, що речовина містить величезну кількість молекул (наприклад, за нормальних умов<sup>1</sup> в 1 м<sup>3</sup>

<sup>1</sup> **Нормальні умови** (скорочено н. у.) — значення тиску ( $p = 101$  кПа) й температури ( $t = 0$  °C), за яких проводять фізичні й хімічні експерименти, з метою спрощення порівнянь їх результатів.



**Мар'ян  
Смолюховський  
(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 з теорії відносності, фотоелектричного ефекту, молекулярно-кінетичної теорії. Лауреат Нобелівської премії з фізики

кисню —  $2,7 \cdot 10^{25}$  молекул). При цьому кожна молекула зазнає зіткнень, внаслідок чого постійно змінюються її швидкість і напрям руху. Навіть якщо нам вдасться дослідити закономірності руху однієї молекули, стверджувати, що вони властиві всім іншим частинкам речовини, не можна! Тепловий рух великої кількості молекул має *якісно* інші характеристики порівняно з рухом окремої молекули. У цьому випадку, описуючи рух молекул, використовують *середні значення*: середня швидкість руху молекул, середня кінетична енергія молекул, середня потенціальна енергія молекул.

Від значень цих величин (тобто від особливостей теплового руху та взаємодії молекул) залежить тепловий стан тіла: нагрівання й охолодження тіла, розширення тіл під час нагрівання, а також агрегатний стан речовини.

### Підбиваємо підсумки

Явище дифузії, броунівський рух підтверджують, що молекули хаотично й безперервно рухаються.

Усі теплові явища зумовлені рухом і взаємодією частинок речовини (молекул).

Тепловим рухом називають безперервний, неупорядкований (хаотичний) рух молекул.

### Я знаю, вмію й розумію

1. Які явища вказують на неупорядкованість руху частинок речовини?
2. У чому полягає суть явища дифузії? Броунівського руху?
3. Наведіть приклади дифузії. Які особливості протікання цього явища у твердих тілах, рідинах і газах?
4. Чому хаотичний рух молекул називають тепловим?
5. Що відрізняє тепловий рух від механічного?



#### ПОЯСНІТЬ

1. Чи можна вважати безладний рух порошочок у повітрі броунівським?
2. Чому плями від розлитої кави легше видалити відразу і значно важче зробити це згодом?



## Агрегатні стани речовини

**Пояснення агрегатних станів речовини на основі молекулярно-кінетичного вчення про будову речовини.** Одна й 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 (лід, вода, водяна пара). Склад цієї речовини в різних агрегатних станах незмінний — два атоми Гідрогену й один атом Оксигену (мал. 6).

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 вказують на їх агрегатний стан, наприклад, рідкий азот, пари ртуті, рідке олово.

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

**Газоподібний стан** (або газ)<sup>1</sup> — це стан речовини, в якому окремі молекули слабо взаємодіють між собою й рухаються хаотично. Середня кінетична енергія молекул є більшою, ніж їхня потенціальна енергія.

У газоподібному стані молекули майже не зазнають взаємного притягання. Зіштовхуючись між собою кілька мільярдів разів за секунду, вони змінюють напрям руху.

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 безмежно розширюватись і не зберігають ані

### Ви дізнаєтесь

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

### Пригадайте

- Що вам відомо про будову речовин



Мал. 6. Склад молекули води однаковий у всіх її агрегатних станах (водяна пара, вода, лід)

<sup>1</sup> Ще для означення цього стану вживають термін *газуватий*.





а



б



в

Мал. 7. Опис властивостей газів: а — моделювання внутрішньої структури; б, в — відсутність власної форми, стисливість

форми, ані об'єму, тобто займають весь об'єм посудини, в якій вони містяться (мал. 7).

Ці ознаки зумовлені тим, що молекули газу між короткочасними зіткненнями перебувають у *вільному русі*.

Більшість речовин переходять у газоподібний стан з рідкого або твердого внаслідок нагрівання. Перехід із рідкого в газоподібний стан називають *випаровуванням*, а протилежний йому перехід із газоподібного стану в рідкий — *конденсацією*. Перехід із твердого стану в газоподібний, минаючи рідкий, називають *сублімацією*, а протилежний — *десублімацією*. Прикладом сублімації є висихання білизни на морозі. Тобто у водяну пару перетворюється лід, а не вода. Прикладом десублімації є утворення інею із водяної пари.

Деякі речовини не мають газоподібного стану. Це речовини зі складною хімічною будовою, які при підвищенні температури розпадаються внаслідок хімічних реакцій раніше, ніж перетворюються на газ.

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

У *рідині* молекули перебувають на відстанях, сумірних із їхніми розмірами. На таких відстанях сила, з якою притягуються молекули, має велике значення. Тому потенціальна енергія притягання 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 су-



а



б



в

Мал. 8. Опис властивостей рідин: а — моделювання внутрішньої структури; б, в — текучість, наявність вільної поверхні, відсутність власної форми, збереження об'єму

сідніх молекул. Коли ж раптово поруч виникає розрідження, то молекула проникає в нього. Таким чином вона потрапляє в «компанію» інших молекул і перебуває там поки 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 й називається ближнім порядком.

У рідкому стані речовина зберігає об'єм, але не тримає форму. Це означає, що рідина може займати тільки частину об'єму посудини, але вільно перетікати й проникати в усі її закрутки (мал. 8).

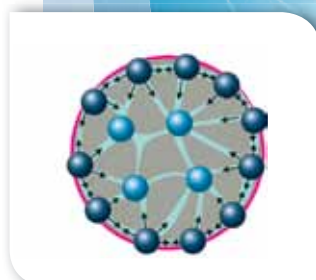
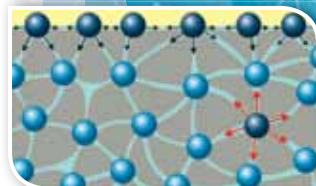


Рідина, на відміну від газу, має добре визначену поверхню. Такі явища, як змочування тіл, утворення крапель зумовлені саме особливостями взаємодії молекул, що містяться в поверхневому шарі рідини (мал. 9).

Вам, мабуть, доводилося бачити, як краплина води може розтікатися по поверхні, а може набувати форму кульки. Це зумовлено *співвідношенням 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) (мал. 10, а, с. 16).

А якщо сили притягання між молекулами самої рідини сильніші, ніж сили притягання цих молекул до молекул твердого тіла, — то рідина набуває форму кулі (не змочує поверхню) (мал. 10, б, с. 16).



Мал. 9. Явище поверхневого натягу та його моделювання



а



б

Мал. 10. Явища змочування (а) і незмочування (б)

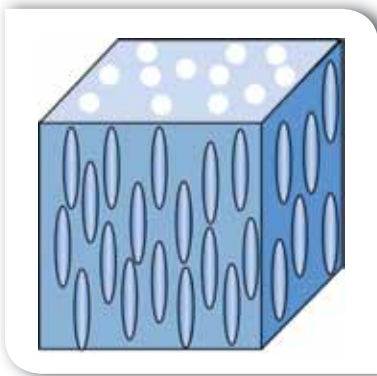
Для більшості речовин рідина — проміжний стан між газом і твердим тілом. Речовина може переходити в рідкий стан із твердого в результаті процесу, який називається *плавленням*, або з газоподібного — в результаті *конденсації*. Зворотний процес переходу з рідкого стану у твердий називається *твердненням*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

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 широко використовуються в сучасних годинниках, моніторах і телевизорах. Зазвичай довгі, вузькі молекули рідкого кристалу розміщуються так, як зображено на малюнку 11.

У *твердих тілах* структурні частинки (атоми або молекули) перебувають дуже близько одна від одної. Саме тому сили притягання між молекулами є досить великими. Оскільки середня потенціальна енергія взаємного притягання молекул значно більша 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 та об'єм (мал. 12).

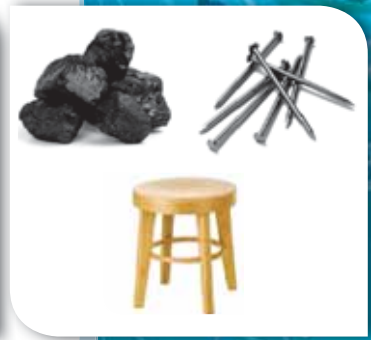
Тверді тіла можуть бути кристалічними або аморфними. Прикладами кристалічних тіл є кварц, золото, лід, гірський кришталь, кремній, галіт (кам'яна сіль) та багато інших. Для кристалічних твердих тіл характерне впорядковане розташування молекул (мал. 13).





а

Мал. 11. Модель внутрішньої будови рідких кристалів



б

Мал. 12. Опис властивостей твердих тіл: а — моделювання внутрішньої структури; б — наявність форми та об'єму

Просторові фігури, у вершинах яких містяться структурні частки 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 рідинам, дальній порядок не притаманний, називаються аморфними (наприклад, смола, парафін) (мал. 14, с. 18).

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

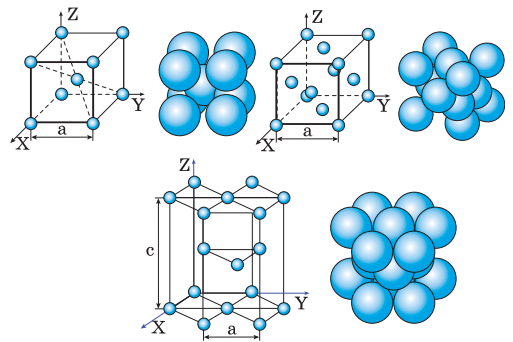
Вивчаючи теплові явища, ми найчастіше будемо досліджувати такі речовини:

- гази — 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 та біології.

### Зміни агрегатного стану речовини.

Будь-яке тверде тіло завдяки нагріванню може перейти в рідкий або

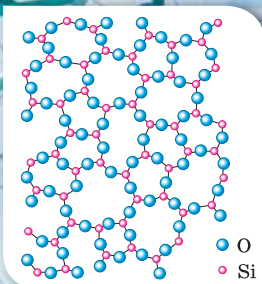


а



б

Мал. 13. Кристалічні тіла: а — моделювання внутрішньої структури; б — зразки кристалів



а



Скло



Бурштин



Каніфоль



Цукрові льодяники

б

Мал. 14. Аморфні тіла: а — моделювання внутрішньої структури; б — зразки аморфних тіл

газоподібний стан, тобто розплавитись або безпосередньо випаруватись. І навпаки, кожна рідина може стати твердим тілом, якщо її достатньою мірою охолодити (мал. 15). Кожній речовині потрібно створити відповідні умови (температура, тиск та ін.) для зміни агрегатного стану.

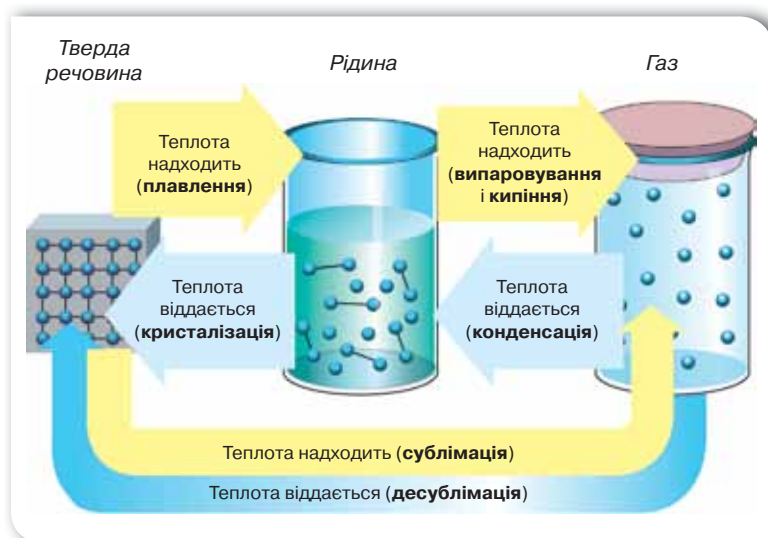
Наприклад, ртуть необхідно охолодити до  $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$ , щоб вона затвердла, тоді як залізо плавиться за  $1539\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Ще вищою є температура плавлення таких сполук, як карбіди та оксиди. За температури вище  $6000\text{ }^{\circ}\text{C}$  жодна з відомих нам речовин не може існувати як тверде тіло.

Випаровуються не тільки рідини, а й тверді тіла. Так, шматок вольфраму за кімнатної температури навіть через тисячу років практично не втратить своєї маси. Якщо ж його помістити у вакуум за температури близько  $3000\text{ }^{\circ}\text{C}$ , то вже через день маса вольфраму зменшиться (приблизно на 1,7 грама з квадратного сантиметра поверхні).

Але ви повинні запам'ятати, що *при зміні агрегатного стану склад молекул речовини не змінюється*.

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

Плазмою називають різновид газу, який складається із «зруйнованих атомів»: йонів та окремих електронів. Плазма може утворитися за значного нагрівання газу.



Мал. 15. Схематичне зображення процесів, що приводять до змін агрегатних станів



Мал. 16. Плазма

При цьому молекули настільки інтенсивно рухаються, що під час зіткнення, унаслідок великої сили удару, вони можуть втратити свої зовнішні електрони і в результаті з'являються вільні електрони та йони.

Прикладом плазми (мал. 16) 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.

### Підбиваємо підсумки

Речовини можуть перебувати в різних агрегатних станах.

Склад молекули однієї й тієї самої речовини у твердому, рідкому та газоподібному станах однаковий.

Той чи інший агрегатний стан речовини визначається відмінністю між характером руху і взаємодії молекул.

### Я знаю, вмю й розумію

1. Які особливості руху молекул у рідкому, твердому та газоподібному станах?
2. Що можна сказати про сили притягання між структурними частинками речовини в різних агрегатних станах?
3. Яке співвідношення між кінетичною та 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?





## Температура

### Ви дізнаєтесь

Як і для чого вимірюють температуру

### Пригадайте

Чому рух молекул називають тепловим

**Тепловий стан тіла.** Для людини важливо вміти правильно оцінювати 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.

Ми можемо оцінити теплові стани деяких тіл за власними відчуттями: чашка із щойно приготованою кавою є гарячою, сніг — холодним. Але відчуття тепла або холоду є суб'єктивними. Наприклад, зануримо на кілька хвилин одну руку в гарячу воду, а 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 це 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 є теплішим чи холоднішим від іншого. Для характеристики теплового стану тіла використовують поняття температури. З цим поняттям ви вже знайомі. Спробуємо пояснити його з точки зору молекулярно-кінетичного вчення про будову речовини.

Тепловий стан тіла визначається тепловим рухом його мікрочастинок: чим більшою є швидкість хаотичного руху мікрочастинок тіла, тим більш нагрітим воно буде, і навпаки. Пригадайте, підтвердженням цього є спостереження за явищем дифузії: при збільшенні температури речовини швидше проникають одна в одну.

Швидкість руху молекул і температура тіла взаємопов'язані: чим вищою є температура тіла, тим більш інтенсивно рухаються його молекули. Проте, як виявилось, не лише швидкість руху молекул речовини впливає на її температуру. За нормальних умов у частинок із порівняно малими масами (наприклад, атоми або молекули водню, гелію) швидкості теплового руху більші, ніж у частинок з більшою масою (наприклад, моле-

кули кисню або води). Тому величина, з якою пов'язана температура — це не швидкість, а кінетична енергія руху молекул: **чим вищою є температура тіла, тим 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 напрямі: від тіла з вищою температурою до тіла з нижчою температурою. Під час контакту більш нагріті тіла віддають тепло менш нагрітим і при цьому охолоджуються, а менш нагріті тіла приймають тепло й нагріваються. До того ж, під час такого теплового контакту можуть змінюватися й інші властивості тіл: вони можуть стати більшими або меншими за розмірами, почати краще або гірше проводити електричний струм, змінити свій агрегатний стан, випромінювати світло тощо.

Проте передача теплоти продовжується не безкінечно. Будь-яке тіло або система тіл, що перебувають в обмеженому просторі, з 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, 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 й віддають їм частину своєї кінетичної енергії. У результаті швидкі молекули починають рухатися

повільніше, а повільні — швидше. Гаряче тіло поступово охолоджується, а холодне — нагрівається. З точки зору молекулярно-кінетичного вчення, у стані теплової рівноваги в усіх тіл, що контактують між собою, середня кінетична енергія хаотичного руху частинок речовини, а отже і температура, є однаковою.



Температура всіх тіл у стані теплової рівноваги набуває однакового значення.

**Вимірювання температури. Термометри.** Тіла, що перебувають у стані теплової рівноваги, мають однакову температуру. Це й 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.

Усі термометри складаються з вимірювального елемента і температурної шкали. В основу дії вимірювального елемента покладено певну його властивість, що залежить від температури. Наприклад, для рідинних термометрів (мал. 17, а) — це залежність об'єму рідини від температури, для електричних термометрів



а



б



в

Мал. 17. Термометри різних конструкцій: а — рідинні; б — електричний; в — біметалевий



(мал. 17, б) — залежність сили струму від температури, для біметалевих (мал. 17, 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 і проградувати температурну шкалу.

Для градування рідинного термометра скляний балон, що переходить у капіляр і заповнений зафарбованим спиртом або ртуттю, опускають у лід, який тоне за нормальних умов ( $t = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $p = 1,01 \cdot 10^5\text{ Па} = 760\text{ мм рт. ст.}$ ). Після того як між термометром і льодом настає теплова рівновага, рух рідини в капілярі припиняється. Навпроти цього рівня на шкалі роблять позначку  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Після цього термометр переносять у киплячу дистильовану воду за нормального тиску. Після припинення підняття рідини в капілярі термометра роблять позначку  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , потім відрізок між нанесеними поділками ділять на 100 рівних відрізків. 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. 18, с. 24).

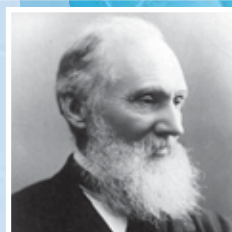
Нуль цієї шкали є умовною точкою відліку й відповідає такому тепловому стану тіла, за якого припинився б тепловий рух атомів і молекул. Теоретично доведено, що це було б можливо за температури  $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Цю температуру називають абсолютним нулем температури. Одиницею такої шкали є 1 К (кельвін). Міжнародною системою одиниць 1 К 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  $293,15\text{ К}$ . **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



**Андерс Цельсій**  
(1701–1743)

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

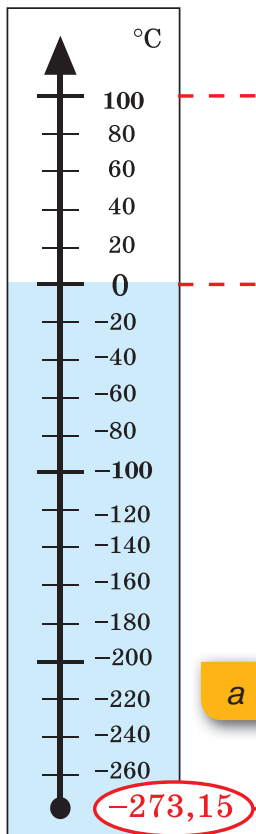


**Вільям Томсон, лорд Кельвін**  
(1824–1907)

Видатний англійський фізик, відомий фундаментальними працями з термодинаміки

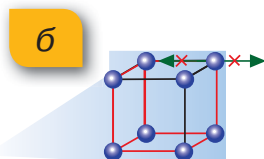
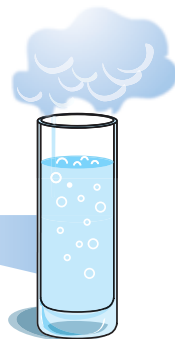
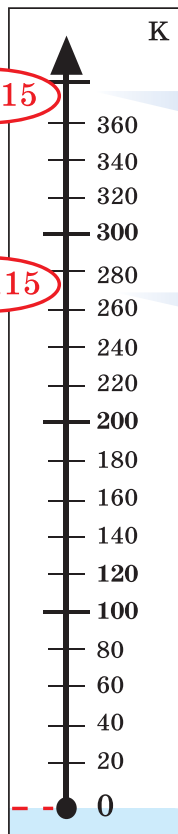
## Шкала Цельсія

$$t = T - 273,15$$



## Шкала Кельвіна

$$T = t + 273,15$$



Мал. 18. Температурні шкали: а — Цельсія; б — Кельвіна (абсолютна)

абсолютною шкалою температур це значення відповідатиме 298,15 К, тобто збільшилось на 5 К.

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 англomовних країнах.

## Підбиваємо підсумки

Температура — це фізична характеристика теплового стану речовини, з якої складається тіло, що визначається середньою кінетичною енергією хаотичного руху частинок речовини.

У природі теплові процеси підпорядковуються закону теплової рівноваги: тіла з більш високою температурою віддають теплоту менш нагрітим тілам, з якими контактують, доки їхні температури із часом стануть однаковими. Температура у стані теплової рівноваги набуває для всіх тіл однакового значення.

Температуру вимірюють термометрами. У побуті користуються термометрами, проградуєваними за шкалою Цельсія.

### Я знаю, вмію й розумію

1. Чому безладний рух молекул називають тепловим?
2. Що характеризує температура тіла?
3. Що таке тепла рівновага?
4. Як вимірюють температуру?
5. За яким принципом проградуєвана температурна шкала Цельсія?
6. Що є одиницею температурної шкали Цельсія?
- 7\*. Що є одиницею абсолютної шкали температур? Як вона пов'язана з градусом Цельсія?



#### ПОЯСНІТЬ

1. Поясніть, що означає тепла рівновага з точки зору молекулярно-кінетичного вчення про будову речовини.
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 торкатись металевих поверхонь голими руками? Поясніть це з фізичної точки зору.





# Фізика Навколо нас



## Температурні рекорди у природі й техніці



Найхолодніше місце на Землі знаходиться на Південному полюсі нашої планети. Тут 10 серпня 2010 р. за допомогою обладнання космічного супутника Landsat-8 було зафіксовано температуру  $-93,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Для порівняння: одним із найхолодніших місць у Сонячній системі є темний кратер на Місяці ( $-238\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

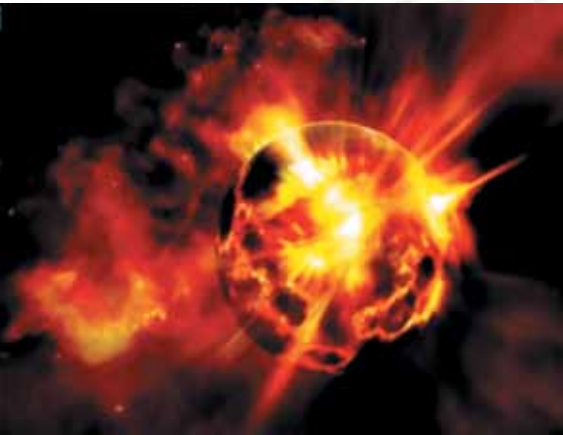
Найхолодніший об'єкт, що відомий ученим, розташований у сузір'ї Кентавра на відстані 5000 світлових років від Землі. Температура там становить усього 1 Кельвін, або  $-272,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ , що на один градус вище абсолютного нуля. За цієї температури замерзає навіть водень — найлегший із усіх відомих газів.

За низьких та наднизьких температур речовини мають унікальні властивості, що збільшує перспективи їхнього використання в сучасній науці й техніці. Отримання речовин за наднизьких температур та дослідження їхніх властивостей здійснюють у криогенних лабораторіях.

В Україні дослідження речовин в умовах наднизьких температур розпочалося у створеному в Харкові в 1928 р. Українському фізико-технічному інституті (УФТІ). Завдяки першому директору УФТІ І. В. Обреїмову було засновано одну з найпотужніших у Європі криогенну лабораторію. У 1930 р. лабораторію очолив Л. В. Шубніков. За часів його керівництва розпочато дослідження проблем надпровідності, магнетизму, термодинамічних властивостей речовин в умовах наднизьких температур. Уже в 1930 р. співробітники лабораторії розробили технологію отримання рідкого азоту, у 1931-му — рідкого водню, у 1932-му — рідкого гелію.

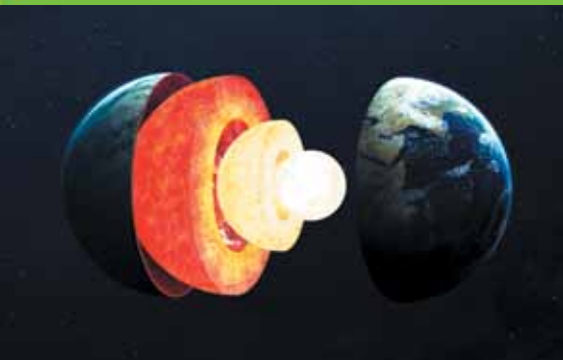
## Найвищі температури

Найвища температура на Землі — в пустелі на півдні Ірану, де у 2005 р. температура піднялася до 70,7 °С.

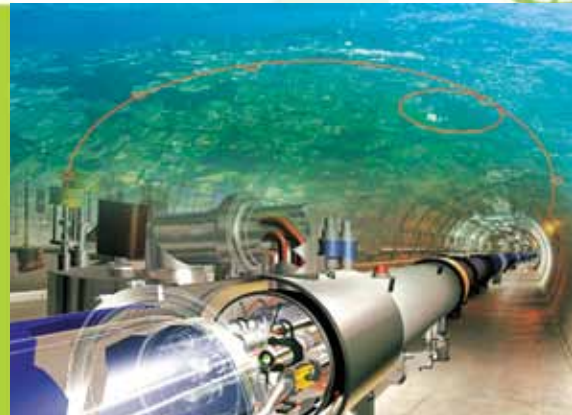


На глибині 30–50 км надра Землі нагріті до 1000–1200 °С.

Установлено, що поміж зірок найвища температура — на так званих блакитних зорях, температура їх поверхні 10 000 – 30 000 °С. У надрах зорі мають ще вищу температуру. За підрахунками вчених, ця температура становить кілька мільйонів градусів Цельсія.



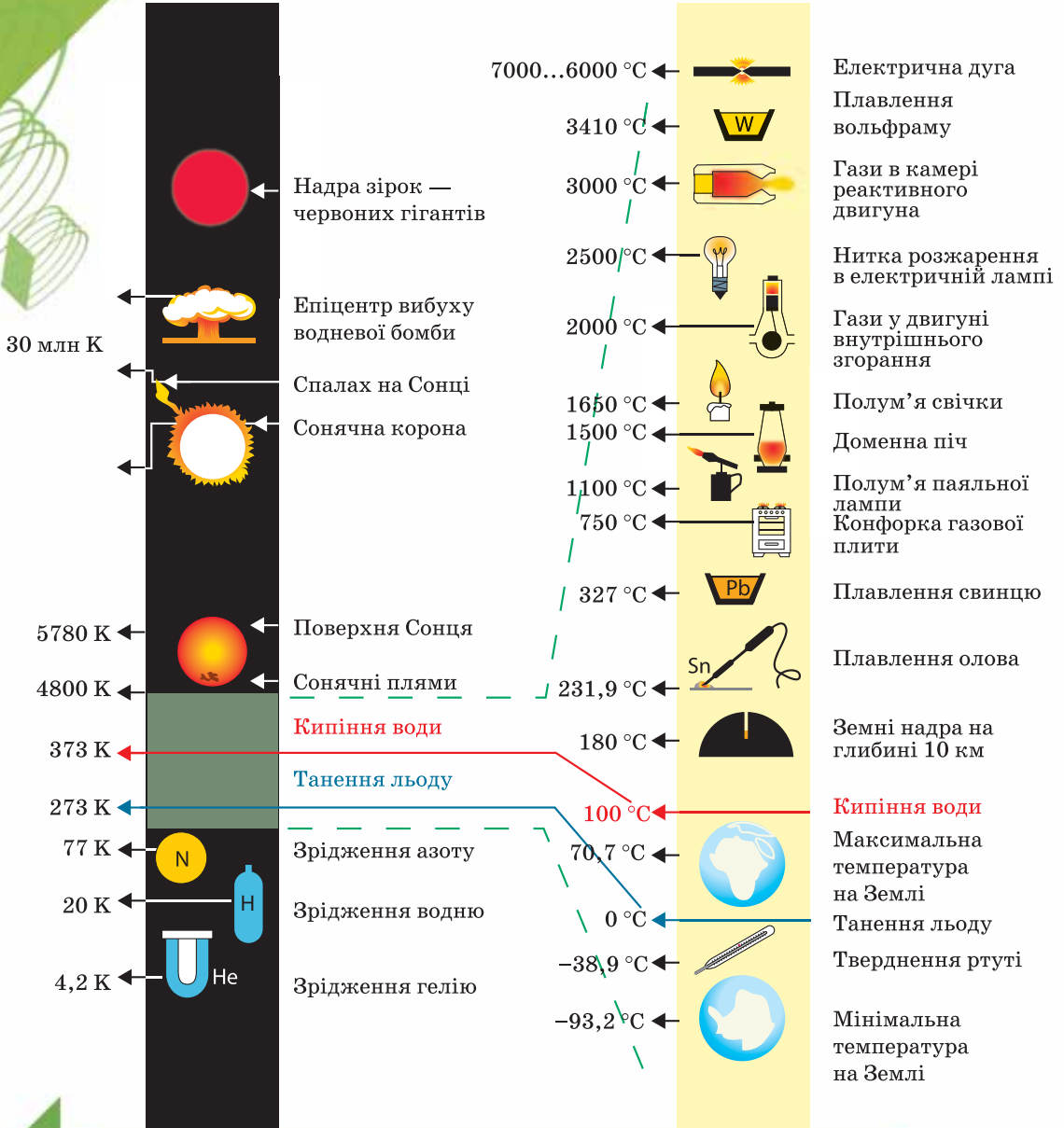
Як не дивно, але температурний рекорд із найвищих температур у Всесвіті (близько 10 трильйонів °С) було встановлено 7 листопада 2011 р. в Швейцарії під час експерименту на Великому адронному колайдері (найпотужнішому прискорювачеві найдрібніших часток).





# Фізика Навколо нас

## Шкала температур





## Температура й людський організм

Середня температура людського тіла зазвичай коливається в діапазоні між 36,5 і 37,2 °С.

Критично високою є температура тіла 42 °С, за неї відбувається порушення обміну речовин у тканинах мозку.

Вважається, що організм людини краще пристосований до холоду. Наприклад, зниження температури тіла до 32 °С викликає озноб, але не становить серйозної небезпеки. За температури тіла 27 °С настає кома, відбувається порушення серцевої діяльності та дихання. Температура тіла нижче 25 °С є критичною. Проте відомі випадки, коли деяким людям вдалося вижити, перебуваючи тривалий час у сніговому заметі.

Виявлено, що за короткотривалого контакту з дуже низькими температурами організм людини миттєво мобілізує свої захисні сили, прискорює обмінні процеси й запускає механізми самолікування. Таку процедуру здійснюють у кріосаунах, де використовується повітряно-азотна суміш, що має температуру –140 °С. Триває ця процедура близько 2–3 хвилин.



Дівчатка можуть хизуватися термолаком для нігтів. Він має властивість змінювати свій колір залежно від температури. За його відтінками можна оцінити температуру рук. Якщо відтінок світлий — руки теплі, якщо темний — руки потрібно зігріти.

## Температура тіла теплокровних тварин



У кажанів у стані сплячки — 13 °С  
у золотистого хом'яка — 35 °С  
у слона — 35 °С  
у коня — 37,6 °С  
у корови — 38,3 °С  
у кішки — 38,6 °С  
у собаки — 38,9 °С  
у барана — 39 °С  
у свині — 39,1 °С  
у кроля — 39,5 °С  
у кози — 39,9 °С  
у курки — 41,5 °С



## § 4

## Залежність розмірів тіл від температури

## Ви дізнаєтесь

- Що і як відбувається з речовиною внаслідок її нагрівання

## Пригадайте

- Особливості теплового руху речовин у різних агрегатних станах

**Нагрівання 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 їхній процес нагрівання має як деякі відмінності, так і спільні ознаки. Спільною ознакою є те, що під час нагрівання збільшується швидкість теплового руху молекул, а отже, і їхня середня кінетична енергія, що у свою чергу приводить до збільшення середньої відстані між молекулами. Іншими словами, речовини, нагріваючись, розширюються. Ступінь розширення речовини буде залежати від її внутрішньої будови.

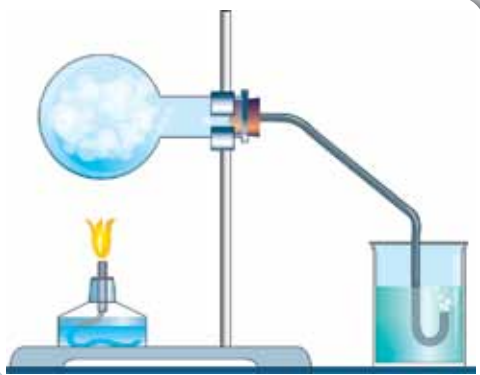
Найбільшого розширення під час нагрівання зазнають гази. Продемонструємо розширення повітря на такому досліді (мал. 19). Підігріте повітря, розширюючись, виходить через відвідну трубку, про що свідчить поява бульбашок повітря у скляній посудині з водою.

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 покласти на деякий час у холодильник. Ви побачите, що розміри кульки зменшаться, при цьому маса повітря, що в ній міститься, — не зміниться.

Властивість газів багаторазово збільшувати свій об'єм унаслідок нагрівання широко використовується (наприклад, політ на повітряній кулі, робота двигунів внутрішнього згорання). Утворення



Мал. 19. Дослід із розширення газу під час нагрівання

вітру також є наслідком розширення повітря. Оскільки атмосферне повітря прогривається нерівномірно, то є області, де розширення відбувається інтенсивніше, що й зумовлює горизонтальне переміщення повітряних мас — вітер (мал. 20).

Теплове розширення характерне і для рідин. Так, 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 окуп. Це пояснюється тим, що її стінки досить товсті й прогриваються не одразу по всій товщині. Спочатку прогривається внутрішня частина стінки і при цьому розширюється, а зовнішня частина, що ще не встигла прогрітися, «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 у 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, в якій вона міститься. Якщо ви ще самостійно не дали відповіді на попереднє запитання — то, можливо, при ретельному огляді будови термометра вам це вдасться. Мабуть, ви помітили, що рідина в термометрах міститься в дуже тоньких трубочках.

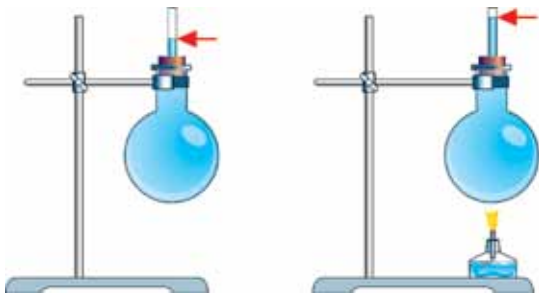
Демонстрацію теплового розширення рідини можна провести подібно до того, як ми демонстрували розширення повітря (мал. 21, с. 32). Наповнимо колбу гасом по самі вінця. Закриємо її пробкою, у яку вставлено тонку скляну трубку, і доллемо гасу, щоб він зайняв певну частину трубки. Під час нагрівання рівень рідини (гасу) у вузькій трубці збільшується. Ми скористались гасом тому, що він розширюється в п'ять разів більше, ніж вода.

Найпоширенішою рідиною є вода, яка має багато особливостей, що виділяють її з-поміж інших рідин. Зокрема, для води характерне непритаманне іншим рідинам розширення під час охолодження. Охолоджуючись, вода спочатку (як і всі рідини) стискується, досягаючи максимальної густини при 4 °С (точніше, при 3,98 °С),

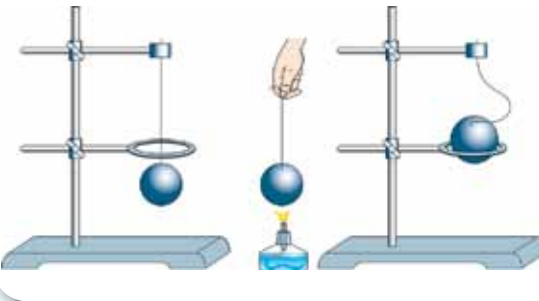


Мал. 20. Вітер — переміщення повітряних мас внаслідок нерівномірного прогривання





Мал. 21. Дослід із розширення рідини



Мал. 22. Дослід із розширення твердого тіла

а потім починає розширюватись, хоч її температура продовжує знижуватися. Ця властивість зумовлена будовою молекули води (взаємним розташуванням двох атомів Гідрогену й атому Оксигену).

Нерівномірне прогрівання (а отже, і 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. 22). Візьмемо металеву кульку й кільце. Кільце має бути таких розмірів, щоб кулька ледве проходила крізь нього. Нагріємо кульку. Після цього кулька вже не проходить крізь кільце. (Якщо кульку залишити на кільці на певний час, то згодом, охолонувши, вона знову проходитиме крізь нього).

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 й стиснення відбуваються нерівномірно. Це призводить до руйнування гір й утворення тріщин.

Теплове розширення твердих тіл необхідно врахувати інженерам, конструкторам й архітекторам, які проєктують будівлі, споруди та різноманітні деталі машин і механізмів. Принцип дії біметалевого термометра ґрунтується на розширенні двох пластин, що складаються з різних металів.

## Підбиваємо підсумки

Під час нагрівання збільшується швидкість теплового руху молекул, а отже — і їхня середня кінетична енергія, що у свою чергу приводить до збільшення середньої відстані між молекулами і, як наслідок, — до збільшення об'єму тіла.

Теплове розширення тіл залежить як від зміни температури, так і від того, з якої речовини воно виготовлене.

## Я знаю, вмію й 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?



### ПОЯСНІТЬ

1. Чому стоматологи не радять їсти дуже гарячу їжу?
2. Як у досліді, що зображений на малюнку 22, 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)?

## ДОМАШНІ ДОСЛІДИ ТА СПОСТЕРЕЖЕННЯ

1. Візьміть порожню пластикову пляшку та покладіть її в холодильник (або в морозильник). Вийміть пляшку через 20–30 хв й одразу надягніть на її шийку повітряну кульку (мал. 23, а). Поставте пляшку в миску з теплою водою. Спостерігайте, що буде відбуватись. Поясніть.

2. Візьміть велику банку. Пропарте її (налийте невелику кількість гарячої води і злийте). Робіть усе обережно, щоб не зазнати опіків!

Наберіть у повітряну кульку води й покладіть на горловину банки (мал. 23, б). Спостерігайте, що відбудеться згодом. (Можна намалювати на кульці очі, ніс, рот — буде кумедніше).



а



б

Мал. 22.  
Ілюстрація  
дослідів



# Фізика НАВКОЛО НАС

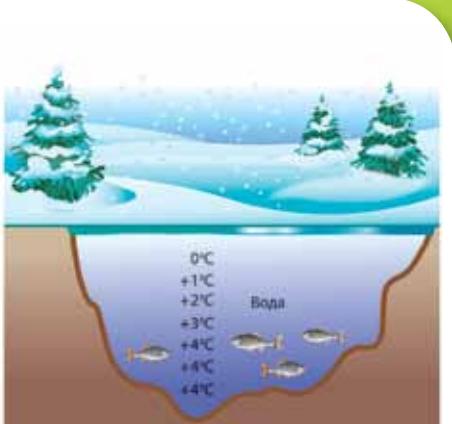
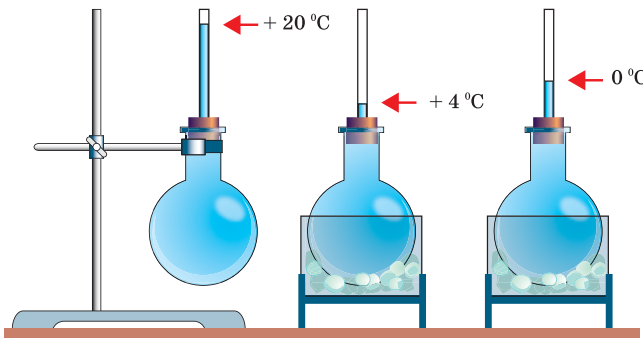
## ОСОБЛИВОСТІ ТЕПЛОВОГО РОЗШИРЕННЯ ВОДИ

Без води неможливе існування живих організмів. У будь-якому організмі вода є середовищем, де відбуваються хімічні реакції, що забезпечують його життєдіяльність. Не тільки здатність розчинювати різні речовини, без яких не можуть жити організми, а й багато інших властивостей води роблять її найціннішою, найнеобхіднішою для життя речовиною. Процес нагрівання води супроводжується характерною особливістю: при нагріванні 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  $\rho = 0,9982 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ .



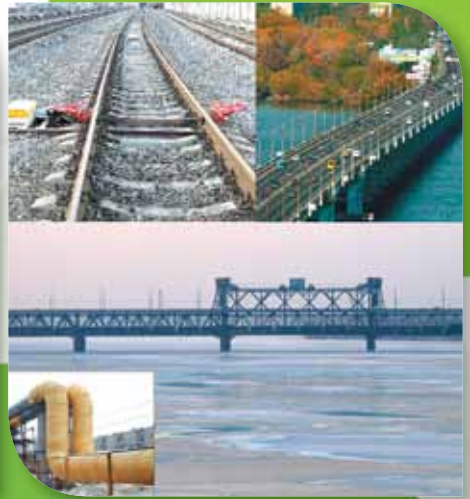
Така, на перший погляд, незначна різниця в густині води має велике значення для життєдіяльності мешканців водойм. З наближенням зими і зниженням температури повітря вода біля поверхні водойм починає охолоджуватися. Її густина при цьому зростає, і верхні шари води опускаються вниз. Переміщення теплих і холодних шарів відбувається доти, поки температура майже всієї води під льодом стане рівною 4 °C.

Зимова циркуляція води у водоймах важлива ще й тим, що опускаючись до дна, холодні верхні шари 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.



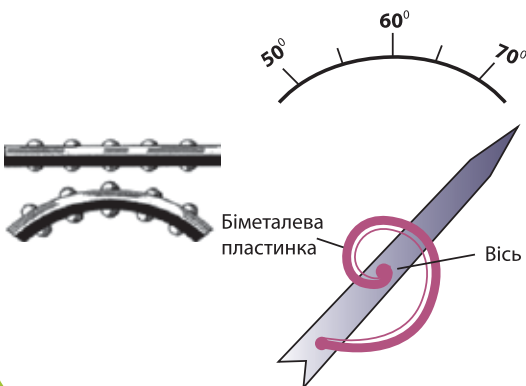
## ВРАХУВАННЯ ТЕПЛОВОГО РОЗШИРЕННЯ В ТЕХНІЦІ

Теплове розширення враховують під час проектування різних споруд. Оскільки температура повітря в наших широтах протягом року може змінюватися від  $-30$  до  $+30$  °С, то такі зміни температури спричиняють значні видовження й стискання. 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. Розгляньте фотографії й поясніть особливості конструкцій мостів, залізниці, трубопроводу.



Слід враховувати й те, що різні речовини характеризуються різними коефіцієнтами лінійного й об'ємного розширення. Наприклад, бетон і залізо майже однаково розширюються під час нагрівання. Тому їх так широко використовують у будівництві. Якби бетон і залізо розширювалися по-різному, це призвело б до руйнувань будинків. Ще один приклад: емаль, якою покривають посуд, і метал, з якого його виготовляють, повинні мати однакові коефіцієнти лінійного розширення. Інакше емаль буде облущуватися під час нагрівання.

Властивість матеріалів по-різному змінювати свої розміри також застосовують у техніці. Наприклад, якщо з'єднати дві пластинки з різних металів (наприклад, залізо та мідь), то при нагріванні вони вигинаються по-різному: та що розширюється більше — завжди міститься з випуклої сторони. Такі пластинки називають біметалевими. Вони мають широке застосування: у біметалевих термометрах, в електричних чайниках тощо.



# 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.** 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 — це 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 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 мікрочастинки набагато більша, ніж кінетична енергія їхнього руху.

Чи може внутрішня енергія дорівнювати нулю? Тепловий рух молекул 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  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  молекули кисню рухаються із середньою швидкістю  $478\text{ м/с}$ . Маса однієї молекули  $5,3 \cdot 10^{-26}\text{ кг}$ . Відповідно кінетична енергія руху молекули

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

В  $1\text{ м}^3$  міститься приблизно  $2,7 \cdot 10^{25}$  молекул. Тоді середня кінетична енергія руху цих молекул  $E \approx 160\text{ кДж}$ . Це значення досить велике. Порівняйте (мал. 24): тіло масою  $1000\text{ кг}$ , підняте на висоту  $10\text{ м}$ , має потенціальну енергію близько  $100\text{ кДж}$ .

**Два способи зміни внутрішньої енергії.** Внутрішня енергія — це змінна величина. Оскільки внутрішня енергія речовини визначається кінетичною та потенціальною енергіями частинок цієї речовини, то, змінюючи швидкість руху частинок або відстані між ними, можна змінити й внутрішню енергію речовини.

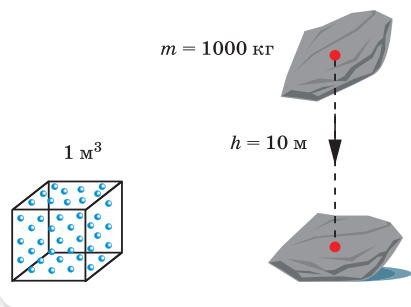
Як це зробити?

Проведемо дослід (мал. 25). 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.

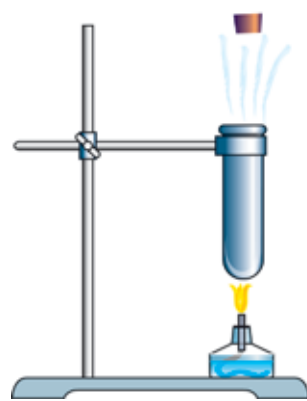
Відомо, що чайник із водою, який стоїть на вогні, металева ложка, опущена в склянку з гарячою водою, пісок під сонячним промінням нагріваються. В усіх цих випадках спостерігається підвищення температури тіл, а отже — і збільшення їхньої внутрішньої енергії завдяки передаванню теплоти від одних тіл іншим.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

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

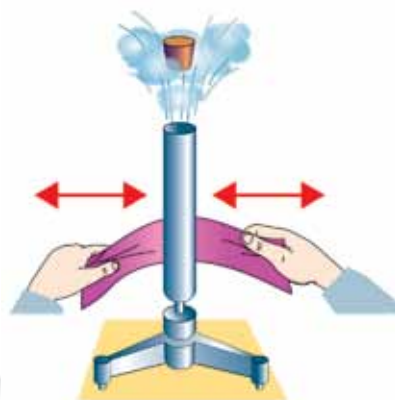
Внутрішню енергію тіла можна змінити і в інший спосіб. Проведемо дослід (мал. 26). Закріпимо на підставці тонкостінну латунну трубку.



Мал. 24. Порівняння значень енергій



Мал. 25. Збільшення внутрішньої енергії повітря



Мал. 26. Дослід зі збільшення внутрішньої енергії за рахунок виконання механічної роботи





Мал. 26. Дослід із зменшення внутрішньої енергії повітря, за рахунок виконання ним роботи

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 рідина закипить і утворені пари ефіру, розширюючись, виштовхнуть корок.

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, поки не вилетить корок (мал. 27). 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 воно виконало роботу, виштовхнувши корок.

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.

Отже, внутрішню енергію тіла можна змінити двома способами: завдяки виконанню роботи або завдяки теплообміну.

### Підбиваємо підсумки

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

Одиницею внутрішньої енергії є джоуль.

Внутрішню енергію тіла можна змінити двома способами: завдяки виконанню роботи або завдяки теплообміну.

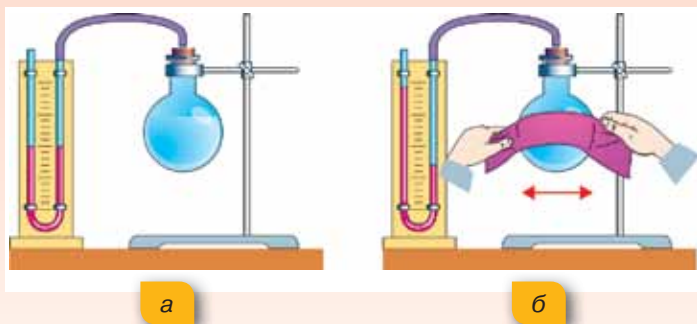
### Я знаю, вмію й розумію

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 приводять до зміни внутрішньої енергії тіла.



### ПОЯСНІТЬ

1. Чи можна змінити внутрішню енергію тіла, не змінюючи його температуру?
2. Опишіть процеси, зображені на малюнку 28, а, б. У колбі міститься повітря.



Мал. 27. Дослід із натирання колби з повітрям

Як пов'язані між собою зміна тиску повітря та зміна його внутрішньої енергії?

## § 6

# Теплопровідність

**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 та випромінюванням.

**Теплопровідність.** Вам, напевне, доводилось обпікатись гарячою ложкою, що міститься в чашці з 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 29, с. 40 зображено металеву посудину з водою, що нагрівається полум'ям.

### Ви дізнаєтесь

- Чому метали мають найкращу теплопровідність

### Пригадайте

- Способи зміни внутрішньої енергії тіла



Мал. 29. Механізм теплопровідності

Молекули повітря в полум'ї мають значно більшу кінетичну енергію, ніж молекули металевої посудини. Унаслідок зіткнення вони передають частину своєї енергії мікрочастинкам речовини посудини, що містяться найближче до полум'я. Згодом мікрочастинки розжареного дна посудини передають деяку 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 при цьому не відбувається. Такий процес передачі теплоти називається *теплопровідністю*.



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



Мал. 30. Використання теплоізоляційних матеріалів

**Теплопровідність різних речовин.** Чи всі речовини мають однакову теплопровідність? Вам, мабуть, доводилось помічати, що одні речовини проводять тепло краще, ніж інші. Ручку металевої сковороди або кавоварки виготовляють із дерева. Гаряче деко із 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 й 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 вовна, хутро й пух захищають тварин від переохолодження взимку і 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. 30).

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.

### Підбиваємо підсумки

Теплопровідність — це процес передачі енергії від одних тіл до інших або від одних частин тіла до інших частин того самого тіла, який 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.

### Я знаю, вмю й розумію

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?



## 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 електрочайниках 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. 31).

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. При підвищенні температури об'єм рідини зростає, а густина — зменшується. Тому нагріті шари води розши-

рюються й піднімаються угору під дією архімедової сили, виштовхуючись знизу струменями холодної води. Так поступово прогріватимуться й рухатимуться угору ті шари, що перед цим опустилися.

Конвекцією пояснюється теплообмін повітря в кімнаті, що прогривається батареєю опалення (мал. 32). Унаслідок нагрівання виникає різниця температур між нижніми й верхніми шарами повітря. Струмені теплого повітря будуть виштовхуватися знизу струменями холодного повітря й підніматися вгору під дією архімедової сили. Так поступово прогріватимуться й рухатимуться вгору холодне повітря, що перед цим опустилося.

Після ознайомлення із процесами теплопровідності й конвекції спробуйте пояснити такий дослід (мал. 33). Візьмемо пробірку з водою та льодом (на лід покладемо металеву гайку, щоб він 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!

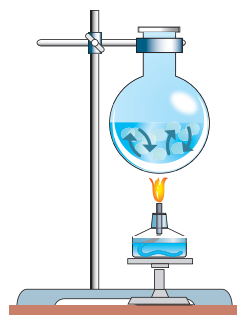
Як пояснити результати досліду?

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.

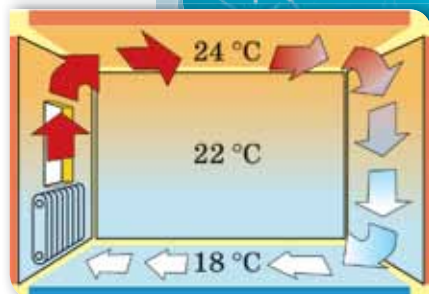
По-друге, конвекційні процеси відбуваються спрямовано: теплі потоки піднімаються вгору, холодні — опускаються вниз. Тому прогріта згори вода не опускається на дно пробірки й не розтоплює лід.

**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.

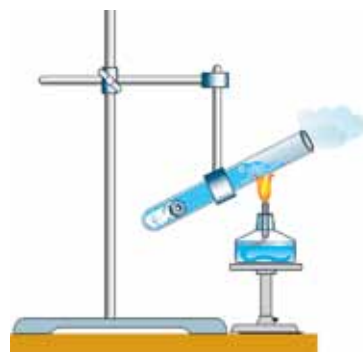
Прикладом конвекції в атмосфері Землі є берегові бризи. Механізм їх утворення пояснюється конвекцією повітряних мас. Удень суходіл прогривається Сонцем швидше, ніж вода. Тому повітря над суходолом прогривається сильніше, ніж над морем. Густина повітря над суходолом зменшується, утворюється область низького тиску, а над морем



Мал. 31. Конвекція в рідинах



Мал. 32. Конвекція в газах



Мал. 33. Дослід із нагрівання пробірки з водою та льодом



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 охоложене 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 та явищем теплового розширення. Теплі шари рідини або газу (які мають меншу густину) піднімаються вгору, а холодні (більш густі) — опускаються.

### Я знаю, вмію й 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 та гази нагрівають знизу?
2. Чому конвекція неможлива у твердих тілах?

## § 8

# Теплове випромінювання

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

Розгляньте малюнок 34. Тепло від Сонця долає величезну відстань у космічному безповітряному просторі, поки дістанеться 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 відчутно.

Як передається тепло від свічки, коли ми наближаємо до неї руки? Теплопровідністю? Ні, адже повітря — поганий провідник теплоти. 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 й 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 та 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. 34. Теплове випромінювання



Мал. 35. Фото, отримані за допомогою приладів, що фіксують теплове випромінювання



Мал. 36. Усі види теплообміну

Розгляньте уважно малюнок 35. 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 теплоту краще, ніж гладенькі та блискучі. Тому влітку, в спекотні дні, краще не носити темного одягу, який буде інтенсивно поглинати теплоту, що може стати причиною теплового удару.

Розглянувши три види теплообміну, бачимо, що всі вони діють одночасно (мал. 36), але не однаковою мірою (одні переважають над іншими).



## Підбиваємо підсумки

Вид теплообміну, за якого енергія передається за допомогою електромагнітних хвиль, називають тепловим випромінюванням.

Усі тіла без винятку випромінюють теплову енергію.

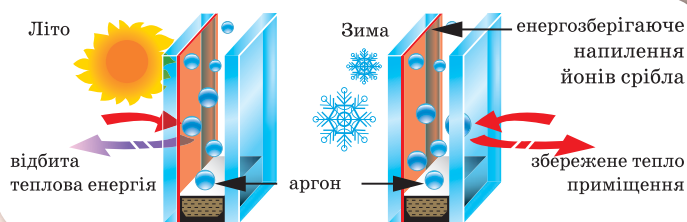
Інтенсивність випромінювання й поглинання тілом енергії залежить від його температури, кольору та стану його поверхні. Що вищою є температура тіла, то більше енергії воно випромінює. Шорсткі й темні поверхні випромінюють і поглинають теплоту краще, ніж гладенькі та світлі.

### Я знаю, вмію й 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 у 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. 37)?



Мал. 37. Принцип роботи енергозберігаючого склопакета вікна

4. Чому зовнішні поверхні циліндрів на двигунах мопедів і мотоциклів роблять ребристими (мал. 38)?
5. Де швидше розтане сніг: на шкільному подвір'ї, у лісі, у полі? Чому?



Мал. 38. Мотоцикл

### Ви дізнаєтесь

■ Як можна виміряти кількість переданої чи отриманої тілом теплоти

### Пригадайте

■ Види теплообміну й механізми передачі теплоти

## Кількість теплоти. Розрахунок кількості теплоти під час нагрівання тіла

**Кількість теплоти.** У попередніх параграфах ми з'ясували, що теплота передається від гарячих тіл до холодних поки 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 у тому випадку, 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  $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ , передасть таку кількість теплоти, за рахунок якої 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 при його охолодженні), 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. 39). 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.

**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 °C (або яка кількість теплоти виділяється речовиною масою 1 кг при охолодженні на 1 °C).

Питому теплоємність речовини позначають буквою  $c$ .

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

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

Питома теплоємність золота  $130 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$  — це означає,

що для нагрівання 1 кг золота на 1 °C потрібна кількість теплоти, що дорівнює 130 Дж (або внаслідок охолодження 1 кг золота на 1 °C виділяється кількість теплоти, що дорівнює 130 Дж).



Мал. 39. Нагрівання води та гліцерину



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  $4200 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$ , а питома теплоємність льоду  $2100 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$ .

**Обчислення кількості теплоти.** Щоб обчислити кількість теплоти, яка потрібна для нагрівання тіла, або кількість теплоти, яку виділяє тіло, охолоджуючись, треба питому теплоємність речовини, з якої виготовлене тіло, помножити на масу цього тіла й різницю між його початковою та 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  $\Delta t$  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

Кількість теплоти, що дістає чи втрачає тіло під час теплообміну, визначається за формулою:  $Q = cm(t - t_0)$ , або  $Q = cm\Delta t$ .

Питома теплоємність речовини ( $c$ ) — це фізична величина, що показує, яка кількість теплоти потрібна для збільшення температури речовини масою  $1 \text{ кг}$  на  $1 \text{ }^\circ\text{C}$  (або яка кількість теплоти виділяється речовиною масою  $1 \text{ кг}$  при охолодженні на  $1 \text{ }^\circ\text{C}$ ).

### Я знаю, вмію й 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  $80\text{ }^\circ\text{C}$ , стальна кулька поглинає 300 Дж теплоти, то скільки теплоти вона віддасть, охоловши на  $80\text{ }^\circ\text{C}$ ?
3. У двох однакових чайниках, розташованих на конфорках однакової потужності, кип'ятять воду. В одному з них кришка постійно «підстрибує», а в другому — є нерухомою. Поясніть це явище.



### ВЧИМОСЯ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ЗАДАЧІ

#### Задача

У залізну каструлю масою 1 кг налито води масою 2 кг. Якої кількості теплоти треба надати каструлі з водою, щоб вода закипіла? Початкова температура води  $10\text{ }^\circ\text{C}$ .

<p><b>Дано:</b></p> $m_1 = 1\text{ кг}$ $c_1 = 460 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ $m_2 = 2\text{ кг}$ $c_2 = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ $t_0 = 10^\circ\text{C}$ $t = 100^\circ\text{C}$	<p>СІ</p>	<p><b>Розв'язання:</b></p> <p>Розв'язуючи задачу, слід враховувати, що обидва тіла — каструля і вода — нагріваються разом. Між ними відбувається теплообмін, їхні температури можна вважати однаковими. Тому температура і каструлі, й води змінилися однаково:</p> $\Delta t = 100^\circ\text{C} - 10^\circ\text{C} = 90^\circ\text{C}.$
$Q - ?$		

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

Кількість теплоти, яку дістала каструля:  $Q_1 = c_1 m_1 \Delta t$ ,

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

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

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

Для нагрівання каструлі й води затрачено кількість теплоти:  $Q = Q_1 + Q_2$ ,

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

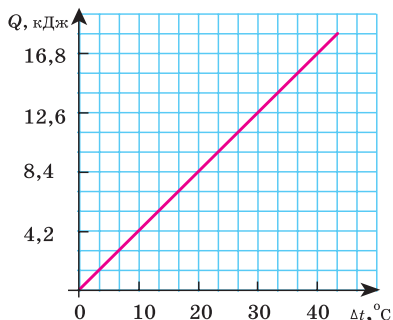
**Відповідь:**  $Q = 800\text{ кДж}$ .



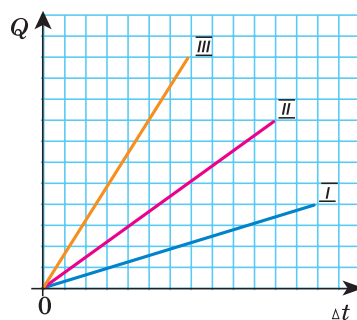
## Вправа 1

У цій і подальших задачах, якщо не вказано значення тиску, вважати температуру кипіння води (окропу) рівною  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

- Обчислити кількість теплоти, потрібну для нагрівання: а) алюмінієвої ложки масою  $50\text{ г}$  від  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; б)  $1,5\text{ л}$  води від  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  до кипіння (воду нагрівають у залізній каструлі масою  $1,5\text{ кг}$ ).
- Як зміниться кількість теплоти, потрібна для нагрівання тіла на  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , якщо його маса збільшиться вдвічі?
- Яка кількість теплоти виділяється при охолодженні  $1\text{ кг}$  алюмінію на  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ?
- Для нагрівання металевої деталі масою  $10\text{ кг}$  від  $20$  до  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$  потрібна така сама кількість теплоти, яка виділяється під час охолодження  $1\text{ кг}$  води на  $90\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Визначте питому теплоємність речовини металевої деталі.
- На малюнку 40 зображено графік фізичного процесу. Що це за процес? Якщо вважати, що процес відбувається з речовиною масою  $100\text{ г}$ , чи можна встановити, що це за речовина?
- На малюнку 41 зображено графіки залежності кількості теплоти від зміни температури для трьох тіл однакової маси, але виготовлених із різних матеріалів. Порівняйте питомі теплоємності цих тіл.
- Для нагрівання повітря в кімнаті об'ємом  $50\text{ м}^3$  витрачено  $645\text{ кДж}$  енергії. Визначте, на скільки градусів підвищилась температура в кімнаті за рахунок цієї енергії.
- До якої температури охолоне  $5\text{ л}$  окропу, віддавши в навколишнє середовище  $1680\text{ кДж}$  теплоти?
- В алюмінієвій каструлі масою  $900\text{ г}$  нагрівається вода об'ємом  $5\text{ л}$  від  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$  до кипіння. Порівняйте, яка кількість теплоти витрачається на нагрівання каструлі та на нагрівання води.



Мал. 40. До завдання 5



Мал. 41. До завдання 6



## § 10

## Тепловий баланс

**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 й холодної води або обчислити кількість теплоти, отриманої тілом під час теплообміну, або визначити температуру тіла, яку воно матиме в результаті досліду.

В усіх цих випадках треба *складати рівняння відносно кількості теплоти, яку втрачають та якої набувають усі тіла, що перебувають у теплообмінному процесі.*

Під час розрахунку теплообмінних процесів застосовують певні правила, що дають змогу встановити умови перебігу теплових явищ та 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 з цим кажуть про **умову теплового балансу:** у замкненій системі під час теплообміну 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.

## Ви дізнаєтесь

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

## Пригадайте

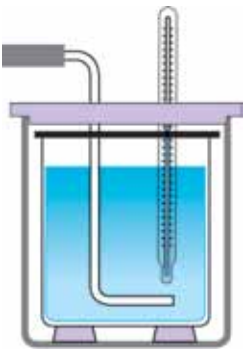
- Що таке кількість теплоти
- За якою формулою обчислюють кількість теплоти



а



б



в

1. З'ясувати, які тіла беруть участь у теплообміні.
2. Установити, якої температури досягають тіла в 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 (при цьому 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.

**Калориметр.** Рівняння теплового балансу, по суті, виражає закон збереження енергії, за умови, що теплообмін відбувається всередині теплоізоляованої системи (немає зовнішніх втрат тепла). Для цього, виконуючи лабораторні роботи, ви будете використовувати калориметр (мал. 42).

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 теплоти під час теплообміну. Отже, таку систему з певною точністю можна вважати теплоізоляованою.

Мал. 42. Калориметр: а — зовнішній вигляд; б — складові калориметра (внутрішня і зовнішня посудини, пінопластова теплоізолююча вставка, яка закривається зверху захисним кільцем, кришка калориметра з отвором, що закривається, дротяне кільце для перемішування рідини; в — схематичне зображення

### Я знаю, вмію й розумію



1. Наведіть приклади теплоізолюваної 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?



## ВЧИМОСЯ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ЗАДАЧІ

### Задача 1

Змішали воду масою 0,8 кг, що має температуру 25 °С, й окріп масою 0,2 кг. Температуру утвореної суміші виміряли, вона становила 40 °С. Обчислити кількість теплоти, яку віддав, остигаючи, окріп, і кількість теплоти, яку дістала, нагріваючись, холодна вода. Порівняти ці кількості теплоти.

Дано:	СІ	Розв'язання:
$m_1 = 0,8 \text{ кг}$		Вода, яку було вли- то в окріп, нагрілась від 25 до 40 °С і дістала кіль- кість теплоти $Q_1 = c_1 m_1 (t - t_1)$ ,
$c_1 = c_2 = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°С}}$		
$m_2 = 0,2 \text{ кг}$		
$t_1 = 25 \text{ °С}$		
$t_2 = 100 \text{ °С}$		
$t = 40 \text{ °С}$		
$Q_1 - ? \quad Q_2 - ?$		

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

Окріп охолонув від 100 до 40 °С, при цьому він віддав кількість теплоти:

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

$$Q_2 = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°С}} \cdot 0,2 \text{ кг} \cdot (100 \text{ °С} - 40 \text{ °С}) = 50\,400 \text{ Дж.}$$

**Відповідь:** кількість теплоти, яку віддала гаряча вода, і кількість теплоти, яку дістала холодна вода, однакові.

*Зверніть увагу!* Під час проведення дослідів зазвичай енергія, віддана гарячою водою, більша від енергії, отриманої холодною водою. Це пояснюється тим, що певна частина енергії передається повітрю, а інша частина — посудині, у якій змішували воду. Віддана та одержана енергії будуть однаковими лише в тому випадку, якщо в досліді не допускається втрат енергії. Якщо ж обчислити і врахувати ці втрати, то рівність буде точною!

### Задача 2

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



**Дано:**

$$m_1 = 0,1 \text{ кг}$$

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

$$m_2 = 0,1 \text{ кг}$$

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

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

$$t - ?$$

**СІ****Розв'язання:**

Вода, яку було влито в окріп, нагрілась від  $20^\circ\text{C}$  до  $t$  і дістала кількість теплоти

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

Окріп охолонув від  $100^\circ\text{C}$  до  $t$ , при цьому 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 та гарячої води? А якщо взяти будь-які рівні об'єми холодної та гарячої води? Зробіть висновок.

**Задача 3**

Алюмінієвий калориметр, маса якого дорівнює 100 г, містить 100 г води кімнатної температури. У калориметр поклали тіло масою 150 г, температура якого становить  $80^\circ\text{C}$ . Через деякий час, після встановлення теплової рівноваги, температура в калориметрі дорівнювала  $27^\circ\text{C}$ . Визначити питому теплоємність тіла, яке поклали в калориметр.

**Дано:**

$$m_1 = 0,1 \text{ кг}$$

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

$$m_2 = 0,1 \text{ кг}$$

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

$$m_3 = 0,15 \text{ кг}$$

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

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

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

$$c_3 - ?$$

**СІ****Розв'язання:**

Унаслідок теплообміну між калориметром, водою і тілом температура в калориметрі підвищилась від  $20$  до  $27^\circ\text{C}$ , тіло при цьому охололо від  $80$  до  $27^\circ\text{C}$ .

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:

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

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

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

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

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

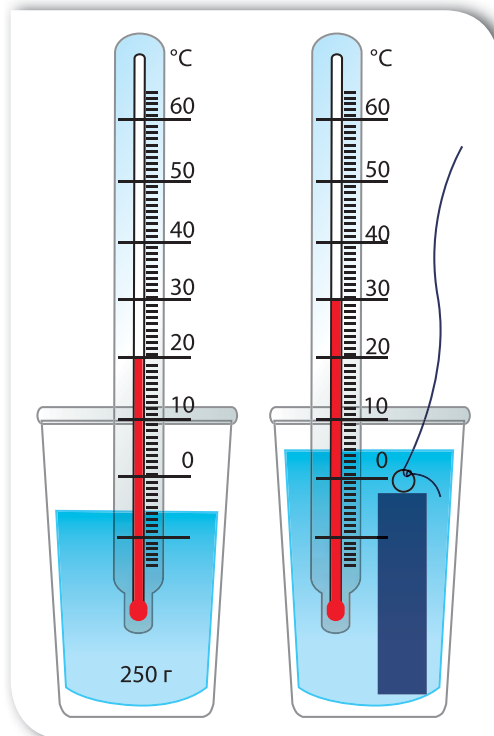


## Вправа 2

1. Взяли 100 г води за температури  $20^\circ\text{C}$  і 100 г води за температури  $60^\circ\text{C}$ . Яка температура встановиться, якщо воду змішати?
2. На скільки градусів нагріється мідний паяльник масою 200 г, якщо йому надати таку саму кількість теплоти, що йде на нагрівання олова масою 10 г від  $20^\circ\text{C}$  до  $232^\circ\text{C}$ ?
3. Для приготування ванни, місткість якої 200 л, змішали холодну воду за температури  $10^\circ\text{C}$  з гарячою за температури  $60^\circ\text{C}$ . Які об'єми холодної і гарячої води треба взяти, щоб у ванні встановилася температура  $40^\circ\text{C}$ ?
4. У каструлі змішали 0,8 кг води за температури  $25^\circ\text{C}$  і 0,2 кг окропу. Якою стала температура суміші?
5. У калориметр, у якому міститься 200 г води за температури  $10^\circ\text{C}$ , поклали мідний брусок масою 50 г, температура якого становить  $100^\circ\text{C}$ . Визначте температуру, яка встановилася у калориметрі.
6. У калориметр, теплоємність якого дорівнює  $63 \text{ Дж}/^\circ\text{C}$  (теплоємність калориметра визначається добутком питомої теплоємності речовини і маси калориметра  $C = c \cdot m$ ), налили 250 г олії за температури  $12^\circ\text{C}$ . Після

того, як в олію вкинули мідне тіло, масою 500 г і температурою 100 °С, у калориметрі встановилася температура 33 °С. Визначте за даними досліду питому теплоємність олії.

7. За даними досліду, зображеного на малюнку 43, 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 °С поміщують 300 г заліза, температура якого 10 °С, і 400 г міді температурою 25 °С. Визначити температуру теплової рівноваги.
- 9\*. У скляну посудину, масою 120 г і температурою 20 °С, налили гарячу воду, маса якої 200 г і температура 100 °С. Через 5 хв температура посудини з водою стала дорівнювати 40 °С. Яка кількість теплоти втрачається за одну секунду? Процес втрати теплоти вважати сталим.



Мал. 43. До завдання 7





## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

### 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 і матеріали:** термометр, посудина з теплою водою (40 °С), 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 змінюватись, 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, $t_1$ , °С	Температура теплої води, $t_2$ , °С	Температура суміші, $t$ , °С	Кількість теплоти, що отримала холодна вода, $Q_1$ , Дж	Кількість теплоти, що віддала тепла вода, $Q_2$ , Дж



## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

### Визначення питомої теплоємності речовини

**Мета роботи:** навчитись визначати питому теплоємність речовини.

**Прилади і 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. Акуратно 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 таблицю 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 $m_1, \text{кг}$	Маса тіла $m_2, \text{кг}$	Кількість теплоти, що отримала вода $Q_1, \text{Дж}$	Кількість теплоти, що віддало тіло $Q_2, \text{Дж}$	Питома теплоємність тіла $c_2, \text{Дж}/(\text{кг}\cdot^\circ\text{C})$

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

## Перевірте себе (§ 1–10)

### Рівень А (початковий)

- 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
- Енергію, яку тіло дістає або втрачає внаслідок теплообміну, називають...
  - А кількістю теплоти
  - Б питомою теплоємністю
  - В внутрішньою енергією
  - Г кінетичною енергією
- У якому агрегатному стані речовина має найбільшу теплопровідність?
  - А твердому
  - Б рідкому
  - В газоподібному
  - Г усіх агрегатних станах теплопровідність речовини однакова
- Енергію руху і взаємодії мікрочастинок речовини називають...
  - А кінетичною енергією
  - Б внутрішньою енергією
  - В кількістю теплоти
  - Г потенціальною енергією
- У якому випадку енергія від одного тіла до іншого передається тільки за рахунок теплового випромінювання?
  - А унаслідок нагрівання води в електрочайнику
  - Б унаслідок нагрівання повітря в кімнаті від радіатора центрального опалення
  - В унаслідок нагрівання шин автомобіля під час гальмування
  - Г унаслідок нагрівання поверхні Землі Сонцем
- Виберіть властивість, завдяки якій вода є найпридатнішою рідиною для центрального опалення будівель.
  - А порівняно велика густина води
  - Б розширення при її нагріванні
  - В велика питома теплоємність води
  - Г мала стисливість води

### Рівень В (середній)

- Чи охолоджуватиметься нагріте тіло в безповітряному просторі?
  - А ні, оскільки відсутні інші тіла, з якими воно перебуває в контакті
  - Б так, за рахунок конвекції
  - В так, за рахунок теплового випромінювання
  - Г так, за рахунок теплообміну





# § 11

## Кристалічні та аморфні тіла

**Пригадаймо, що нам відомо про тверде тіло.** Повторіть § 2, в 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.

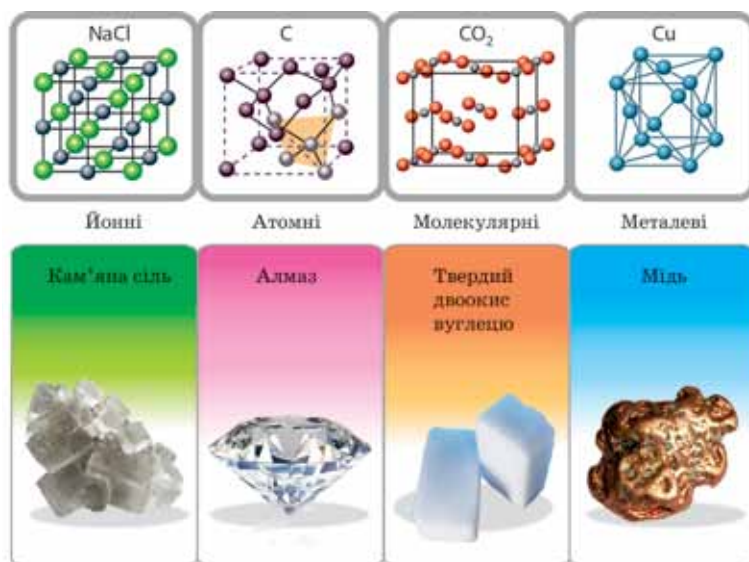
**Кристалічні тіла.** Кристалічними називають такі тверді тіла, атоми або молекули яких здійснюють теплові коливання біля положень рівноваги, що утворюють так звані вузли кристалічної ґратки. Між молекулами кристалів існує значна сила взаємодії, тому кристали зберігають сталими не лише свій об'єм, а й форму. Правильна геометрична форма є істотною зовнішньою ознакою будь-якого кристала. Існують різні види кристалічних ґраток, але головною їхньою особливістю є чітка періодичність розміщення атомів у просторі. Тому кажуть,

### Ви дізнаєтесь

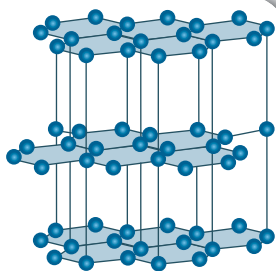
- Про особливості будови твердих тіл
- За якими ознаками класифікують тверді тіла

### Пригадайте

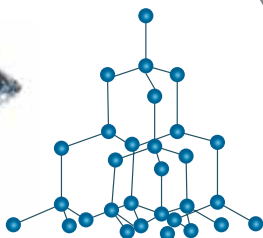
- Характеристики речовини, що перебуває у твердому агрегатному стані



Мал. 46. Типи кристалів



а



б

Мал. 47. Кристалічні ґратки:  
а) графіту; б) алмазу

що в кристалічних тілах існує дальній порядок у розташуванні атомів. Залежно від природи частинок, що містяться у вузлах кристалічних ґраток, та відповідно до фізичної природи сил, що діють між ними, розрізняють чотири види кристалів: йонні, атомні, молекулярні, металеві (мал. 46, с. 63).

Властивості кристала значною мірою визначаються видом кристалічної ґратки. Пояснимо це на прикладі графіту. Кристалічна ґратка графіту має шарувату структуру (мал. 47, 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, у кристалі алмазу атоми Карбону розташовані не лише у вер-

шинах, а й на гранях (мал. 47, б). При цьому всі атоми мають міцні зв'язки зі своїми найближчими сусідами. Саме цими жорсткими зв'язками між атомами і 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. «поли» — 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 близьким. 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 їхня 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 їхня пластичність.

### 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.

### Я знаю, вмію й розумію


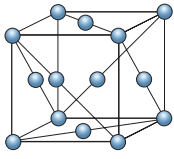

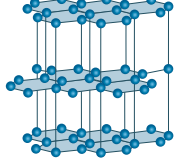

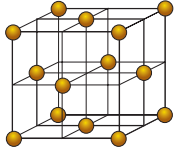

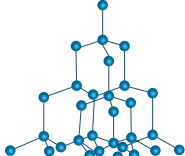

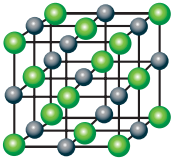

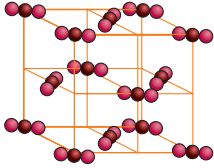

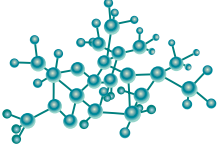

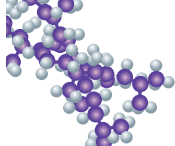



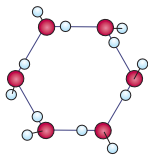
1. Які тіла називають кристалічними?
2. На які дві групи поділяють кристалічні тіла?
3. Які особливості будови монокристалів та полікристалів ви знаєте?
4. Які тіла називають аморфними?
5. Назвіть особливості аморфних тіл.
6. Чим кристалічні тіла відрізняються від аморфних?



#### ПОЯСНІТЬ

1. Розгляньте малюнок 48 на с. 66. На цьому малюнку зображено тверді тіла та схеми їхньої будови. За якими ознаками ви б їх класифікували? Спробуйте описати відмінності між аморфними та кристалічними речовинами. За якими ознаками ви би класифікували кристалічні речовини?

Чи є серед речовин, зображених на малюнку 48, такі, що не відповідають жодній із класифікацій? Що це за речовини?

			
Цинк		Графіт	
			
Золото		Алмаз	
			
Кам'яна сіль		Цукор	
			
Скло		Полімери	
			
Холестерилбензоат		Лід	

Мал. 48.  
До завдання 1

2. Чи любите ви малювати або розглядати картини? А чи замислювалися, звідки люди отримали перші фарби? Їм слугували природні матеріали. На малюнку 49 зображено мінерали: малахіт, лазурит, каолін, кіновар. Установіть відповідність між кольором фарби, отриманим із порошку мінералу, та його назвою.



Малахіт



Лазурит



Каолін



Кіновар

Біла фарба

Зелена фарба

Червона фарба

Синя фарба

## 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. 50). Процес вирощування кристала проходить у кілька етапів.

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

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. 50).

Склянку потрібно зберігати за кімнатної температури. Щоб захистити її 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 і не дозволить йому розсіпатися.

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

Мал. 49.  
До завдання 2



Мал. 50.  
Вирощування кристалів у домашніх умовах



## § 12

# 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 та аморфними тілами

**Плавлення твердих тіл.** Як було з'ясовано в попередньому параграфі, тверді тіла поділяються на кристалічні та 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  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , свинець — за  $327\text{ }^{\circ}\text{C}$ , олово — за  $232\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а сталь — за  $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Тому лід плавиться за кімнатної температури, кусок олова або свинцю можна розплавити в сталевій ложці, нагріваючи її над полум'ям плити, а сталь плавлять у спеціальних печах, де досягають потрібної температури.

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

Дослід показує, що речовини тверднуть *за тієї самої температури, за якої плавляться*. Наприклад, вода кристалізується (а лід плавиться) за температури  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а чисте золото плавиться і кристалізується за  $1539\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

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 йде 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 з твердого стану в рідкий, вводять фізичну величину, яка називається питомою теплотою плавлення, позначається  $\lambda$  (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 та питомої теплоти плавлення окремих речовин наведено на форзацах у таблицях.

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

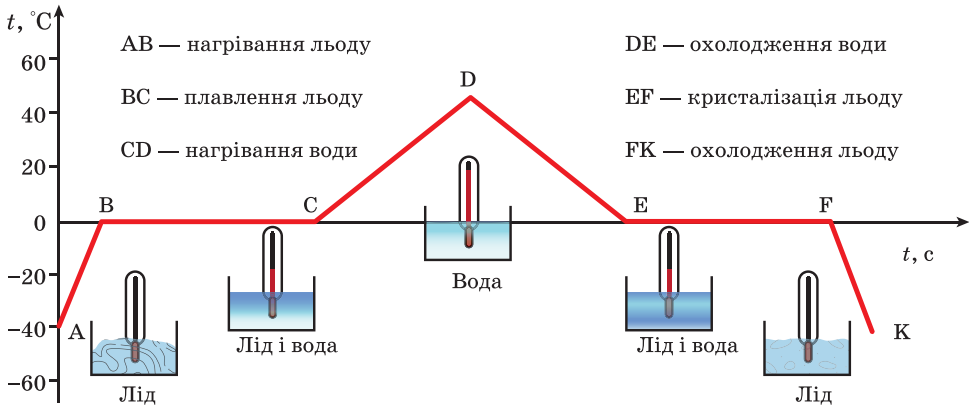
$$Q_{\text{пл}} = \lambda m.$$

Зворотний процес — перехід із рідкого стану в 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 51 на с. 70 графічно зображено процеси нагрівання і плавлення льоду, нагрівання води та зворотні процеси.

Зверніть увагу, ділянки графіка, 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. 51. 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 й 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 при плавленні та 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 °С?

Дано:

$$m = 0,6 \text{ кг}$$

$$t = 20 \text{ °С}$$

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

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

$$t_{\text{пл}} = 660 \text{ °С}$$

$$Q - ?$$

СІ

Розв'язання:

Значення  $c$ ,  $\lambda$  і  $t_{\text{пл}}$  дізнаємось із таблиць. Щоб розплавити алюміній, його спершу слід нагріти до температури плавлення 660 °С. Для цього необхідна кількість теплоти:

$$Q_1 = cm(t_{\text{пл}} - t).$$

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

На процес плавлення затрачується кількість теплоти

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

Таким чином, щоб розплавити 0,6 кг алюмінію, взятого за температури 20 °С, 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<sup>3</sup> кристалізується й охолоджується від температури плавлення до 27 °С?

Дано:

$$V = 100 \text{ см}^3$$

$$t = 27 \text{ °С}$$

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

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

$$Q - ?$$

СІ

Розв'язання:

Масу тіла визначимо за його густиною та об'ємом:  $m = \rho V$ ,

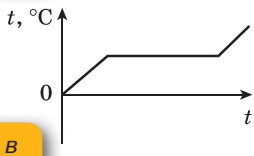
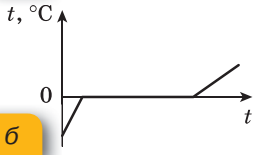
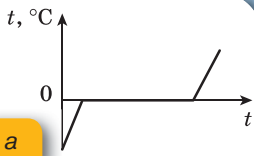
$$m = 11\,300 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 10^{-4} \text{ м}^3 = 1,13 \text{ кг}.$$

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

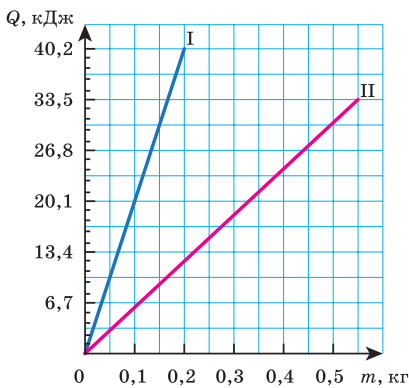
$$Q_1 = 24\,000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot 1,13 \text{ кг} = 27\,120 \text{ Дж}.$$

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

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



Мал. 52. Графіки зміни температури льоду внаслідок нагрівання



Мал. 53. Графіки залежності кількості теплоти від маси



Мал. 54.  
До завдання 8

Таким чином, загальна кількість енергії, що виділяється під час кристалізації та 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 3

- Лід і свинець масою 1 кг кожен узяті за їхніх температур плавлення. Для плавлення якого з цих тіл потрібна більша кількість теплоти? У скільки разів?
- У якому стані перебуває свинець за нормального атмосферного тиску, якщо його температура  $330\text{ }^\circ\text{C}$ ?
- У скільки разів більше енергії потрібно для плавлення льоду за  $0\text{ }^\circ\text{C}$ , ніж для нагрівання такої самої маси льоду на  $1\text{ }^\circ\text{C}$ ?
- Шматок льоду занесли з вулиці, де температура  $-5\text{ }^\circ\text{C}$ , у сарай, де температура  $0\text{ }^\circ\text{C}$ . Чи почне танути лід у сараї?
- У посудині міститься лід за температури  $-10\text{ }^\circ\text{C}$ . Посудину поставили на пальник, який за однакові інтервали часу дає однакову кількість теплоти. Який із графіків (мал. 52) відповідає описаному випадку і в чому помилкові інші графіки?
- Маса срібла 10 г. Яка кількість теплоти виділяється під час його кристалізації й охолодження до  $60\text{ }^\circ\text{C}$ , якщо срібло взято за температури плавлення?
- На малюнку 53 зображено залежність кількості поглинутої під час плавлення теплоти від маси речовини. Визначте питому теплоту плавлення для кожної речовини. Що це за речовини?
- До якої температури слід нагріти залізний кубик, щоб він повністю занурився в лід, температура якого  $0\text{ }^\circ\text{C}$  (мал. 54)? Вважайте, що вся теплота, віддана кубиком, іде на плавлення льоду.
- У посудині міститься 2 л води, яка має температуру  $30\text{ }^\circ\text{C}$ . Визначте температуру, що встановиться в посудині, якщо в неї покласти 200 г льоду, температура якого  $0\text{ }^\circ\text{C}$ .
- У сталевій коробці масою 250 г розплавляють 100 г свинцю. Яка кількість теплоти витратилася на теплові процеси, якщо початкова температура тіл становила  $27\text{ }^\circ\text{C}$ ?

## § 13

Випаровування  
і конденсація

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

У цьому параграфі розглянемо детальніше механізми випаровування та 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 опиниться біля поверхні рідини, то вона може подолати притягання сусідніх молекул і вилетіти з рідини (мал. 55). Молекули, що вилетіли з поверхні рідини, утворюють над нею пару — відбувається 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. 56, с. 74).

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 й вилетіти з рідини може більша кількість молекул.

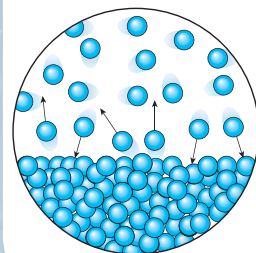
Через те, що деяка кількість молекул, які рухаються швидко, є в рідині за будь-якої температури, **то й випаровування відбувається за будь-якої температури.** Це підтверджують спостереження. Наприклад, калюжі випаровуються і влітку, в спеку, і восени, коли вже холодно. Але влітку вони висихають швидше. Це пояснюється

## Ви дізнаєтесь

- Як можна регулювати інтенсивність випаровування

## Пригадайте

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



Мал. 55. Процес випаровування





Мал. 56. Швидкість випаровування залежить від різновиду рідини



Мал. 57. Швидкість випаровування залежить від температури



а



б

Мал. 58. Випаровування:  
а — у закритій посудині,  
б — у відкритій посудині

тим, що чим вища температура рідини, тим більшою є кількість молекул, які швидко рухаються й можуть подолати сили притягання навколишніх молекул і вилетіти з поверхні рідини. **Тому рідина випаровується швидше за вищої температури** (мал. 57).

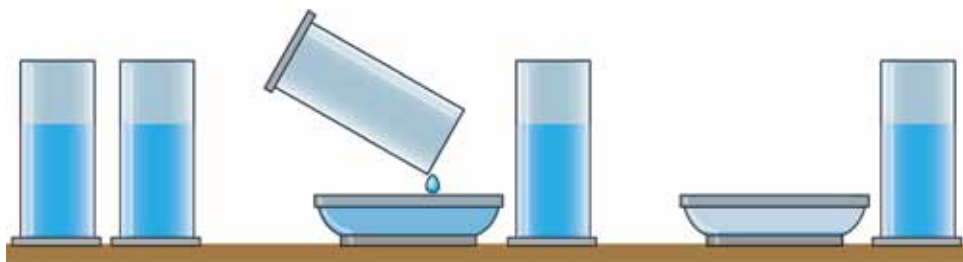
Одночасно з переходом молекул із рідини в пару відбувається і зворотний процес. Безладно рухаючись над поверхнею рідини, частина молекул, що її залишили, знову в неї повертаються.

Якщо рідина випаровується в **закритій посудині** (мал. 58, а), то досить швидко кількість молекул, які вилетіли з рідини, дорівнюватиме кількості молекул пари, що повертаються назад в 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. 58, б) кількість рідини внаслідок випаровування поступово зменшується, бо більшість молекул пари розсіюється 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 й швидкості потоків повітря та його вологості<sup>1</sup>.**

Якщо у вузьку і широку посудини налити однаковий об'єм води (мал. 59), то можна помітити, що в широкій посудині вода випарується значно швидше. Наприклад,

<sup>1</sup> 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.



Мал. 59. Швидкість випаровування рідини залежить від площі її вільної поверхні

налита в блюдце вода випарується швидше, ніж налита у склянку. Це пояснюється тим, що рідина випарується з вільної поверхні речовини, і чим більша площа вільної поверхні рідини, тим 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, випаровуючись, вона охолоджується. Виходячи з води навіть у спекотний день, ми відчуваємо холод. Вода, випаровуючись із 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 і температура води залишається сталою за рахунок теплоти, узятій з навколишнього повітря.

Ми говорили, що одночасно з випаровуванням відбувається і конденсація (мал. 60). 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.



Мал. 60.  
Конденсація  
водяної пари

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.

### 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 нею.

Якщо немає припливу енергії до рідини ззовні, то, випаровуючись, вона охолоджується.

### Я знаю, вмію й 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?



#### ПОЯСНІТЬ

1. Чому для виготовлення парфумів використовують спирт, а не воду?
2. Чому ґрунт просихає швидше у вітряну погоду?
3. Чому в закритій посудині рідина холодне 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*.

**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. 61, 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 вздовж поверхні бульбашки в її середину. 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 й виштовхувальна архімедова сила, що діє на бульбашку. Бульбашки відриваються від поверхні стінок і дно посудини й підіймаються до поверхні рідини. Якщо вода в посудині ще не прогріта повністю й верхні її шари залишаються холодними (мал. 61, б), бульбашки стискаються, створюючи характерний шум, який ми чуємо перед

### Ви дізнаєтесь

- Чим кипіння відрізняється від випаровування

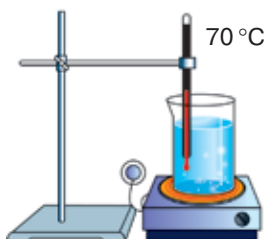
### Пригадайте

- Особливості руху та взаємодії молекул речовини в газоподібному і рідкому стані

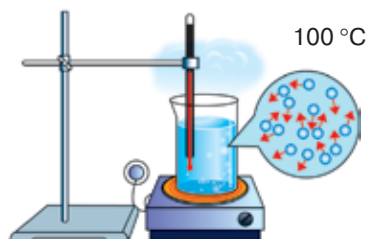
Мал. 61.  
Кипіння води



а



б



в

Таблиця 1  
Температура кипіння  
деяких речовин  
(за нормального  
атмосферного тиску)

Речовина	$t_{\text{кип}}, ^\circ\text{C}$
Водень	-253
Кисень	-183
Ефір	35
Спирт	78
Вода	100
Молоко	100
Ртуть	357
Свинець	1740
Мідь	2567
Залізо	2750

початком кипіння рідини. Якщо ж вода прогрілася повністю (мал. 61, в), а ми продовжуємо її нагрівати, процес пароутворення в середину бульбашок відбувається інтенсивніше. Кількість пари всередині бульбашок збільшується, відповідно підвищується й тиск пари. Унаслідок цього об'єм бульбашок збільшується, і за певної температури рідини бульбашки починають спливати на поверхню й лопатися, а водяна пара, що містилася в бульбашках, виходить назовні. Іноді при цьому можна спостерігати туман, який утворюється над посудиною: водяна пара зміщується з холодним повітрям і конденсується у вигляді маленьких крапельок. Самої пари, звичайно, не видно.

При кипінні температура рідини залишається сталою, оскільки вся теплота, що надається рідині, йде 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 паром 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.

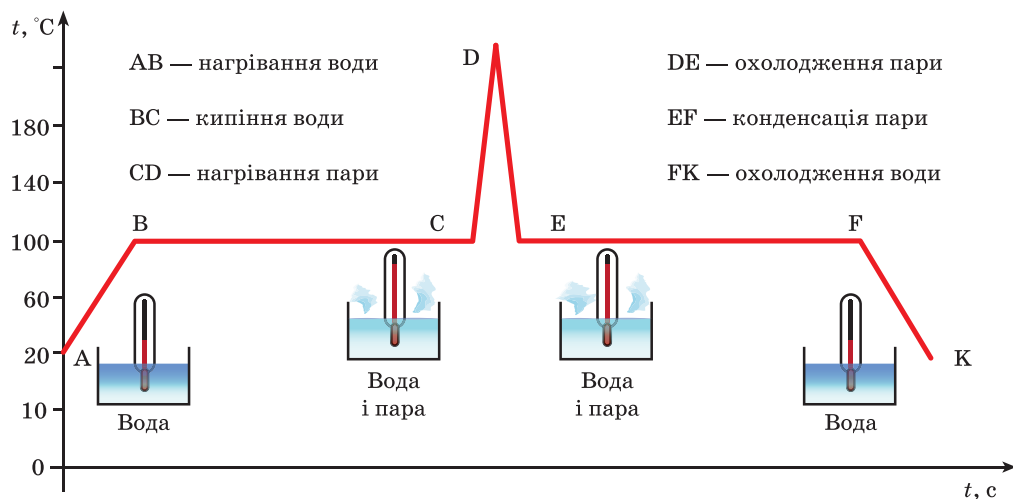
У таблиці подано температури кипіння ( $y ^\circ\text{C}$ ) деяких речовин (за нормального атмосферного тиску).

З таблиці видно, що 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 у процесі пароутворення не змінювала своєї температури, їй треба надавати енергію. Так, щоб випарувати воду масою 1 кг за температури  $35 ^\circ\text{C}$ , потрібно  $2,4 \cdot 10^6$  Дж, а за температури кипіння  $100 ^\circ\text{C}$  —  $2,3 \cdot 10^6$  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.



Мал. 62. Графік залежності температури від часу

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 та 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:

$$Q_{\text{вип}} = Lm.$$

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

Процеси нагрівання й 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 62 графічно зображено процеси нагрівання й кипіння води та нагрівання утвореної водяної пари, а також обернені процеси: охолодження пари, конденсації та 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 при цьому виникають.

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:  $Q_{\text{вип}} = Lm$ .

### Я знаю, вмію й розумію

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. 63). Матеріал каструль — дуже добрий провідник теплоти (метал). У якій із каструль вода википить швидше? Чи кипітиме вода в маленькій каструлі, яка плаває у великій каструлі, де кипить вода?



Мал. 63.  
До завдання 2



## ВЧИМОСЯ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ЗАДАЧІ

### Задача

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

**Дано:**

$m = 2 \text{ кг}$

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

$t_{\text{кип}} = 100^\circ \text{C}$

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

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

 $Q = ?$ 

СІ

**Розв'язання:**Загальна кількість затраченої енергії:  $Q = Q_1 + Q_2$ ,де  $Q_1$  — енергія, затрачена на нагрівання води від  $20$  до  $100^\circ \text{C}$ :  $Q_1 = cm(t_{\text{кип}} - t)$ , а  $Q_2$  — енергія, затрачена на перетворення води в пару без зміни її температури:  $Q_2 = Lm$ .

Підставивши числові значення величин, дістанемо:

$$Q = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ \text{C}} \cdot 2 \text{ кг} \cdot (100^\circ \text{C} - 20^\circ \text{C}) +$$

$$+ 2,3 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot 2 \text{ кг} \approx 5,3 \cdot 10^6 \text{ Дж}.$$

**Відповідь:**  $Q \approx 5,3 \cdot 10^6 \text{ Дж}$ .**Вправа 4**

1. Чи кипітиме вода у склянці, що плаває в киплячій воді?
2. Що має більшу внутрішню енергію: 1 кг води за температури  $100^\circ \text{C}$  чи 1 кг водяної пари, узяті за тієї самої температури?
3. Яка кількість теплоти виділяється під час конденсації 2,5 кг водяної пари, якщо її температура  $100^\circ \text{C}$ ?
4. Водяну пару масою 1 кг узято за температури  $100^\circ \text{C}$ . Скільки енергії передасть вона навколишньому середовищу в разі конденсації й подальшого охолодження до  $0^\circ \text{C}$ ?
5. Яку кількість теплоти потрібно витратити, щоб 4 кг льоду, взятого за температури  $-10^\circ \text{C}$ , перетворити у пару температурою  $100^\circ \text{C}$ ?
6. У посудину, в якій міститься 1,5 кг води за температури  $15^\circ \text{C}$ , впустили 200 г водяної пари за температури  $100^\circ \text{C}$ . Яка температура встановиться в посудині після конденсації пари?
- 7\*. Яку кількість теплоти треба надати 50 г води, температура якої  $20^\circ \text{C}$ , щоб довести її до кипіння й перетворити половину цієї води в пару?
- 8\*. Яка кількість теплоти виділяється під час конденсації водяної пари, маса якої 10 кг, а температура  $100^\circ \text{C}$ , та охолодження води, що утворилася, до  $20^\circ \text{C}$ ?

## § 15

# Згорання палива.

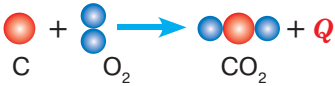
## Розрахунок кількості теплоти внаслідок згорання палива

### 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. 64. Реакція горіння

**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 із 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 й види горючих речовин, зупинимося лише на деяких із них. Зокрема, на процесі горіння, пов'язаних із окисненням вуглецю. Звичайне паливо<sup>1</sup> (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. 64). 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. 65). Так, щоб запалити речовину в повітрі, спочатку потрібно нагріти її до певної температури —

<sup>1</sup> В українській мові розрізняють такі поняття: *паливо* — горюча речовина (дрова, вугілля, нафта, газ і т. ін.), яка використовується для одержання теплової енергії, тепла; *пальне* — паливо для двигунів; речовина, що є джерелом енергії під час її спалювання у двигунах, котельних та інших енергетичних установках.





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



температури займання. Для різних речовин вона різна. 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.

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 й 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 (продуктів згорання). З фізичної точки зору нас буде цікавити питання: від чого залежить кількість теплоти, що виділяється під час горіння?

Природно, 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 палива** — 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 наведено значення їх питомої теплоти згорання.

Мал. 65. Умови початку горіння

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 йде на нагрівання тіл, а частина її витрачається (розсіюється в навколишнє середовище, поглинається самим нагрівником тощо). Тому кажуть про коефіцієнт корисної дії (ККД) нагрівника показує, яку частину становить кількість теплоти, що йде на нагрівання ( $Q$ ), по відношенню до 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 теплоти і світла.

Питомою теплотою згорання палива ( $q$ ) називають фізичну величину, що показує, яка кількість теплоти виділяється при повному згоранні 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 й 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 теплотою 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  $q = \frac{Q_{зг}}{m}$ : а) «питома

теплота згорання прямо пропорційна кількості теплоти, що виділяється, й 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'ЯЗУВАТИ 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:	СІ
$m = 40 \text{ кг}$	
$t_0 = 10^\circ \text{C}$	
$t = 60^\circ \text{C}$	
$c = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ \text{C}}$	
$q = 25 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	
$Q - ?$	
$m_{\text{води}} - ?$	

**Розв'язання:**  
Унаслідок згорання палива виділяється кількість теплоти:

$$Q_{зг} = qm,$$

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

$$= 1000 \cdot 10^6 \text{ Дж} = 10^9 \text{ Дж}.$$

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

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

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:

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

Враховуючи, 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:

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

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

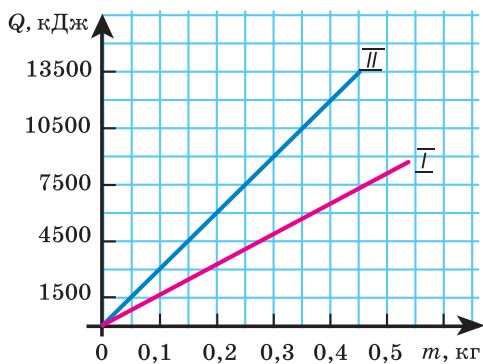
$$m_2 = \frac{4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ \text{C}} \cdot 0,5 \text{ кг} \cdot 60^\circ \text{C}}{0,6 \cdot 26 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}} \approx 0,008 \text{ кг}.$$

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

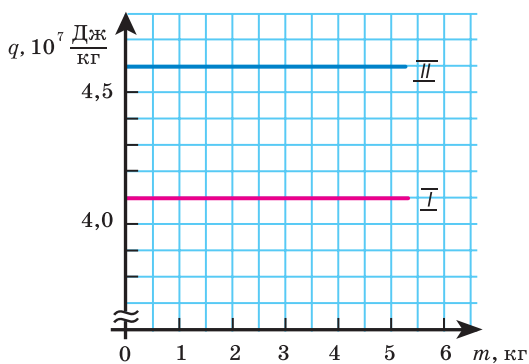


## Вправа 5

1. Яку масу води, узяті за температури  $10^\circ \text{C}$ , можна нагріти до  $50^\circ \text{C}$ , спаливши  $30 \text{ г}$  спирту, якщо вважати, що вся теплота, що виділяється під час згорання спирту, піде на нагрівання води?
2. На скільки більше теплоти виділяється в результаті повного згорання бензину масою  $7 \text{ кг}$  порівняно із 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  $8 \text{ кг}$ ? Час горіння вважайте однаковим.
- 4\*. Яка кількість теплоти виділяється внаслідок повного згорання пальної суміші, що складається з бензину об'ємом  $2 \text{ л}$  і спирту об'ємом  $1,5 \text{ л}$ ? Яким має бути відношення маси бензину до маси спирту, щоб питома теплота згорання цієї суміші становила  $42 \text{ МДж/кг}$ ?



Мал. 66. До завдання 6



Мал. 67. До завдання 7

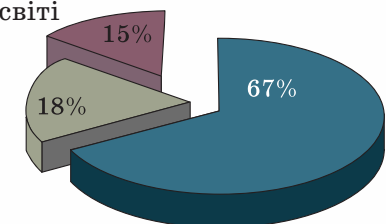
5. Унаслідок згорання палива масою 5 кг виділилось 210 МДж теплоти. Що це за паливо?
6. На малюнку 66 зображено графіки залежності кількості теплоти, що виділяється внаслідок згорання двох видів палива (I і II), від їхньої маси. Визначте питому теплоту згорання кожного з видів палива. У скільки разів кількість теплоти, що виділяється внаслідок згорання 0,3 кг палива I, менша від кількості теплоти, що виділяється внаслідок згорання 0,3 кг палива II?
7. Використовуючи графіки (мал. 67) 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 гас масою 100 г, якщо вважати, що теплота, яка виділяється в результаті згорання, повністю піде на нагрівання води?
9. Скільки енергії виділилось під час горіння спиртівки, якщо вода масою 100 г нагрілась від 30 до 80 °С, а теплота, затрачена на нагрівання води, становить 20 % тієї теплоти, що виділилась?
- 10\*. Сталева пилка масою 3 кг під час роботи протягом 5 хв нагрілась на 100 °С. Вважаючи, що на нагрівання пилки пішло 60 % усієї енергії, визначте виконану роботу та корисну потужність, що розвивається при цьому.



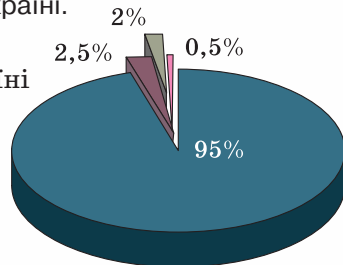
# Фізика Навколо нас

У всьому світі понад 80 % теплової та електричної енергії одержують, спалюючи природне органічне паливо та перетворюючи його хімічну енергію на електричну й теплову. Найпоширенішими видами пального є нафта, кам'яне вугілля та природний газ. На малюнку показано співвідношення запасів цих видів пального у світі та в Україні.

У світі



В Україні

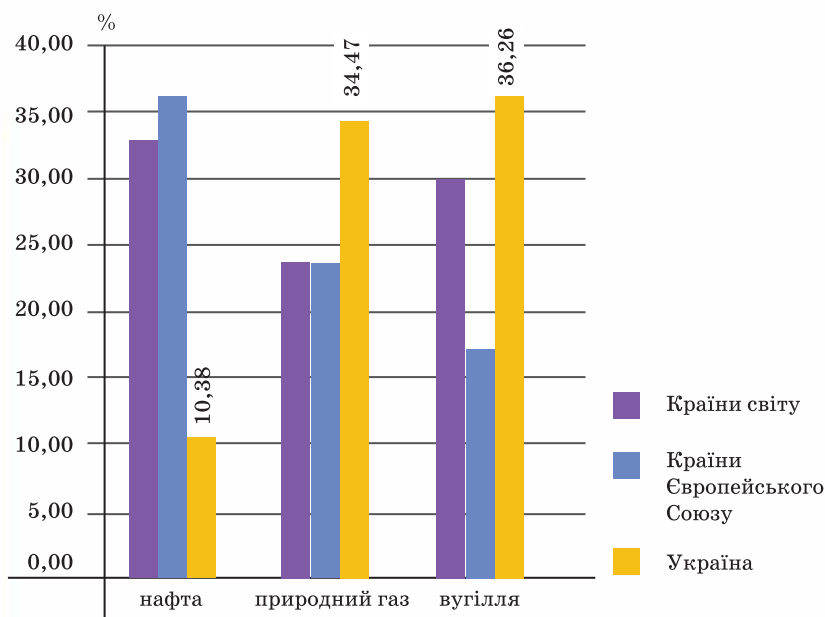


■ вугілля ■ нафта ■ природний газ

■ вугілля ■ природний газ  
■ нафта ■ інші види

Унаслідок інтенсивного використання невідновлюваних паливно-енергетичних ресурсів планети у ХХ ст. їх запаси значно зменшилися. Адже корисні копалини утворюються природою впродовж віків, а витрачаються практично миттєво. Їх запаси не безмежні й вимагають раціонального використання. Для економік багатьох країн світу постає проблема енергетичної кризи, оскільки практично всі галузі промисловості залежать від енергії, що отримується внаслідок згорання палива.

Це безпосередньо стосується й енергетики України. Щоб пересвідчитись у цьому, достатньо проаналізувати загальні дані споживання основних видів органічного палива країнами світу й Україною.







Нафту, природний газ і вугілля спалюють у таких кількостях, що продукти їх згорання (шкідливі й токсичні газові викиди та аерозолі) змінюють склад повітря, забруднюють воду та ґрунти. В атмосферу щорічно викидаються десятки мільярдів тонн шкідливих речовин. Серед них: парникові гази (вуглекислий газ ( $\text{CO}_2$ ), метан), надмірна концентрація яких, на думку деяких учених, призводить до збільшення середньої температури на поверхні Землі; оксид вуглецю  $\text{CO}$ , що в побуті називають чадним газом і який є дуже токсичним; сажові частинки, що згубно діють на дихальні органи людини й спричиняють онкологічні захворювання.

Протягом мільйонів років існувала природна рівновага вмісту  $\text{CO}_2$  в атмосфері. Молекули  $\text{CO}_2$  добре пропускають сонячне випромінювання, що надходить із космосу, але поглинають теплове випромінювання, що йде від поверхні Землі. Це, на думку деяких учених, і є причиною поступового підвищення температури атмосфери. Зниження концентрації  $\text{CO}_2$  призводить до зниження середньорічної температури планети: якби в атмосфері зовсім не було  $\text{CO}_2$ , уся поверхня Землі вкрилася б кригою, а середньорічна температура не перевищувала б рівня  $6\text{--}10\text{ }^\circ\text{C}$ . Відповідно збільшення вмісту  $\text{CO}_2$  зумовить підвищення температури.



У той же час інші продукти згорання — пил, зола, сажа, токсичні речовини (свинець, ртуть, кадмій) — розсіюють сонячне світло, тому значна його частина не досягає поверхні Землі, що призводить до зниження температури. У результаті відбуваються коливання температури земної атмосфери.

Іншими шкідливими продуктами згорання є: *діоксид сірки, або сірчистий ангідрид*  $\text{SO}_2$ , — один із найтоксичніших газів, який впливає на окиснювання, руйнує матеріали, завдає шкоди здоров'ю людини; *оксиди азоту* ( $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}$ ,  $\text{N}_2\text{O}_3$ ,

$\text{NO}_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}_4$  і  $\text{N}_2\text{O}_5$ ) й озон  $\text{O}_3$ , які шкідливо впливають на здоров'я людини, зумовлюють утворення «парникового ефекту» й руйнацію озонового шару, спричиняють «вимирання» лісів і «кислотні дощі».

Величезного екологічного та економічного лиха завдають пожежі.



## § 16

# Перетворення енергії в теплових процесах

## Ви дізнаєтесь

■ Що таке тепла машина

## Пригадайте

■ Приклади перетворення механічної енергії

### Перетворення енергії в теплових процесах.

Здавня 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.

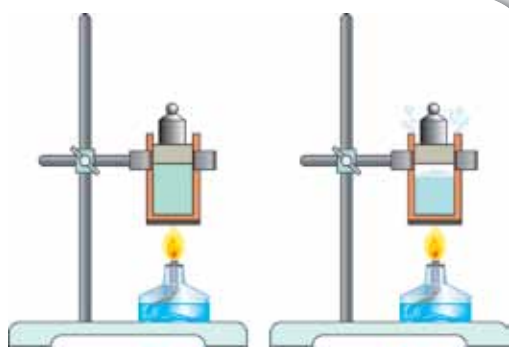
Пригадаймо, що нам відомо про перетворення енергії. Вивчаючи механічні явища в 7 класі, ви переконалися, що кінетична енергія тіла може перетворюватися в його потенціальну енергію й навпаки. Отже, якщо тіла взаємодіють в ізольованій системі, то їхня повна механічна енергія зберігається:  $E_k + E_p = \text{const}$ .

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, із 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. 68, а). З підвищенням температури газу



а

б

Мал. 68. Виконання механічної роботи за рахунок зміни внутрішньої енергії:  
а — газу; б — водяної пари

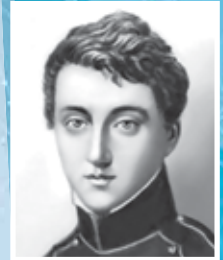
поршень почне поступово рухатися вгору, оскільки внаслідок нагрівання газ розширюється. Отже, під час теплообміну газ виконує механічну роботу, піднімаючи вантаж на певну висоту. Якщо нагрівання газу припинити, то завдяки теплообміну з навколишнім середовищем його температура й об'єм зменшуватимуться, а поршень почне рухатися вниз.

Як «робоче тіло» може бути використана і звичайна вода (мал. 68, б). Унаслідок нагрівання вода закипає, 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, за рахунок якої виконується механічна робота.

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

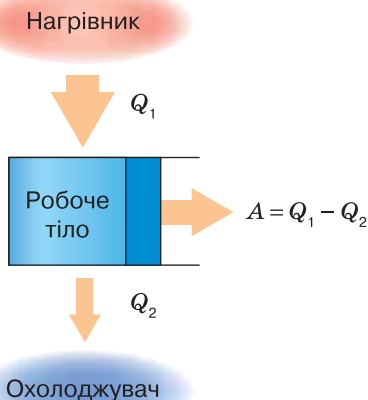
**Теплова машина** — пристрій для перетворення внутрішньої енергії в механічну.

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 й пари бензину в двигунах внутрішнього згорання), і охолоджувача (яким часто є навколишнє повітря) (мал. 69).



**Саді Карно  
(1796–1832)**

Французький учений, який уперше визначив максимальний ККД теплової машини



Мал. 69. Принцип дії теплової машини



**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 ще називають законом збереження енергії в теплових процесах.



У природі неможливий процес, єдиним результатом якого є виконання механічної роботи лише за рахунок охолодження 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 і повністю передавала її у формі роботи іншому тілу. Отже, для теплових машин (як і для механічних) існує поняття корисної й затраченої енергії. І кожна теплова машина характеризується коефіцієнтом корисної дії (ККД), який визначає її спроможність перетворювати теплову енергію в механічну роботу.

**Затраченою енергією** є кількість теплоти, яка надається нагрівнику  $Q_1$ .

**Корисною енергією** є механічна робота, виконана тепловою машиною  $A$ . За законом збереження енергії ця енергія дорівнює різниці кількості теплоти  $Q_1$ , яку надає нагрівник робочому тілу, і кількості теплоти  $Q_2$ , яку віддає робоче тіло охолоджувачу:  $A = Q_1 - Q_2$ .

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.

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

## Підбиваємо підсумки

Дія всіх теплових машин (двигуни внутрішнього згорання, парові й газові турбіни, дизельні й турбореактивні двигуни) ґрунтується на перетворенні теплової енергії в механічну завдяки виконанню роботи.

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), й охолоджувача (яким часто є навколишнє повітря).

У природі неможливий процес, єдиним результатом якого є виконання механічної роботи лише за рахунок охолодження джерела теплової енергії без нагрівання навколишніх тіл.

Кожна теплова машина характеризується коефіцієнтом корисної дії (ККД), який визначає її спроможність перетворювати теплову енергію в механічну роботу:

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

### Я знаю, вмію й 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? Чому не можна створити вічний двигун?
5. 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?
3. Поясніть, які перетворення енергії відбуваються під час пострілу з гармати.



## ВЧИМОСЯ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ЗАДАЧІ

### Задача 1

Для забезпечення роботи парової турбіни використовується дизельне паливо масою  $0,35$  кг на  $1$  кВт·год роботи. Обчисліть ККД турбіни.

<b>Дано:</b> $m = 0,35$ кг $Nt = 1$ кВт·год $\eta = ?$	<b>СІ</b> $3,6 \cdot 10^6$ Дж	<b>Розв'язання:</b> 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:  $Q = mq$ .

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

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:**  $\eta = 0,24$ .

### Задача 2

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 —  $25\%$ .

<b>Дано:</b> $V = 10$ л $s = 100$ км $v = 90$ км/год $\eta = 25\%$ $N = ?$	<b>СІ</b> $10 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ $1 \cdot 10^5 \text{ м}$ $25 \text{ м/с}$ $0,25$	<b>Розв'язання:</b> 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:  $m = \rho V$ .

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

Із таблиць записуємо значення питомої теплоти згорання бензину  $46$  МДж/кг та його густину  $760$  кг/м<sup>3</sup>.



Формула для ККД набуває вигляду:

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

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:  $N \approx 22$  кВт.



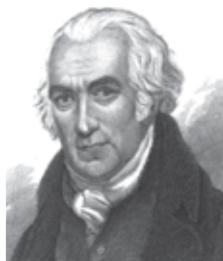
## Вправа 6

1. Визначте ККД теплової машини, яка для виконання корисної роботи 250 МДж витрачає 0,85 ГДж енергії.
2. Двигун теплової машини виконав корисну роботу, що дорівнює  $2,6 \cdot 10^8$  Дж. Визначте енергію, витрачену двигуном, якщо ККД двигуна 27 %.
3. Двигун теплової машини виконав корисну роботу, що дорівнює  $3,6 \cdot 10^8$  Дж, і використав при цьому 40 кг кам'яного вугілля. Обчисліть ККД цього двигуна.
4. Двигун теплової машини потужністю 36 кВт за годину роботи витратив 14 кг гасу. Визначте ККД двигуна.
5. Тепловий двигун отримує від нагрівника щосекунди 14 200 кДж теплоти і віддає холодильнику 12 800 кДж. Який ККД має двигун?
6. Для роботи турбіни, яка розвиває потужність 100 000 кВт, за добу спалюється в топках парових котлів 960 т кам'яного вугілля. Визначте ККД паротурбінної установки.
7. Яку масу бензину витрачає за годину двигун мотоцикла, що розвиває потужність 6 кВт, якщо його ККД дорівнює 15 %?
8. Який ККД тракторного двигуна, якщо витрати дизельного пального становлять 216 г на кіловат за годину?
- 9\*. 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 %.



## Фізика Навколо нас

# ІЗ ІСТОРІЇ ВІНАЙДЕННЯ ТЕПЛОВИХ МАШИН

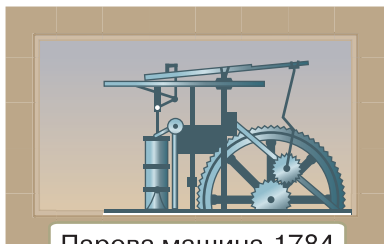


**Джеймс Ватт  
(1736–1819)**

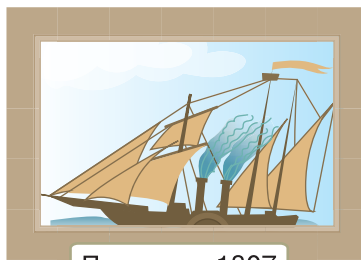
Англійський винахідник, який отримав патент на пристрій, що давав змогу використовувати енергію пари в промисловості

Перша тепла машина — це винахід англійця Джеймса Ватта, котрий у 1784 р. створив паровий двигун, що тривалий час приводив у рух паровози та пароплави й навіть перші автомобілі та літаки.

Промислова революція XVII–XVIII ст., яку часто називають епохою великих відкриттів, докорінно змінила життя на нашій планеті. Головним наслідком цього стало остаточне падіння феодалізму і зміцнення капіталістичних виробничих відносин. Парова машина Джеймса Ватта, як кажуть, «розкрутила колесо історії» до небувалих обертів. В Англії, а потім і в континентальній Європі та Північній Америці почали використовувати теплову енергію для надання руху заводським механічним агрегатам. З'явилися перші теплові машини-двигуни, швидко розповсюдилися парові машини. Наступним етапом технічної революції стало створення двигунів внутрішнього згорання, парових, газових і парогазових стаціонарних турбін, авіаційних і транспортних газових турбін, реактивних і ракетних двигунів. Але все це буде набагато пізніше. А XVIII ст. називають «золотим століттям водяної пари і заліза». Поряд із розвитком практичної теплотехніки розвиваються її теоретичні основи — теорія теплових двигунів, або, як тепер її називають, технічна термодинаміка. Уже в XIX ст. на основі спостережень за тепловими явищами й роботою теплових машин Джеймс Джоуль, Юліус Роберт фон Майєр, Герман фон Гельмгольц, Саді Карно, Рудольф Клаузіус встановили перший і другий закони термодинаміки, що лягли в основу цієї фундаментальної дисципліни, яка вивчає взаємне перетворення теплової та механічної енергії.



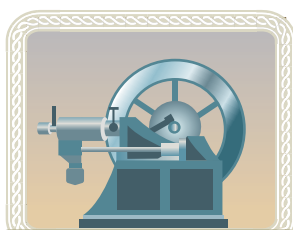
Парова машина, 1784



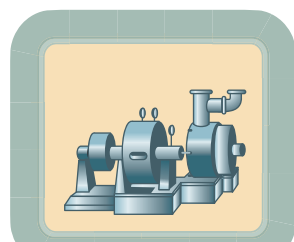
Пароплав, 1807



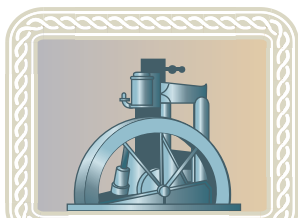
Паровоз, 1814



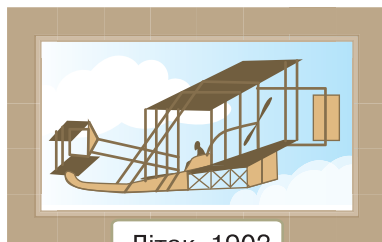
Двигун внутрішнього згорання, 1878



Парова турбіна, 1887



Дизельний двигун, 1897



Літак, 1903

Однак навіть швидке зростання кількості парових машин та їх безупинна модернізація вже наприкінці XIX ст. були не в змозі задовольнити потреби економіки в енергетичних потужностях. Очевидними стали відомі недоліки перших парових машин: низький ККД, велика витрата палива, передача механічної енергії від машин до верстатів через складні й ненадійні системи, несприятливі екологічні наслідки. Атмосфера міст із тисячами заводських димарів стала майже непридатною для повсякденного перебування людей. Але з кризових явищ завжди є вихід: у 1831 р. відкрито спосіб перетворення механічної енергії в електричну. Починається нова ера — ера електрики. Про властивості електричної енергії ви дізнаєтесь із наступного розділу нашого підручника.



## § 17

## Теплові двигуни

## Ви дізнаєтесь

■ Про різні види теплових двигунів

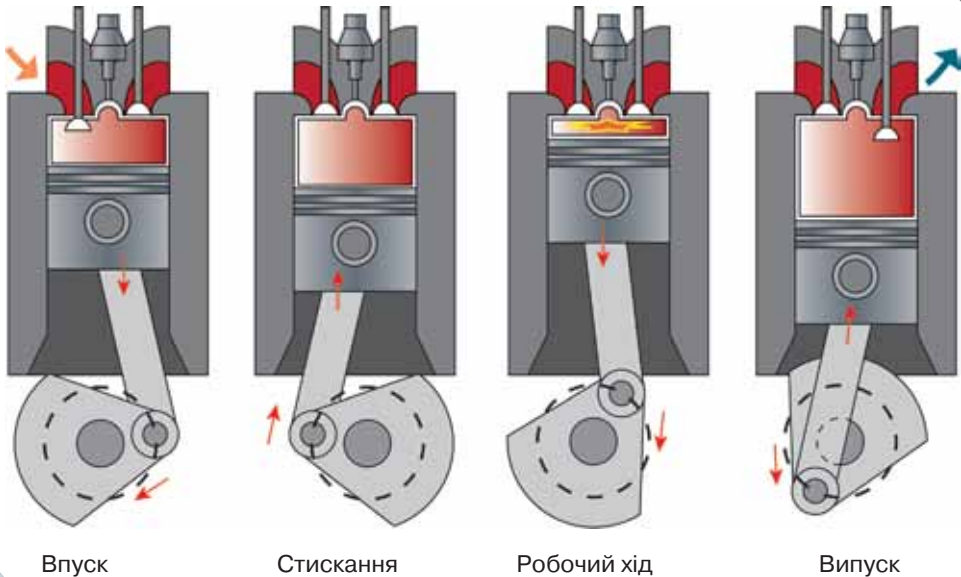
## Пригадайте

■ Принцип дії теплової машини

**Двигуни внутрішнього згорання.** До теплових машин належать двигуни внутрішнього згорання, парові й газові турбіни, дизельні й турбореактивні двигуни та інші. 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. 70). Основним елементом двигуна є циліндр із поршнем, де відбувається згорання палива. (Як правило, їх кілька. Тому кажуть про дво-, чотири- чи восьмициліндрові двигуни).

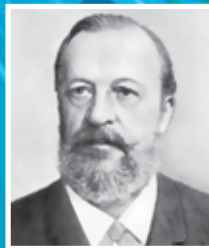


Мал. 70. Схема роботи чотиритактного ДВЗ

Циліндр має два отвори з клапанами — впускним і впускним. Робота ДВЗ ґрунтується на чотирьох послідовних процесах — тактах, які весь час повторюються (мал. 70).

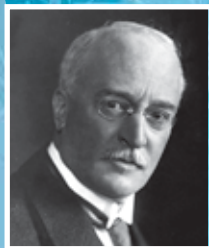
**Перший такт** — це впуск пальної суміші, що здійснюється через впускний клапан, коли поршень рухається вниз. Після того як поршень досягне нижньої точки, всмоктування палива припиняється. Обидва клапани закриті. Під час **другого такту**, коли поршень рухається вгору, відбувається стиснення суміші, 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 й 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 й одночасно охолоджується. Після проходження поршнем нижньої точки відкривається впускний клапан і під час руху поршня вгору відбувається **четвертий такт** — впуск 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. 71). У своєму житті ви обов'язково матимете змогу користуватись технікою, що працює за допомогою двигуна внутрішнього згорання.



**Ніколаус Август Отто**  
(1832–1891)

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

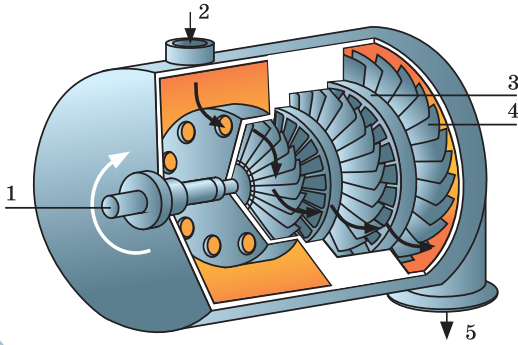


**Рудольф Дізель**  
(1858–1913)

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



*Мал. 71.*  
Застосування  
двигунів  
внутрішнього  
згорання



Мал. 72. Схема дії парової турбіни

Вивчити конструктивні особливості, переваги і недоліки таких двигунів ви можете вже сьогодні.

**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.

Схему дії парової турбіни наведено на малюнку 72. На вал 1 насаджено декілька дисків 3 із лопатками 4. Струмені пари, що надходять через сопло 2, послідовно зіштовхуються із лопатками всіх дисків, тиснуть на них і надають турбіні швидкого обертального руху. Відпрацьована пара виходить з отвору 5.

### Підбиваємо підсумки

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

### Я знаю, вмію й розумію

1. Які види двигунів внутрішнього згорання ви знаєте?
2. Назвіть процеси, що відбуваються в чотиритактному ДВЗ.
3. Які бувають турбіни? Що покладено в основу дії парової турбіни? Де використовують турбіни?



### ПОЯСНІТЬ

1. У потужних двигунах внутрішнього згорання використовують водяне охолодження, а не повітряне. Чому?

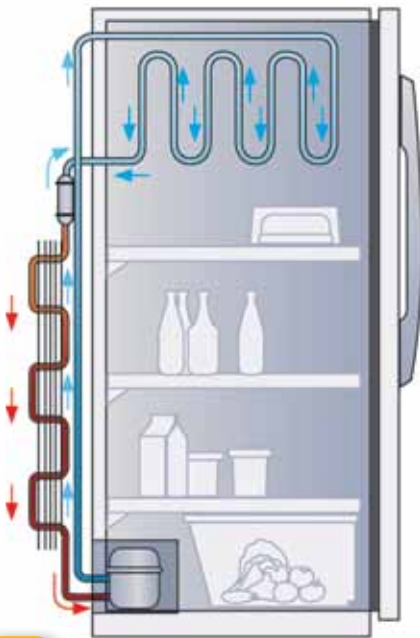




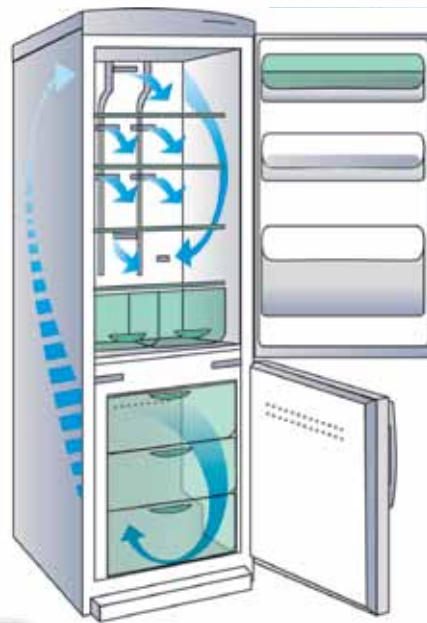
# ХОЛОДИЛЬНІ МАШИНИ

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. Проте всі ви користуєтеся 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 за рахунок витрат енергії третього тіла, тобто виконання ним роботи. На відміну від інших теплових машин, які виконують роботу за рахунок внутрішньої енергії палива, у холодильних машинах внутрішня енергія тіла, що охолоджується, зменшується за рахунок виконання роботи іншим тілом.



а



б

Побутові холодильники: а — фреоновий; б — із системою «No frost»

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



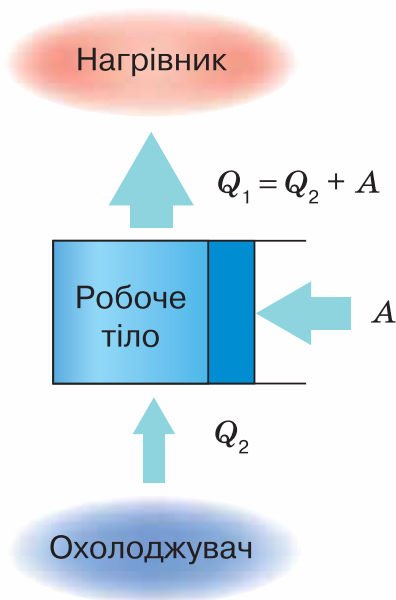
Можна вважати, що холодильна машина працює за принципом, «оберненим» до принципу дії теплової машини. Робоче тіло холодильної машини забирає теплоту  $Q_2$  від охолоджувача й передає теплоту  $Q_1$  нагрівнику, яким слугує навколишнє середовище. При цьому має місце співвідношення:  $Q_1 = Q_2 + A$ ,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

Дія побутового холодильника заснована на властивості рідин при їх кипінні (випаровуванні) поглинати теплоту й віддавати її при конденсації (перетворенні пари знову в рідину). Подібне явище можна спостерігати, якщо протерти руки одеколоном. Рідина швидко випаровується, і при цьому зменшується її внутрішня енергія — відчувається прохолода.

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



Принцип дії холодильної машини

Сьогодні широко використовуються холодильники нового покоління із системою «Без інею» («No frost»), яка запобігає утворенню інею на внутрішніх робочих поверхнях і за якої 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 та по спеціальних повітряних каналах подається в морозильну та холодильну камери.

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

Холодильні машини широко застосовуються у промисловості та побуті. Продукти харчування зберігають у побутових холодильниках і холодильних камерах. Для збереження та транспортування м'ясних і рибних продуктів використовують авторефрижератори, залізничні вагони-рефрижератори та кораблі-рефрижератори.



а



б



Холодильні установки: а) промисловий холодильник;  
б) залізничний та автомобільний рефрижератори





## Перевірте себе (§ 11–17)



### Рівень А (початковий)

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

### Рівень В (середній)

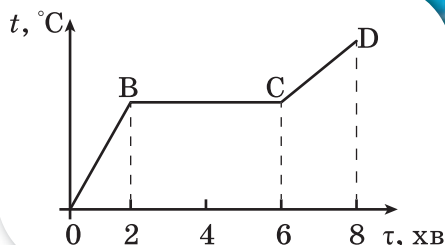
- За один цикл тепловий двигун виконав роботу, що дорівнює 5 МДж, віддавши при цьому в навколишнє середовище 700 кДж теплоти. Скільки теплоти отримав двигун на початку циклу?
  - А 6,95 МДж
  - Б 5,7 МДж
  - В 705 кДж
  - Г 570 кДж

2. Скільки часу триває плавлення твердої кристалічної речовини, яка має графік залежності температури від часу, що зображений на малюнку 73?

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 °С?

А 4,6 МДж  
 Б 46 МДж  
 В 23 000 кДж  
 Г 46 кДж



Мал. 73. Графік залежності температури від часу

### Рівень С (достатній)

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

1) збільшенням кількості молекул, що мають енергію, потрібну для виходу з рідини;  
 2) послабленням сил взаємодії між молекулами.

Виберіть правильні твердження.

А тільки причиною 1  
 Б тільки причиною 2  
 В причинами 1 і 2  
 Г жодною із вказаних причин

2. У калориметрі міститься вода масою 1 кг, за температури 30 °С. У калориметр вміщають лід за температури 0 °С. Якою повинна бути маса льоду, щоб він весь розтанув?
3. Яку кількість теплоти потрібно затратити, щоб 2 кг води за температури 30 °С нагріти до кипіння та 200 г випарувати?

### Рівень D (високий)

1. Унаслідок нагрівання на газовій плиті 10 л води від 20 °С згоріло 125 г природного газу. На скільки змінилась температура води, якщо ККД плити 0,4?
2. Автомобіль проїхав 100 км і витратив 6 л бензину. Якою є сила тяги двигуна автомобіля, якщо його ККД — 26 %?




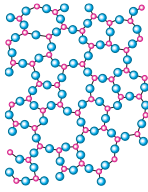

## Підсумки до розділу «Теплові явища»

Після вивчення розділу «Теплові явища» 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 запитань 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.

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 із 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
Характер теплового руху	Дальній порядок — упорядковане розташування в усьому об'ємі		Ближній порядок — упорядковане розташування тільки між сусідніми молекулами	
	Молекули коливаються відносно деяких сталих положень			Можуть здійснювати поступальні рухи



Продовження таблиці

Фізичні характеристики	Агрегатні стани речовини			
	Тверді тіла		Рідини	Гази
	Кристалічні	Аморфні		
<b>Характер взаємодії молекул</b>	Діють міжмолекулярні сили притягання й відштовхування			Молекули слабо взаємодіють між собою
<b>Форма й об'єм</b>	Мають задану форму й об'єм		Зберігає об'єм, але не тримає форму. Має вільну поверхню	Не зберігають ані форми, ані об'єму. Легко стискаються (або розширюються)
	<p><i>Рідкі кристали</i> — це речовини, для яких характерне особливе розташування молекул: у двох напрямках для молекул характерним є ближній порядок, а в одному — існує певна впорядкованість.</p> <p><i>Плазма</i> — різновид газоподібного стану. Складається з йонів та окремих електронів</p>			
<b>Внутрішня енергія</b>	Визначається середнім значенням потенціальної енергії взаємодії молекул (атомів)		Визначається сумою середніх значень кінетичної і потенціальної енергії руху й взаємодії молекул (атомів)	Визначається середнім значенням кінетичної енергії руху молекул (атомів)
<b>Теплопровідність</b>	Найкращу теплопровідність мають метали, найгіршу — пористі матеріали			Практично не проводять тепло
<b>Залежність властивостей від температури</b>	При нагріванні (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 дійсно 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)	$T = t + 273,15$
Внутрішня енергія	Енергія руху та взаємодії частинок, з яких складається речовина	$U$	Дж (джоуль)	—
Кількість теплоти	Частина внутрішньої енергії, яку дістає чи втрачає тіло при теплообміні	$Q$	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 $1^{\circ}\text{C}$	$c$	$\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}}$	$c = \frac{Q}{m(t - t_0)}$
Питома теплота плавлення	Фізична величина, що показує яка кількість теплоти необхідна для переходу 1 кг речовини із твердого стану в рідкий за температури плавлення	$\lambda$	$\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	$\lambda = \frac{Q_{\text{пл}}}{m}$
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 $r$ )	$\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	$L = \frac{Q_{\text{вип}}}{m}$

Продовження таблиці

Назва фізичної величини	Визначення	Символ для позначення	Прилад для вимірювання / одиниця	Формула для визначення
<b>Питома теплота згорання</b>	Фізична величина, що показує, яка кількість теплоти виділяється в результаті повного згорання палива масою 1 кг	$q$	$\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	$q = \frac{Q_{\text{зг}}}{m}$
<b>Коефіцієнт корисної дії нагрівника</b>	Характеризує ефективність використання теплоти і дорівнює відношенню кількості теплоти, що використовується на нагрівання, до кількості теплоти, отриманої внаслідок згорання палива	$\eta$	%	$\eta = \frac{Q}{Q_{\text{зг}}} \cdot 100\%$
<b>Коефіцієнт корисної дії теплової машини</b>	Характеризує ефективність перетворення енергії й дорівнює відношенню виконаної роботи $A$ до наданої кількості теплоти $Q_1$	$\eta$	%	$\eta = \frac{A}{Q_1} \cdot 100\%$

3. Ви знаєте, що внутрішня енергія передається двома способами, і можете пояснити особливості механізмів теплообміну.

### Способи зміни внутрішньої енергії

#### Виконання роботи

- Якщо над тілом виконується робота, то його внутрішня енергія збільшується
- Якщо тіло виконує роботу, то його внутрішня енергія зменшується

#### Теплообмін

- Енергія завжди передається від тіла з більшою температурою до тіла з меншою температурою
- Якщо температури тіл є рівними, то теплообмін не відбувається

#### Теплопровідність

Енергія передається через речовину, але без її перенесення

#### Конвекція

Енергія передається потоками рідини або газу

#### Випромінювання

Енергія передається електромагнітними хвилями



4. Ви можете виміряти кількість переданої або отриманої під час теплообміну енергії 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.

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

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.

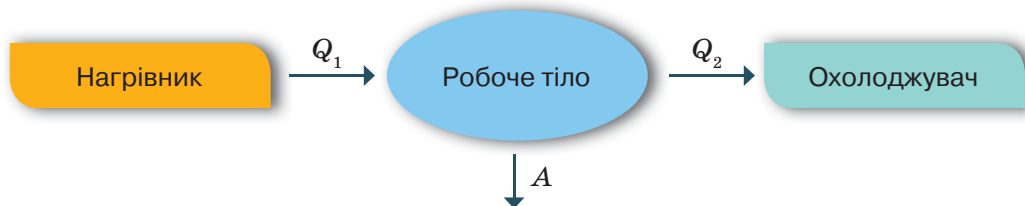
У природі неможливий процес, єдиним результатом якого є виконання механічної роботи лише за рахунок охолодження джерела теплової енергії без нагрівання навколишніх тіл.

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 енергозберезувальних 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

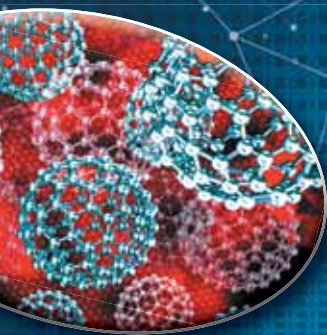


ККД теплової машини дорівнює відношенню виконаної роботи  $A$  до наданої кількості теплоти  $Q_1$ :  $\text{ККД} = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}$ .

## 6. Ви можете оцінити роль видатних учених у розвитку знань про теплоту.

### Із історії дослідження теплових явищ

	<p>Філософи давнини мали дві точки зору щодо природи теплоти:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Теорія теплороду, де теплоту пов'язували із природними стихіями (вогнем, водою, повітрям і землею), з яких утворені всі тіла.</li> <li>2. В інших дослідженнях теплоту пов'язували з атомістичним ученням про будову речовини (згодом ці дослідження стали підґрунтям термодинамічної теорії)</li> </ol>
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 за рахунок механічної роботи, 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; заклав 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 Майєр 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 та польський учений Маріан Смулховський дали найбільш повне пояснення броунівського руху
1897 р.	Німецький інженер Рудольф Дізель побудував двигун внутрішнього згорання з попереднім стисненням повітря і самозайманням палива

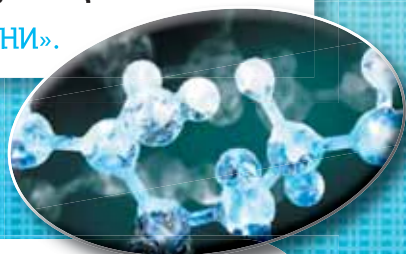


## ВИКОНЦЕМО НАВЧАЛЬНІ ПРОЕКТИ

- ◆ Чи замислювались 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 проект**

**«ШТУЧНІ ТА ПРИРОДНІ РЕЧОВИНИ».**



- ◆ А чи знаєте ви, що таке рідкі кристали? Полімери? Наноматеріали?
- ◆ У яких сучасних пристроях вони використовуються?
- ◆ Як пов'язані між собою наноматеріали та інформаційні технології?

**Дослідіть це, виконуючи проекти «РІДКІ КРИСТАЛИ», «ПОЛІМЕРИ», «НАНОМАТЕРІАЛИ», та поділіться своїми результатами із друзями.**

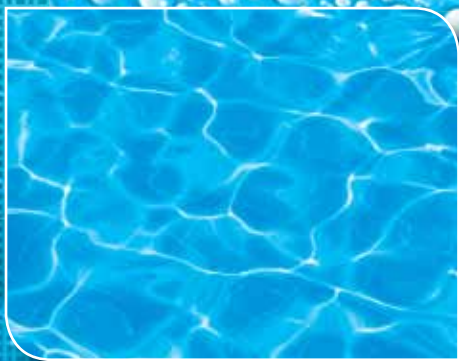






- ◆ Вивчаючи теплове розширення тіл, ви дізналися, що вода має аномальні властивості.
- ◆ А чи існують інші унікальні властивості води?

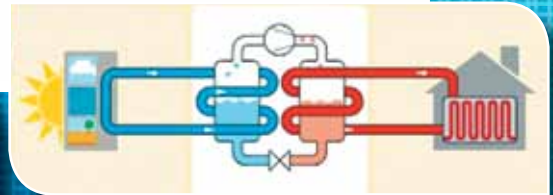
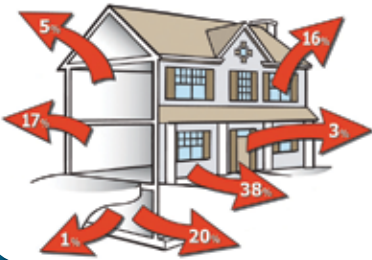
**Дізнайтеся про це,  
виконуючи проект «УНІКАЛЬНІ ВЛАСТИВОСТІ ВОДИ».**





- ◆ 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 проекти**  
**«ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ», «ТЕПЛОВІ НАСОСИ»,**  
**«ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ»**



## ПРОЯВЛЯЄМО КОМПЕТЕНТНІСТЬ



Уважно розгляньте інтер'єр та обладнання вашої кухні. Вивчивши розділ *Теплові явища*, 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 риба не замерзає у продовольчих магазинах, коли її кладуть у крихти льоду?
4. Улітку, щоб приготувати прохолодний 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 від  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ?
5. У якій посудині швидше схолоне гарячий чай: у вузькій і високій чи низькій і широкій? 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 слід робити.
8. Перед закипанням чайник гуде. Як пояснити це явище?
9. У каstrулях-скороварках вода кипить за температури  $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Яка конструкція таких каstrул?
10. Як готують «льодяники» із цукру?





Готуючись до уроків, для пошуку потрібної інформації ви неодноразово користувались науково-популярними журналами й Інтернетом. Припустимо, 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 працює всього 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 сполуки свинцю, ртуті та 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 за рахунок переробки твердих побутових відходів виробляється понад 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 у 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 їх утилізації. Таким чином, утилізація твердих побутових відходів, з одного боку, є проблемою, а з іншого — створює для нашої країни значні інвестиційні перспективи та економічні заощадження.



## ПРОЯВЛЯЄМО КОМПЕТЕНТНІСТЬ



**Висловіть власні судження, відповідаючи на такі запитання:**

1. Чи відповідає заголовок тексту змісту матеріалу?
2. Який висновок робить автор щодо проблеми твердих побутових відходів? Які аргументи він наводить на підтвердження своєї думки?
3. Що, на вашу думку, перспективніше: продавати ТПВ чи будувати в Україні сучасні підприємства з виробництва енергії з ТПВ? Відповідь обґрунтуйте.
4. Що можете зробити для вирішення проблеми твердих побутових відходів ви особисто? Ваші батьки? Фахівці у цій галузі?



# 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, електролампи, електродвигуни, електронна техніка, комп'ютери, мобільний та 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 її вперше було відкрито.

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 дозволять вам не лише пояснювати електричні явища, а й застосовувати їх у практичній і майбутній професійній діяльності.



## § 18

# Взаємодія заряджених тіл

## Ви дізнаєтесь

- Що таке електризація
- Як взаємодіють заряджені тіла

## Пригадайте

- Що вам відомо з курсу природознавства про електричні явища

**Електричні явища.** Електричні явища і процеси були відомі людству ще з давніх часів. Блискавка, полярне сяйво, дивні світіння біля наконечників списів та загострених частин щогл кораблів під час негоди, притягування бурштином, потертим об хутро, дрібних шматочків папірців, пір'їн — усі ці речі здавались дивними й незрозумілими. Щоб зрозуміти й пояснити природу електричних явищ, учені різних країн висловили чимало припущень (багато з них виявилися хибними), провели безліч дослідів, затратили 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 дослідити й пояснити 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 й порівняння, бути самостійними дослідниками.

Розпочнемо вивчення електричних явищ із найпростіших випадків їх прояву.

**Електризація.** Виконаємо такі досліді. Візьмемо паличку з ебоніту (ебоніт — твердий матеріал із каучуку



а



б



в



г

з великими домішками сірки), покладемо її на дрібні клаптики паперу. Піднімаючи паличку, бачимо, що вона не притягує паперових клаптиків (мал. 74, а).

Змінимо умови досліду: потremo паличку об клапоть вовняної тканини (мал. 74, б) і знову наблизимо її до папірців. Бачимо, що папірці притягуються до палички й прилипають до неї (мал. 74, в). Якщо піднести до папірців клапоть вовняної тканини (після тертя об паличку), то вона також їх притягатиме (мал. 74, г).

Які висновки можна зробити?

Ебонітова паличка й клапоть 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 й 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. 75). 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.

Мал. 74. Дослід із взаємодії заряджених тіл



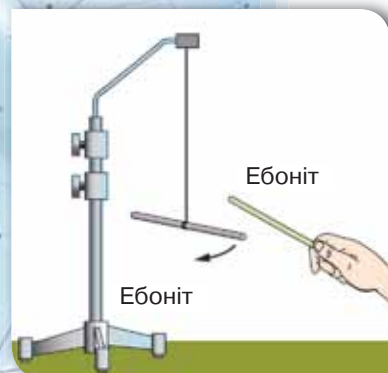
Мал. 75. Прояви електризації



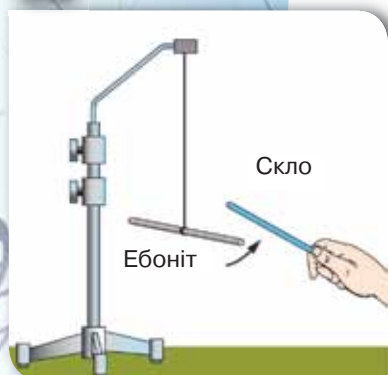
**Електричний заряд.** Щоб порівнювати й досліджувати подібні електричні явища, необхідна фізична величина, яка є їхньою характеристикою. Така величина називається *електричний заряд*.



**Електричний заряд** — це фізична величина, що кількісно характеризує електромагнітну<sup>1</sup> взаємодію.



а



б

Мал. 76. Електромагнітна взаємодія:  
а — відштовхування;  
б — притягання

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. Натremo об клапоть вовняної тканини дві ебонітові палички. Одну із них підвісимо на шовковій нитці. Якщо наблизитимемо другу паличку, то вони будуть відштовхуватись одна від одної (мал. 76, 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. 76, 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 за-

<sup>1</sup> Термін електромагнітна вживається в зв'язку з тим, що електричні та магнітні явища тісно взаємопов'язані. Залежно від того, рухаються чи перебувають у спокої електрично заряджені тіла, розрізняють дві складові цієї взаємодії — *електричну* та *магнітну*.



Мал. 77.  
Знаки зарядів під час електризації:  
а — позитивний на скляній паличці;  
б — негативний на ебонітовій

пісі значень електричного заряду, застосовують відповідні знаки: «+» — для позитивного й «-» — для негативного.

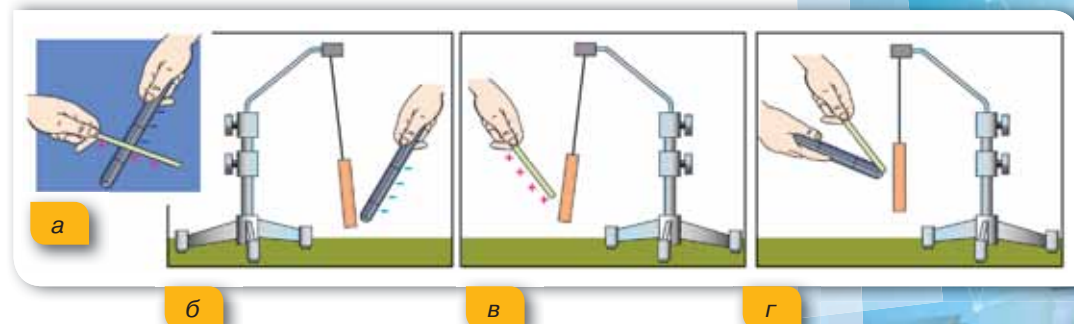
Виконуючи досліди, ми досить часто будемо використовувати скляну та ебонітову палички, тому запам'ятайте: унаслідок електризації скляної палички об шовкову тканину (шкіру) вона набуває позитивного заряду (мал. 77, а), відповідно ебонітова паличка, натерта об вовну (хутро), — негативного заряду (мал. 77, б).

Продовжимо наші досліди. 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 заряди (мал. 78, а). Підносячи їх по черзі до незарядженої гільзи, спостерігаємо її притягання (мал. 78, 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. 78, г).

Які висновки робимо з дослідів?

Унаслідок тертя на тілах, що контактують, утворюються *однакові за величиною, але протилежні за знаком електричні заряди*.



Мал. 78. Взаємодія заряджених і незаряджених тіл

*Однакові за величиною, але протилежні за знаком електричні заряди компенсують (нейтралізують) один одного.*

### Підбиваємо підсумки

Ознакою взаємодії заряджених тіл є те, що однойменно заряджені тіла відштовхуються з певною силою, а різнойменно заряджені — притягуються.

В електризації завжди беруть участь два тіла. При цьому на тілах, що контактують, утворюються однако-ві 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 й 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?





## 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. 79, а). Вдаючись до фізичного моделювання, структуру атома прийнято схематично зображати так, як показано на малюнку 79, б.

У свою чергу, 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  $p^+$ ).

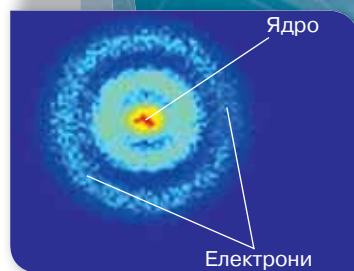
Оскільки електричні заряди протона й електрона є їхніми природними властивостями, то вченим вдалося виміряти їхні значення. Встановлено, що значення елементарного електричного заряду  $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл. Електричний заряд тіла завжди кратний елементарному електричному заряду:  $q = Ne$ , де  $N$  — ціле число.

### Ви дізнаєтесь

- Які електричні властивості мають речовини

### Пригадайте

- Будову атома
- Будову речовини



а



б

Мал. 79. Внутрішня структура атома:  
а — фото атома Гідрогену;  
б — схематичне зображення атома Берилію

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 із 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 у електронів і протонів електричного заряду є їхньою природною властивістю! А в атомі сумарна дія цих зарядів компенсується. Саме тому атом є електрично нейтральним.

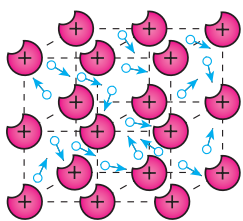
**Ознайомлюємось із провідниками, діелектриками та напівпровідниками.** Оскільки електрично заряджені частинки є складовими будь-яких речовин, із яких виготовлені тіла, то природним буде запитання: як різні речовини проявляють свої електричні властивості?

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 (§ 6), ми вже звертали увагу на особливості внутрішньої будови металів. Пригадуєте? Це наявність вільних електронів, які можуть вільно переміщуватись між вузлами кристалічних ґраток. 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 деякі електрони можуть «покинути» межі атома. При цьому утворюються позитивні йони та електрони, які вільно переміщуються в будь-якому напрямі (мал. 80). 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* (мал. 81) 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 й тіло людини, яке на дві третини складається з рідини.

*Діелектриками*, або ізоляторами, називають речовини, які за певних умов не мають вільних носіїв електричного заряду.



Мал. 80.  
Внутрішня  
структура металу



Мал. 81.  
Практичне  
використання  
металевих  
провідників

До діелектриків належать усі гази за нормальних умов, рідини (гас, спирти, ацетон, дистильована вода та ін.), тверді тіла (скло, пластмаси, сухе дерево, папір, гума тощо) (мал. 82). 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 й 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.



Мал. 82.  
Використання  
діелектриків  
як ізоляторів



Мал. 83.  
Практичне  
використання  
напівпровідників



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, сульфіді, телуриди). Сьогодні напівпровідники використовують у виготовленні сонячних батарей, комп'ютерів, мобільних телефонів (мал. 83, с. 127).

### Підбиваємо підсумки

Носіями однакових за значенням, але протилежних за знаками елементарних електричних зарядів є мікро-частинки 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:  $q = Ne$ , 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.

### Я знаю, вмію й розумію

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?

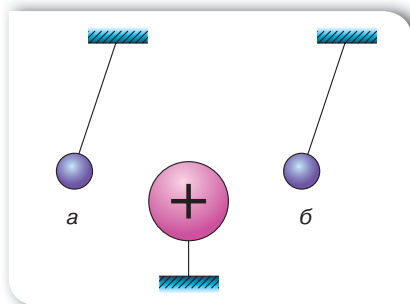

**Вправа 7**

1. Знайдіть у таблиці хімічних елементів атоми Гідрогену, Літію, Натрію, Алюмінію. Яка кількість протонів й електронів міститься в кожному з цих атомів?
2. Накресліть схематичне зображення позитивного йона Літію й атома Літію.
3. Установіть відповідність між схематичним зображенням та назвою частинки речовини (мал. 84):

<b>А</b>		<b>1</b> Позитивний йон Гідрогену
<b>Б</b>		<b>2</b> Атом Гідрогену
<b>В</b>		<b>3</b> Ядро Гідрогену
		<b>4</b> Негативний йон Гідрогену

Мал. 84.  
До завдання 3

4. На малюнку 85 зображено електромагнітну взаємодію однієї великої та двох маленьких металевих кульок. Які заряди мають маленькі кульки, якщо велика куля заряджена позитивно?



Мал. 85.  
До завдання 4

## § 20

## Електричне поле

## Ви дізнаєтесь

- Що таке електричне поле
- Як якісно пояснити електромагнітну взаємодію

## Пригадайте

- Як взаємодіють одноіменно й різноіменно заряджені тіла

**Електричне поле.** Розглянемо ще раз процес притягання клаптиків паперу до наелектризованої палички, описаний у § 18. Якщо ви намагались повторити цей дослід самостійно, то бачили, що клаптики паперу притягуються до палички ще до того, як вона їх торкається, — взаємодія відбувається на відстані. А як відомо з курсу 7 класу, взаємодія може відбуватись під час контакту або через *поле*. У нашому випадку — через *електричне поле*.

Будь-яке електрично заряджене тіло створює навколо себе електричне поле, через яке відбувається електромагнітна взаємодія.

**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, й підтверджують їх наявність. Проте електричне поле не діє безпосередньо на наші органи чуття. Саме з 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, потерши її об шовкову тканину, й доторкнемося нею до кульки. Вона набуде позитивного електричного заряду (мал. 86, а). Рівноважний стан кульки визначатиметься дією двох сил: силою натягу нитки  $N$  та силою тяжіння  $F_T$  (мал. 86, б).

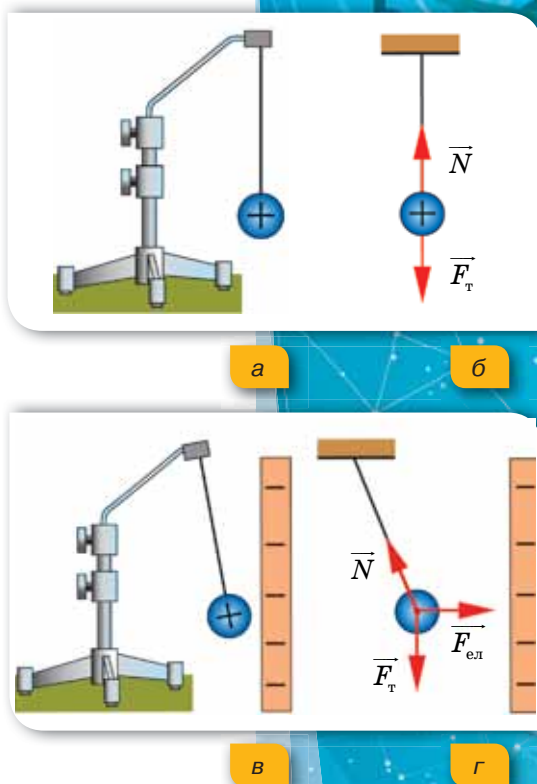


Потремо пластину з ебоніту вовняною тканиною, наелектризувавши її негативно. Будемо наближати негативно заряджену пластину до позитивно зарядженої кульки. Побачимо, що кулька також почне відхилятися від положення рівноваги в бік пластини. Якщо зафіксувати положення пластини, то кулька так і залишиться у відхиленому стані (мал. 86, в). Чому кулька не повертається в попереднє положення? Очевидно, що крім діючих сил (натягу нитки  $N$  і тяжіння  $F_T$ ) в електричному полі пластини й кульки виникає ще одна сила — сила електромагнітної взаємодії  $F_{ел}$  (мал. 86, 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 ще показує, що чим ближче розміщена кулька до пластини, тим 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.**

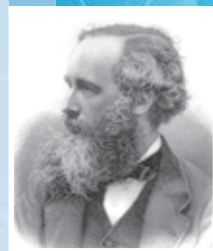


Мал. 86. Дослід із демонстрації дії електричного поля

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.

**Графічне зображення електричного поля.** У ході досліджень електричного поля вченим вдалося з'ясувати його властивості. Що у свою чергу дозволило змодельовувати поле, тобто представити його графічно. Лінії,

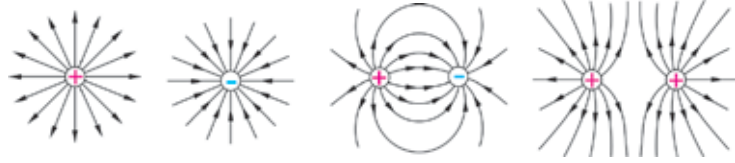


**Джеймс Клерк Максвелл (1831–1879)**

Англійський учений, основоположник теорії електромагнітної взаємодії



Мал. 88. Дослід з електричними султанами: а — притягання паперових смужок різноманітними зарядженими султанами; б — відштовхування паперових смужок однойменно зарядженими султанами



а

б

в

г

Мал. 87. Графічне зображення електричного поля: а — позитивного заряду; б — негативного заряду; в — двох різноманітних зарядів; г — двох однойменних зарядів

за допомогою яких графічно зображають електричне поле, називають *силовими лініями*.

Так, якщо зобразити заряджені тіла як маленькі кульки, то лінії позитивно зарядженого тіла спрямовані в усі боки від нього (мал. 87, а), а силові лінії негативно зарядженого тіла спрямовані до нього (мал. 87, б). У разі взаємодії двох електрично заряджених тіл їхні поля накладаються. На малюнку 87 в, г зображені електричні поля однойменно та різноманітними заряджених кульок.

«Спостерігати» електричне поле можна на досліді, використовуючи електричні султани (мал. 88). Легкі паперові смужки, закріплені на пластмасових підставках, розміщуються вздовж силових ліній електричного поля.

## 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.

Електричні поля можуть бути створені різними зарядженими тілами й відрізнятися за впливом на один і той самий електричний заряд: одні діють з більшою силою, інші — з меншою.

Лінії, за допомогою яких графічно зображають електричне поле, називають силовими лініями.

*Я знаю, вмію й розумію*

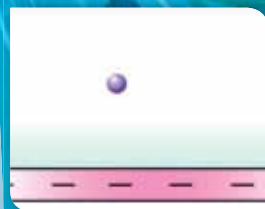


1. Що таке електричне поле?
2. Яким чином можна довести реальність існування електричного поля?



### ПОЯСНІТЬ

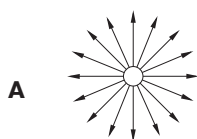
1. Як змінюється дія електричного поля в разі віддалення від електричного заряду, який його створює?
2. В електричному полі негативно зарядженої пластинки «зависла» заряджена пилінка (мал. 89). Що станеться з пилінкою, якщо вона втратить кілька електронів?
3. Опишіть і поясніть явища, зображені на малюнку 90.
4. Установіть відповідність між зображенням електричного поля та зарядами тіл, що його утворюють (мал. 91).



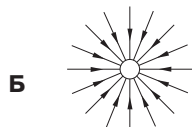
Мал. 89.  
До завдання 2



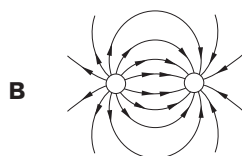
Мал. 90.  
До завдання 3



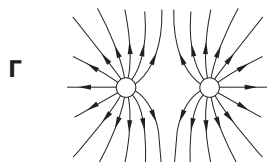
1 Негативний заряд



2 Позитивний та негативний заряд



3 Два негативні заряди

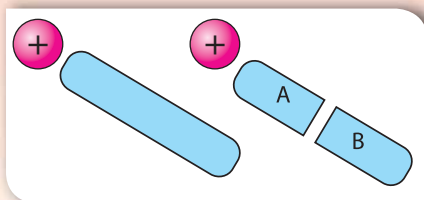


4 Позитивний заряд

5 Два позитивні заряди

Мал. 91.  
До завдання 4

5. Незаряджене металеве тіло внесли в електричне поле наелектризованої кулі (мал. 92, а). Після цього його розділили на дві частини (А і В на мал. 92, б). Як заряджені ці частини?



**а**

**б**

Мал. 92. До завдання 5



## § 21

# Механізми електризації тіл. Закон збереження електричного заряду

## Ви дізнаєтесь

- Яким чином можна електризувати тіло

## Пригадайте

- Що таке електричне поле

**Електризація дотиком.** Електризацію тіл тертям ми вже частково розглянули в § 18. 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 із різних матеріалів 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.

**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.

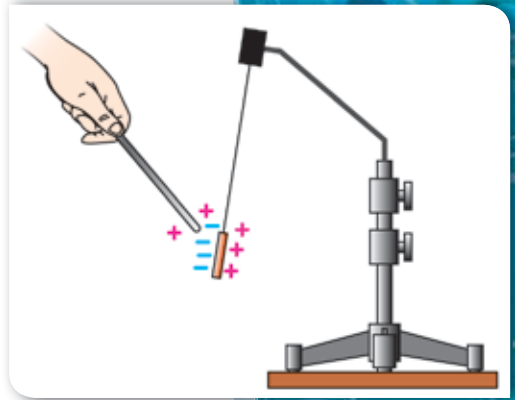
**Електризація через вплив.** Виконуючи досліди, ви могли помітити, що тіла починають взаємодіяти відразу після наближення до них електрично зарядженої палички. При цьому не обов'язково доторкуватись

наелектризованою паличкою до цих тіл. Чому так відбувається? Як можуть електрони в цьому випадку переміститися з одного тіла на інше?

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. 93). Отже, під час електризації через вплив електричного поля відбувається не втрата електронів тілом, а їх перерозподіл.

Такий вид електризації називають електризацією *через вплив*.

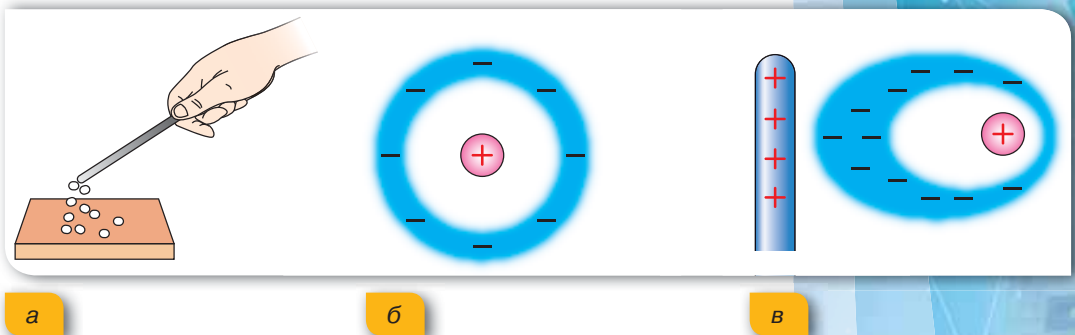


Мал. 93. Електризація через вплив

**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. 94, а). Як



а

б

в

Мал. 94. Пояснення електризації діелектрика: а — притягання клаптиків унаслідок дії позитивно зарядженої палички; б — зв'язані електрони в атомі; в — зміщення електронів

відомо, папір є діелектриком і, на відміну від металу, не містить електронів, які б могли вільно переміщуватись.

У діелектриків електрони зв'язані з ядром атома (мал. 94, б, с. 135). Проте під дією електричного поля зарядженої палички електрони можуть зміщуватись в електронній хмарі атома, деформуючи її (мал. 94, в, с. 135). У результаті на ближній до палички частині клаптика паперу утворюється заряд, який за знаком протилежний заряду палички, і тому папір притягується до палички.

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 потоком. У результаті взаємодії світла з металом відбувається вивільнення електронів із 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. (Подумайте, 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 сформульовано 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 та негативні. Математично позитивним зарядам приписується знак «+», негативним — знак «-».

**Зверніть увагу!** Як у випадку закону збереження енергії, 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

Існує декілька способів електризації тіл.

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 зарядженого тіла.

За будь-якого способу електризації тіл електричні заряди не виникають і не зникають, а лише перерозподіляються між усіма тілами, які беруть участь у процесі.

Повний заряд системи тіл або частинок, що утворюють замкнену систему, під час будь-яких взаємодій у цій системі залишається сталим:  $q_1 + q_2 + \dots + q_n = const$ .

### Я знаю, вмію й розумію



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 в способах електризації дотиком та 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. Чому будь-яке легеньке незаряджене тіло притягується до тіла, що має електричний заряд?



Мал. 95.  
До завдання 5

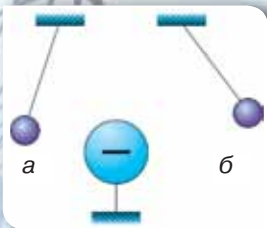
- Чи електризуються скляні палички в разі натирання їх одна об одну?
- Чому відхилятиметься слабкий струмінь води з водопровідного крана, якщо до нього піднести наелектризоване тіло? Перевірте на досліді (мал. 95).
- На шовковій нитці підвішена незаряджена гільза з алюмінієвої фольги. Якщо до неї наблизити наелектризовану скляну паличку, то гільза притягнеться до неї. Чому гільза одразу після дотикання до палички відштовхується від неї?
- Чому метали внаслідок натирання їх вовною або шовком електризуються тільки позитивно?



## Вправа 8

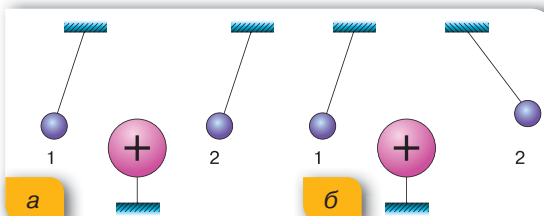


Мал. 96.  
До завдання 3



Мал. 97.  
До завдання 5

- 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.
- Як можна визначити знак заряду металевої кульки, якщо у вашому розпорядженні є ебонітова паличка та вовняна хустинка?
- Дві однакові заряджені легкі металеві кульки підвішені на шовкових нитках в одній точці (мал. 96). Як зміниться кут між нитками, якщо доторкнутись до однієї з кульок рукою?
- Як пояснити, що електризацію тертям помітили на речовинах, які належать до діелектриків?
- Якими за знаком і значенням є заряди маленьких кульок на малюнку 97?
- Порівняйте випадки електромагнітної взаємодії на малюнку 98 а і б. Які зміни відбулись із зарядом кульки 2 у випадку б? На підставі чого ви робите такі висновки?
- Запропонуйте досліди, які б дали змогу відрізнити провідник від діелектрика.



Мал. 98.  
До завдання 6



## ЩО ТРЕБА ЗНАТИ ПРО ЕЛЕКТРИЗАЦІЮ

Електризація через вплив зустрічається досить часто. Наприклад, наслідком електризації через вплив є блискавка. Унаслідок сильних висхідних потоків повітря в хмарі утворюються відокремлені області, заряджені різнойменними зарядами: нижня частина хмар виявляється зарядженою негативно, верхня — позитивно. Під хмарою внаслідок електризації через вплив відбувається накопичення електричного заряду протилежного знака. Якщо накопичення зарядів стає дуже великим, відбувається електричний розряд — блискавка.



У кабінетах фізики можна побачити електрофорну машину, в якій використовується й електризація через тертя, й електризація через вплив. Це дозволяє накопичувати на кульках великі електричні заряди, які також викликають електричний розряд — мініатюрну блискавку.





## § 22

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.

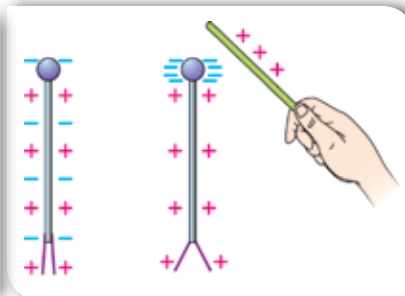
Електроскоп (мал. 99) — прилад для демонстрації наявності електричного заряду. Він складається з металевого стержня — електрода та підвішених до нього двох листочків фольги. Перед початком роботи стержень електроскопа не наелектризований, і заряджені мікрочастинки рівномірно розподілені по ньому (мал. 99, б). У результаті наближення позитивно зарядженої палички до металевого стержня електроскопа відбувається перерозподіл електрично заряджених частинок усередині самого стержня та листочків фольги (мал. 99, в). Листочки виявляються одноіменно зарядженими і тому відхиляються один від одного (мал. 99, 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. 100). На верхній частині стержня електрометра закріплюють порожнисту металеву сферу.

Електричний заряд, наданий металевій сфері, передається металевому стержню й стрілці. У результаті взаєм-



а



б

в



г

Мал. 99. Електроскоп: а — зовнішній вигляд; б, в — механізм електризації; г — принцип дії

ного відштовхування стрілка відхиляється від стержня. За кутом відхилення, що фіксується шкалою приладу, можна вимірювати величину наданого заряду (мал. 100, б).

**Дискретність (подільність) електричного заряду.** За допомогою електроскопа або електрометра можна дослідити подільність (дискретність) електричного заряду.

Розглянемо дослід. Візьмемо два однакові електрометри. Зарядимо один із них. При цьому його стрілка, як видно з малюнка (мал. 101, а), відхилилася на чотири поділки. З'єднаємо ці електрометри металевим провідником із ручкою, що виготовлена з діелектрика. У результаті з'єднання частина заряду із зарядженого електрометра переходить на незаряджений.

**Зверніть увагу!** З малюнка 101, б видно, 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 досліду металевий провідник поклали на кулі електрометрів голою рукою (без ручки із діелектрика).

Якщо заряджене та незаряджене тіла будуть різних розмірів, то виявиться, що електричний заряд поділиться таким чином, що провідник із більшою площею поверхні набуває більшого електричного заряду!

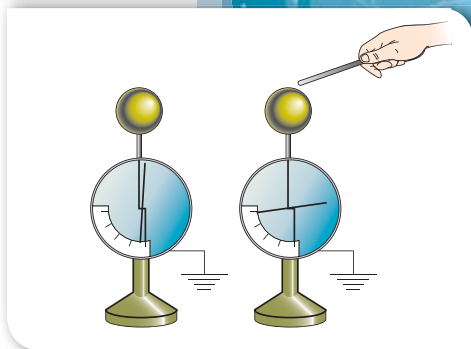
Ця особливість використовується для захисту електричних приладів від накопичення статичної електрики



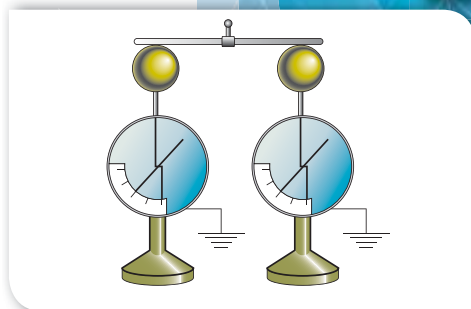
а

б

Мал. 100. Електрометр:  
а — зовнішній вигляд; б — принцип дії



а



б

Мал. 101. Досліди з подільності електричного заряду:  
а — передача заряду одному з електрометрів;  
б — поділ електричного заряду

на їхніх корпусах. Оскільки розміри Землі більші за розміри будинків і електричних приладів, то майже весь заряд із тіл переходить на Землю. Для такого захисту застосовують металеві провідники, з'єднані з добре провідними шарами ґрунту. Такий вид захисту називають *заземленням*.

### Вимірювання елементарного електричного заряду.

До кінця XIX ст. накопичений 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.

На початку XX ст., незалежно один від одного, американський вчений Роберт Міллікен і російський фізик Абрам Йоффе провели експерименти з вивчення дискретності (подільності) електричного заряду та визначення заряду електрона. У своїх досліджах вони застосовували дещо відмінні установки, які проте були схожими принципово.

У результаті цих дослідів зроблено висновок про існування маленької частинки, що несе на собі неподільний електричний заряд. Цією частинкою є електрон, і його заряд дорівнює  $-1,6 \cdot 10^{-19}$  Кл.

Електричний заряд тіла завжди буде кратним елементарному електричному заряду. (При нагоді підрахуйте, скільки потрібно електронів, щоб утворився заряд в 1 Кл.)

## 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 й 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. Дотикаються дві однойменно заряджені металеві кулі однакового діаметра. Одна із куль порожниста. Як розподіляться заряди на кулях після дотику?
2. На одній з двох однакових кульок є надлишок одинадцяти електронів. Кульки сполучили між собою провідником. Як розподіляться електрони? Умови електричної системи виключають їх коливання.
3. Чому відхилення листочків фольги електроскопа не залежить від знака заряду?
4. Чи може тіло мати електричний заряд  $1 \cdot 10^{-19}$  Кл,  $3,2 \cdot 10^{-19}$  Кл?
5. Модуль заряду однієї з двох однакових металевих кульок у 3 рази більший, ніж модуль заряду іншої. Кульки привели в дотик, після чого повернули до початкових положень. Укажіть, як зміниться модуль заряду кожної з кульок після дотику. Розгляньте випадки, коли кульки заряджені: а) однойменно; б) різнойменно.



## ДОМАШНІ ДОСЛІДИ ТА СПОСТЕРЕЖЕННЯ

### Виготовлення електроскопа

Зі скляної банки з капроною кришкою виготовте електроскоп (мал. 102). Перевірте його в дії.

До кондуктора зарядженого електроскопа піднесіть (не торкаючись його) заряджений металевий стержень. Поясніть як зміниться відхилення пелюсток паперу?

**Увага!** Будьте обережні зі склом!



Мал. 102.  
Саморобний електроскоп

## § 23

## Закон Кулона

## Ви дізнаєтесь

- Як кількісно описується електромагнітна взаємодія

## Пригадайте

- Як взаємодіють однойменно й різнойменно заряджені тіла



**Шарль Огюстен де Кулон**  
(1736–1806)

Французький  
військовий інженер,  
учений-фізик

**Досліди Кулона.** Настав час з'ясувати, у який спосіб можна кількісно виміряти силу, що виникає між електрично зарядженими тілами та дізнатися, від чого вона залежить.

Але перед цим 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*, маючи на увазі будь-яке тіло, розміри якого малі порівняно з відстанню. Аналогічно *точковими електричними зарядами* називають заряджені тіла, розміри яких малі порівняно з відстанню між ними.

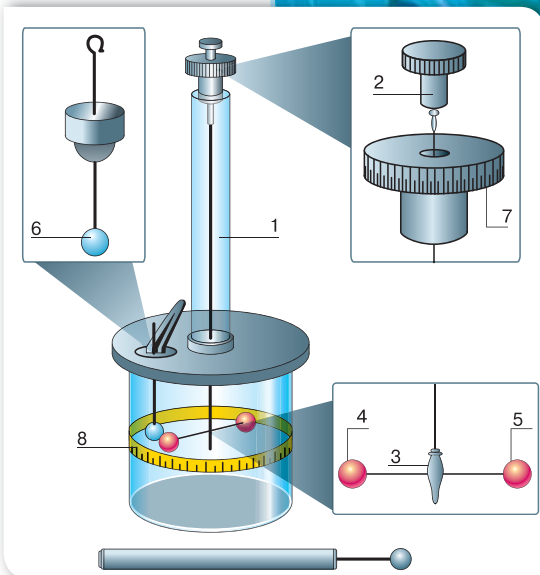
Виконуючи досліди, ми бачили, що сила взаємодії між зарядженими тілами залежить від ступеня електризації тіл (їхнього електричного заряду) і відстані між ними. Оскільки електризувати можна тіла довільної форми й розмірів, то отримати єдину формулу, яка описувала б електричну взаємодію будь-яких заряджених тіл за довільних умов, неможливо. Однак це можливо, якщо вдається до деякого спрощення й 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. 103).

До верхньої кришки скляного циліндра прикріплена трубка, усередині 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 — протизвага 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, наелектризовану кулькою 6 торкаються кульки 4. Електричний заряд розподіляється між кульками порівну. Внаслідок електромагнітної взаємодії коромисло з кулькою 4 повертається й закручує дріт доти, доки сила пружності, що виникла в ньому, не врівноважує силу електричної взаємодії. Кути закручування визначаються за допомогою двох шкал із градусними поділками: перша — на верхній кришці, що обертається, 7, друга — на бічній поверхні скляного циліндра 8.



Мал. 103. Крутильні терези

Спочатку Кулон з'ясував, 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 при цьому 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:**

$$F_{\text{ел}} \sim |q_1| \cdot |q_2|.$$



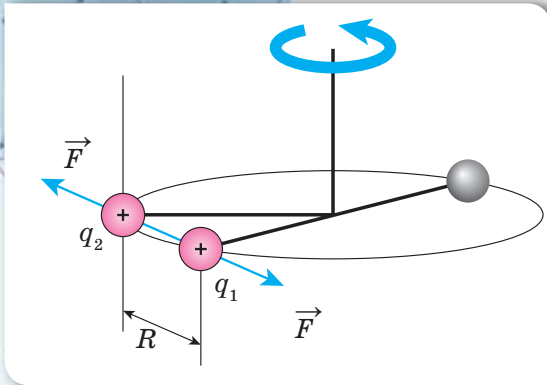
**Закон Кулона.** У результаті досліджень Кулон встановив закон, що згодом отримав його ім'я, а силу взаємодії між електрично зарядженими тілами називають електричною, або кулонівською, силою.

### 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 (мал. 104):

$$F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{R^2},$$

де  $k$  — коефіцієнт пропорційності.



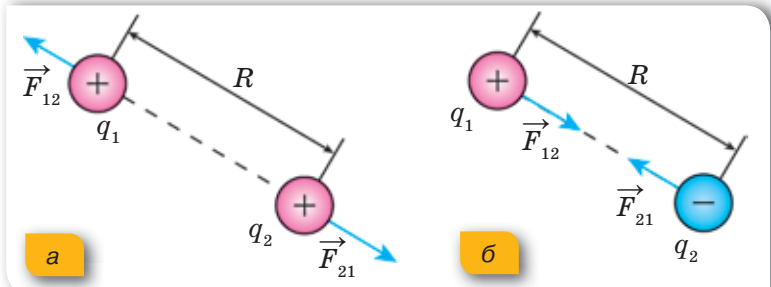
Мал. 104. Напрямок «кулонівської» сили

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 видно, 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, в якому вони перебувають. У вакуумі сила взаємодії буде найбільшою.

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 напрям сили взаємодії визначається саме знаками зарядів (мал. 105).



Мал. 105.  
Напрями сил  
взаємодії точкових  
зарядів:  
а — однойменних;  
б — різнойменних

## Підбиваємо підсумки

Якщо заряджену кульку привести в контакт з такою самою, але незарядженою, то заряд першої розподілиться між ними порівну.

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:

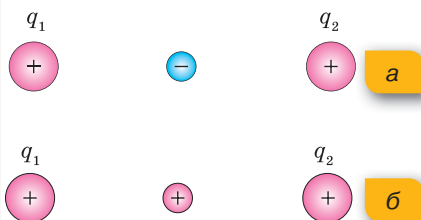
$$F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{R^2}$$
, де  $k$  — коефіцієнт пропорційності, який дорівнює  $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$ .

### Я знаю, вмю й розумію

1. Сформулюйте закон Кулона.
2. Чому Ш. Кулон, виконуючи дослід, був упевнений, що електричний заряд змінюється саме вдвічі?
3. Для чого у крутильних терезах, що використовував Ш. Кулон у своїх дослідях, 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 у три рази? Якщо заряд кожного з них збільшити у два рази?

### ПОЯСНІТЬ

1. Ви отримали завдання розділити навпіл 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. 106, а)? А якщо позитивно заряджену кульку (мал. 106, б)?



Мал. 106.  
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 змінилась сила взаємодії між кульками?

**Дано:**

$$q_1 = -2 \text{ нКл}$$

$$q_2 = 10 \text{ нКл}$$

$$\frac{F}{F_0} = ?$$

СІ

**Розв'язання:**

Початкова сила взаємодії між кульками  $F_0 = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{R^2}$ .

Після дотику заряд між кульками розподілиться порівну:

$$q'_1 = q'_2 = q = \frac{-2 \text{ нКл} + 10 \text{ нКл}}{2} = 4 \text{ нКл} \quad \text{і сила взаємодії до-}$$

рівнюватиме:  $F = k \frac{q^2}{R^2}$ .

$$\text{Отже: } \frac{F}{F_0} = \frac{q^2}{|q_1| \cdot |q_2|},$$

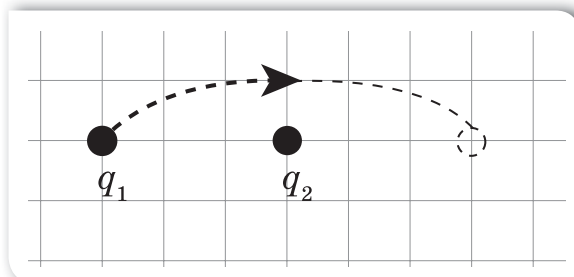
$$\frac{F}{F_0} = \frac{16 \text{ нКл}}{20 \text{ нКл}} = 0,8.$$

**Відповідь:** зменшиться у 0,8 раза.



### Вправа 9

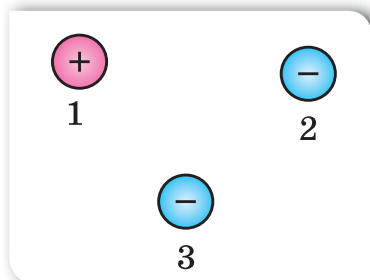
- На малюнку 107 схематично зображено два точкові заряди, розміщені у вакуумі. Як зміниться напрям і модуль сили взаємодії між зарядами, якщо один з них перенести в напрямі, показаному стрілкою?



Мал. 107. До завдання 1



2. На малюнку 108 зображено розташування на площині трьох тіл, що мають однаковий за модулем заряд. Укажіть схематично напрямки сил взаємодії між тілами.



Мал. 108. 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 — 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 напрям результуючої сили, яка діє на цей заряд.

## § 24

# 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. 109).

Проведемо дослід. Наелектризуємо кулю на електрометрі (мал. 110, а). Доторкнемося до неї індикатором (металевим провідником із неонову лампочкою). Побачимо короткочасний спалах лампочки (мал. 110, 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. 109. 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 § 24–35 дослідження електричного струму будемо здійснювати за допомогою металевих провідників, у яких носіями струму є вільні електрони.

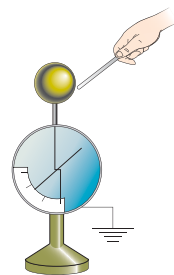
Які ще висновки ми можемо зробити з досліду? Дослід демонструє наявність короткочасного електричного струму в певному напрямі. А що потрібно, щоб струм тривав певний час?

Для цього нам необхідно з'ясувати умови, за яких виникає електричний струм. Що змушує заряджені частинки рухатись у певному напрямі?

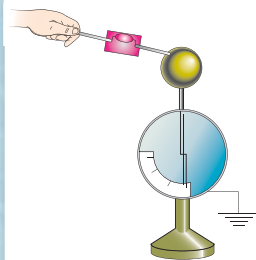
Як відомо, рух і взаємодія електрично заряджених частинок можливі завдяки дії електричного поля. Справді, під дією електричного поля рух заряджених частинок, які можуть вільно переміщуватися в середовищі, набуде впорядкованого (направленого) характеру, що й означатиме появу в цьому середовищі електричного струму.

Отже, для виникнення й існування електричного струму необхідна *наявність носіїв струму та електричного поля*, дія якого створює й підтримує їхній напрямлений рух.

**Джерела електричного струму.** У прикладі, який ми розглядали на початку параграфа, кулю зарядженого 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 завгодно довго, потрібно в ньому весь час підтримувати електричне поле, тобто забезпечувати на одному кінці провідника надлишок заряду певного знака, а на другому — його нестачу. Такий сталий розподіл зарядів на кінцях провідника створюється та підтримується *джерелом електричного струму*.



а

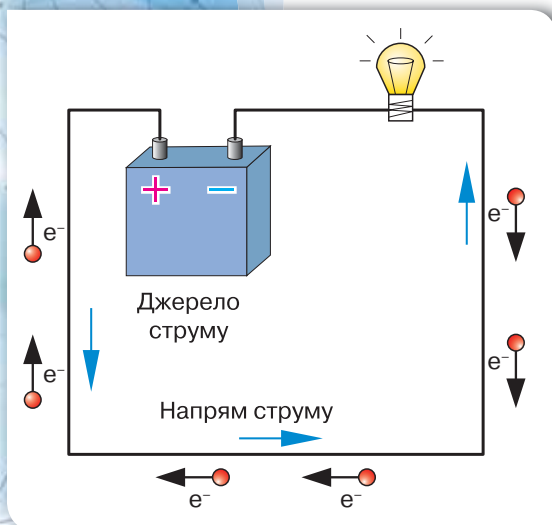


б

Мал. 110.  
Отримання короткочасного електричного струму:  
а — електризація електрометра;  
б — фіксування струму індикатором



**Джерело електричного струму** — це пристрій, у якому відбувається перетворення певного виду енергії (механічної, хімічної, теплової, світлової) в електричну.



Мал. 111. Напря́м електричного струму

У кожному джерелі струму виконується робота з розділення позитивно та негативно заряджених частинок, які накопичуються на полюсах джерела. Відповідно до цього полюси умовно позначають знаками «+» і «-». Історично склалося так, що за напрям електричного струму приймають напрям руху позитивно заряджених частинок, тобто напрям від позитивно зарядженого полюса джерела струму до негативно зарядженого. (Незважаючи на те, що найчастіше вільними носіями струму є електрони і їх напрям руху протилежний (мал. 111)).

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.

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 проходить електричний струм (мал. 112, а). Із часом гальванічний елемент виходить із ладу, оскільки закінчується запас речовин, необхідних для хімічних реакцій.

Гальванічні елементи (мал. 112, б) можуть відрізнятися формою й 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 105, с. 154 зображено внутрішню будову цинково-марганцевого елемента.

**Гальванічні елементи** — хімічні джерела струму, у яких відбуваються хімічні реакції, завдяки яким виконується робота з розподілу зарядів, тобто хімічна енергія перетворюється в електричну.

Різновидом гальванічних джерел струму є *електричні акумулятори* (від латин. «*аккумулятор*» — нагромаджувати). Найпростіший акумулятор складається з двох свинцевих пластин (електродів), уміщених у розчин сірчаної кислоти. Щоб акумулятор став джерелом струму, його



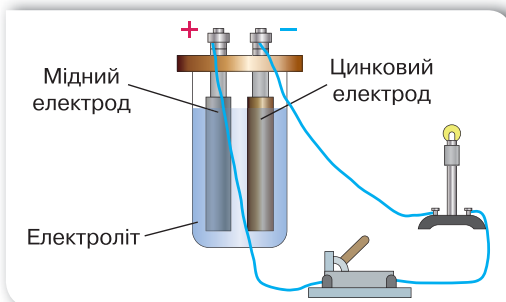
**Луїджі Гальвані**  
(1737–1798)

Італійський медик і фізик, засновник електрофізіології



**Алессандро Джузеппе Вольта**  
(1745–1827)

Італійський фізик і фізіолог, сконструював першу електричну батарею та перше хімічне джерело постійного електричного струму

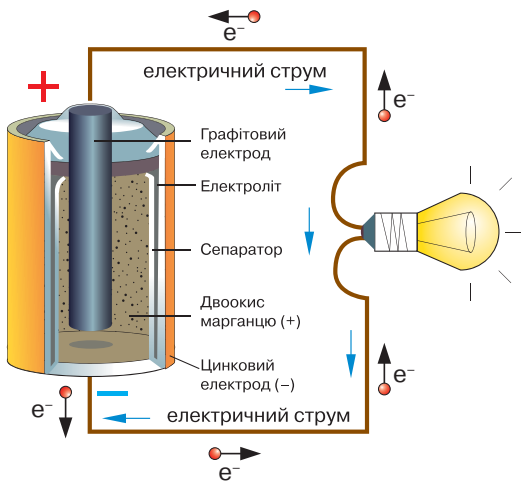


а



б

Мал. 112. Гальванічні елементи: а — принцип дії; б — різні види гальванічних елементів



Мал. 113. Внутрішня будова гальванічного елемента



а



б

Мал. 114. Батарей:  
а — акумуляторна;  
б — гальванічних елементів

потрібно зарядити. У процесі зарядки внаслідок хімічних реакцій один електрод акумулятора стає позитивно, 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. 114): акумуляторну або батарею гальванічних елементів.

#### Інші види джерел струму.

Прикладом джерела електричного струму, в якому механічна енергія перетворюється в електричну, є *електрофорна машина* (мал. 115, а). Під час обертання її дисків відбувається розділення електричних зарядів.

Перетворення теплової енергії в електричну відбувається в *термоелементах* (мал. 115, 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. 115, в).

Вибір джерел струму визначається сферою їх застосування. Так, в автомобілях використовують 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.





а



б



в

Мал. 115. Інші види джерел струму:  
а — електрофорна машина,  
б — термоелемент, в — фотоелемент

## 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 напрям електричного струму приймають напрям руху позитивно заряджених частинок.

## Я знаю, вмію й розумію



1. За яких умов виникає та існує електричний струм? Дайте визначення електричного струму.
2. Як визначають напрям 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. Що спільного в гальванічному елементі й акумуляторі та чим вони відрізняються?
4. Найчастіше вільними носіями струму є електрони. Чому за напрям струму прийнято напрям руху позитивних зарядів?



## 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 із гальванометром (мал. 116).

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. 116.  
Саморобне  
джерело струму

# § 25

## Дії електричного струму

Як було сказано в попередньому параграфі, 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. 117). 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 призводить до нагрівання.

Для деяких речовин таке нагрівання може викликати й світлову дію. Наприклад, в електричних лампах розжарювання, де вольфрамова нитка нагрівається до яскравого світіння.

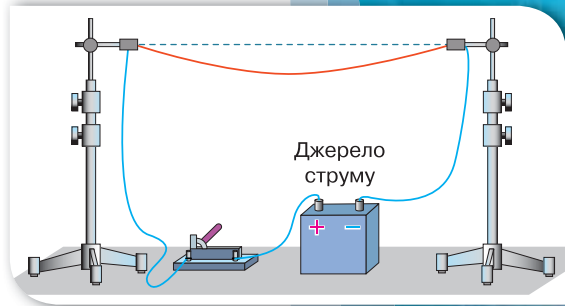
Теплову дію струму можна спостерігати на прикладі нагрівання спіралей електричної лампи розжарювання, електропраски, електроплити, електричного обігрівача (мал. 118).

### Ви дізнаєтесь

- Як проявляє себе електричний струм і як це можна використати

### Пригадайте

- Що таке електричний струм
- Як можна «спостерігати» за електричним струмом



Мал. 117. Теплова дія струму



Мал. 118. Застосування теплової дії струму в побутових приладах





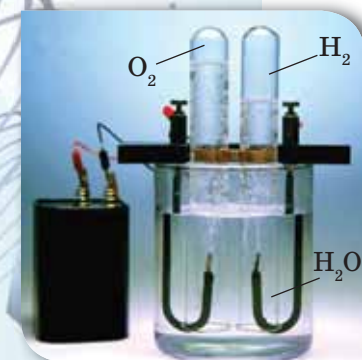
Мал. 119. Використання теплової дії струму під час контактного зварювання металів. Міст імені Є. О. Патона в Києві — перший у світі суцільнозварний міст завдовжки 1543 м

Теплова дія струму широко використовується під час контактного зварювання металів (мал. 119). Крізь деталі, що зварюють, пропускають струм великої сили. У результаті в місцях контактів деталі дуже нагріваються й зварюються.

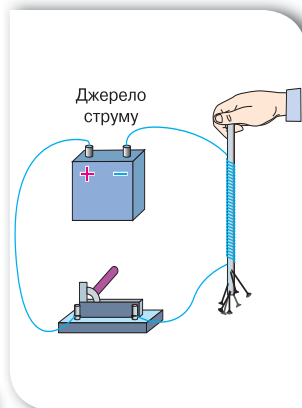
Теплова дія електричного струму спостерігається не лише в металевих провідниках, а й у рідких і газоподібних.

**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 й тепла — розчин, по якому проходить струм, нагрівається.



Мал. 120. Розкладання води на водень і кисень унаслідок проходження електричного струму



Мал. 121. Магнітна дія струму

У результаті пропускання електричного струму крізь воду відбувається хімічна реакція з утворенням водню та кисню (мал. 120).

Детальніше процеси проходження електричного струму крізь розчини електролітів та їх практичне застосування ви будете вивчати в § 36.

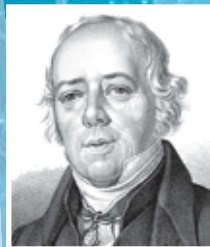
**Магнітна дія струму.** На залізний цвях або стержень намотаємо кілька десятків витків ізольованого мідного провідника. Звільнивши кінці провідника від ізоляції, приєднаємо їх до джерела струму. Бачимо, що така котушка притягуватиме дрібні металеві предмети як магніт (мал. 121). Роз'єднаємо електричне коло. Струм по котушці не проходить, і вона втрачає магнітні властивості.

Явище існування навколо провідника зі струмом магнітного поля дослідив данський учений Ганс Ерстед (мал. 122). Він демонстрував студентам досліди з нагрівання провідників електричним струмом. Під час дослідів один із 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. Що в подальшому дало поштовх до об'єднання досліджень електричних і магнітних явищ.

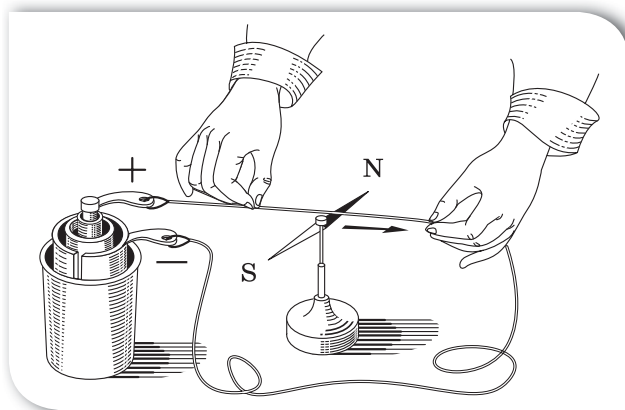
На відміну від хімічної, магнітна дія електричного струму спостерігається завжди, незалежно від того, яким є провідник: твердим, рідким чи газоподібним. Магнітна дія струму спостерігається навіть у вакуумі, де неможливі теплова та хімічна дії.

Якщо рамку із дроту вмістити в магнітне поле і пропустити через неї струм, то вона почне обертатись у пев-

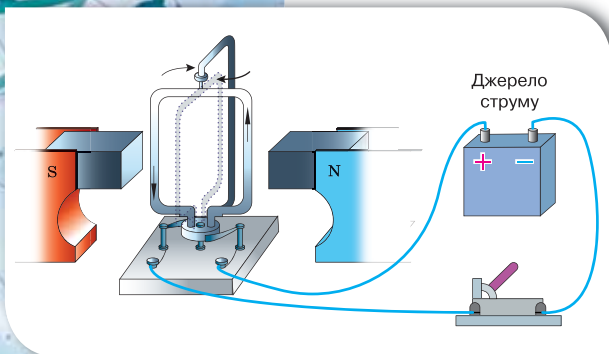


**Ганс Крістіан  
Ерстед  
(1777–1851)**

Данський учений-фізик і хімік, дослідник електромагнетизму



Мал. 122. Дослід Ерстеда



а



б

Мал. 123. Електричні двигуни: а — схема дії; б — різні конструкції електродвигунів

ному напрямі (мал. 123, а). На цьому явищі ґрунтується функціонування різноманітних електричних двигунів (мал. 123, 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 й 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?



## § 26

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. 124). 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 клемми. 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*.

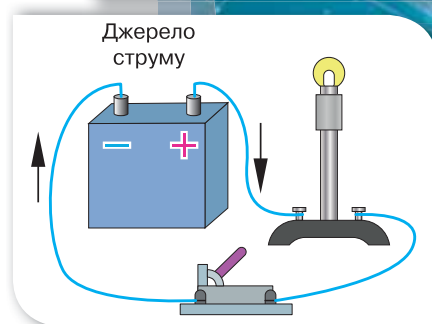
Циркуляцію електричного струму в електричному колі можна пояснити за допомогою моделі, що демонструє циркуляцію води (мал. 125, а, с. 162).

## Ви дізнаєтесь

- Як циркулює струм в електричному колі
- Як схематично зображують елементи електричного кола

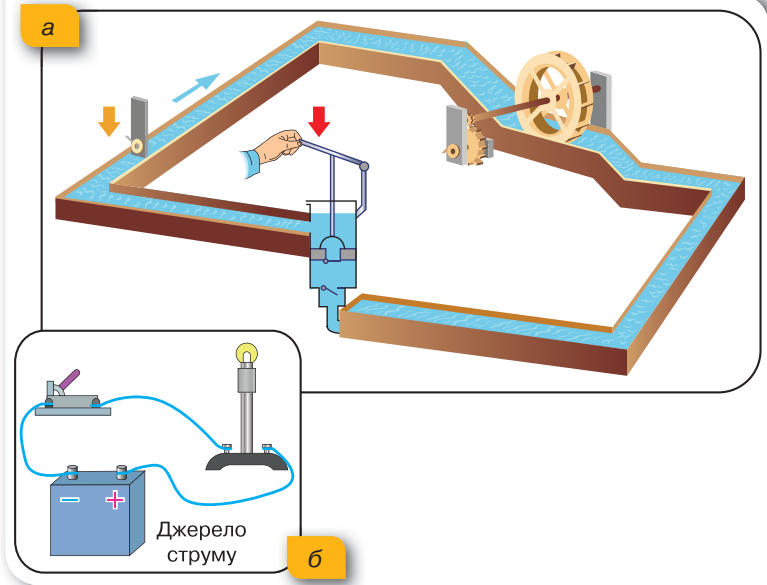
## Пригадайте

- Умови існування електричного струму



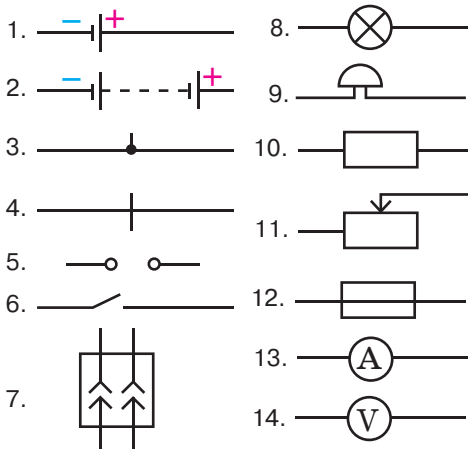
Мал. 124. Електричне коло

Мал. 125. Моделі циркуляції:  
а — потоку води;  
б — електричного струму



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. 125, б). Порівняймо. Потік електронів рухається від негативного полюса джерела струму під дією сил електричного поля. Проходячи через електричну лампу, частина електричної енергії витрачається на її роботу (світіння) (у той же час потік електронів залишається незмінним). Щоб процес був неперервним, роль



Мал. 126. 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 — затискачі 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)

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 знаками (мал. 126).

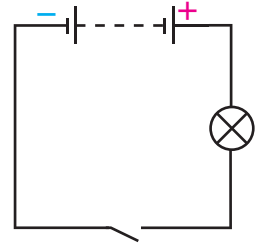
Розглянутий нами приклад електричного кола (див. мал. 124, с. 161) на схемі зображується так, як показано на малюнку 127.

Використання електричних схем дає змогу компактно зображати навіть досить громіздкі електричні кола, що значно полегшує роботу інженерів, конструкторів та фахівців з обслуговування та ремонту електричних приладів.

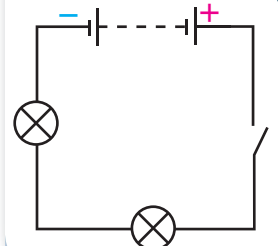
**Розгалужені електричні кола.** Розглянемо електричне коло, в якому одна за одною підключені дві електролампи. Таке з'єднання споживачів називають *послідовним*. Важливою особливістю цього електричного кола (мал. 128) є те, що в усіх його елементах протікає однаковий струм.

Якщо лампи з'єднати так, як показано на малюнку 129, а, то отримаємо з'єднання споживачів, яке називають *паралельним*. У цьому разі коло називають розгалуженим, його схему зображено на малюнку 129, б.

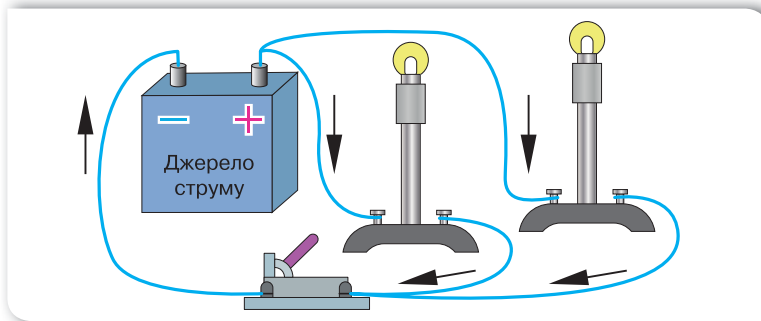
У розгалужених колах є так звані вузлові точки (точки, в яких з'єднуються три і більше провідників). Вузлові точки розділяють електричне коло на окремі гілки. Особливістю розгалужених електричних кіл є те, що в кожній гілці тече свій струм. Електричний струм у



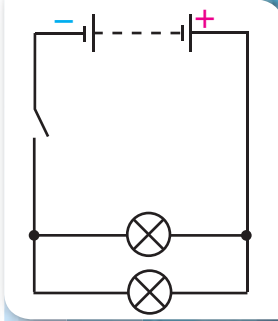
Мал. 127. Схема електричного кола



Мал. 128. Схема електричного кола з послідовним з'єднанням споживачів



а



б

Мал. 129. Електричне коло з паралельним з'єднанням споживачів: а — ілюстрація; б — електрична схема



розгалужених електричних колах визначається за правилами, з якими ви ознайомитеся в наступних параграфах.

### Підбиваємо підсумки

До електричного кола входять джерело струму, споживачі електричної енергії, пристрої для вмикання та вимикання електричного струму, електровимірювальні пристрої, з'єднані між собою за допомогою провідників.

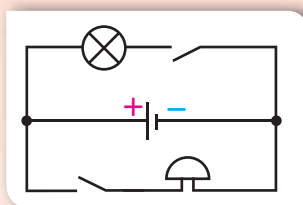
Споживачами електричного струму є електродвигуни, електричні лампи, нагрівальні прилади, телевізори, мікрохвильові печі, ноутбуки тощо.

Способи з'єднання електричних приладів у коло зображують на кресленнях, які називають електричними схемами. На електричних схемах прилади зображують за допомогою умовних позначень.

### Я знаю, вмію й 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 130.



Мал. 130.  
До завдання 6



### ПОЯСНІТЬ

1. Використовуючи механічну аналогію (мал. 125, а, с. 162), поясніть призначення кожного елемента електричного кола (мал. 125, б, с. 162).
2. Електричне коло складається із джерела струму, двох вимикачів, електричного дзвінка та лампи. Який вигляд матиме схема, якщо одним вимикачем вмикається тільки лампа, другим — тільки дзвінок?

## § 27

## Сила струму

**Сила струму.** Розглянемо ще раз механічну модель електричного кола (мал. 117, с. 162). Проаналізуємо зміни, що відбудуться, якщо ми звуємо жолоби, по яких тече вода. Очевидно, що на причину потоку і його напрям 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 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, і він є дещо невдалим, оскільки «сили» ніяк не стосується.

## Ви дізнаєтесь

- Що називають силою струму
- Як вимірюють електричний струм

## Пригадайте

- Умови існування електричного струму

**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 видно із таблиці на с. 170, для роботи побутових приладів потрібні такі значення сили струму, що значно перевищують безпечні для людини норми.

Діапазон (межі) значень сили струму, з яким 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. 131).

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 ділянках кола із послідовно з'єднаних приладів. 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;
- дотримуватись полярності підключення, тобто клему приладу,



а

б

Мал. 131. Амперметр:  
а — демонстраційний;  
б — лабораторний



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 з цифровими індикаторами, а також кіло-, мілі- й 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 й розумію

1. Що характеризує сила електричного струму?
2. Як сила струму залежить від електричного заряду, що проходить через провідник, та часу?
3. 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

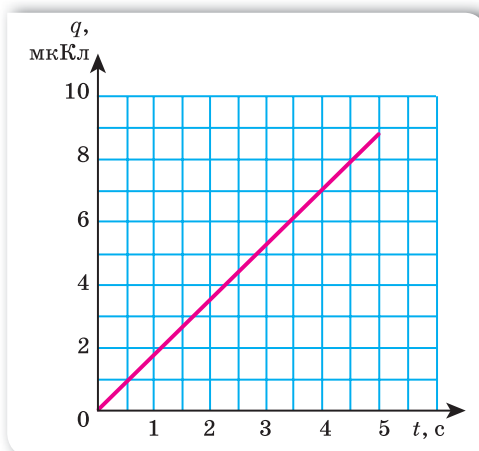
- Чи однакові за фізичною сутністю такі твердження:
- а) у провіднику пройшов великий електричний заряд;
  - б) у провіднику пройшов струм великої сили?



### Вправа 10

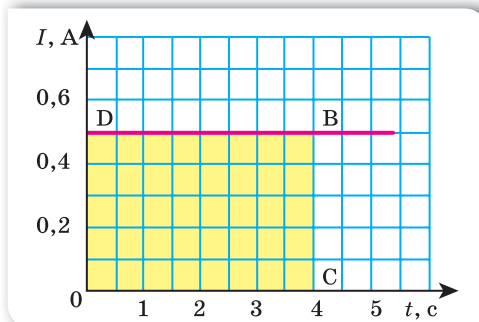
1. Визначте силу струму в провіднику, якщо за 20 с через поперечний переріз провідника проходить електричний заряд 68 Кл.

2. Визначте час проходження електричного струму по провіднику, якщо за сили струму  $0,5\text{ А}$  через поперечний переріз провідника пройшов електричний заряд  $7,7\text{ Кл}$ .
3. Обчисліть силу струму в провіднику, крізь поперечний переріз якого за кожну хвилину проходить заряд  $36\text{ Кл}$ .
4. Визначте кількість електронів, що проходять за  $1\text{ с}$  через переріз металевого провідника за сили струму в ньому  $0,8\text{ мкА}$ .
5. За графіком залежності величини перенесеного заряду від часу (мал. 132) визначте силу струму в провіднику.



Мал. 132. До завдання 5

6. За графіком залежності сили струму від часу (мал. 133) визначте заряд, що проходить через поперечний переріз провідника за 3 секунди. Яку фізичну величину можна визначити, обчисливши площу прямокутника ODBC?



Мал. 133. До завдання 6

## § 28

Електрична  
напруга

**Електрична напруга.** Розглянемо ще раз механічну модель електричного кола (мал. 125, с. 162).

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 різниця 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. При цьому 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 на те, що чим більшою є напруга на кінцях ділянки кола, тим більшу роботу виконає сила, яка діє з боку електричного поля, для переміщення заряду 1 Кл. 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.

## Ви дізнаєтесь

- Що таке електрична напруга
- Як вимірюють електричну напругу

## Пригадайте

- Умови існування електричного струму



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 Кл по цій ділянці провідника дорівнює 1 джоуль:  $1 \text{ В} = \frac{1 \text{ Кл}}{1 \text{ Дж}}$ .

Різні джерела струму характеризуються робочою напругою.

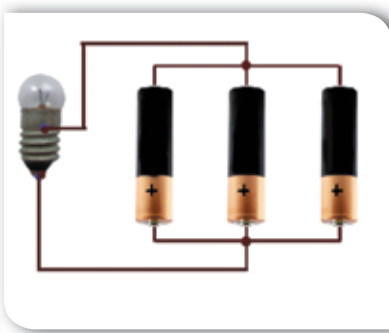
Таблиця 2

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
Мобільний телефон у режимі роботи	0,53	3,6–5
Електрична лампа	0,3–0,4	220
Пилосос	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	1 500
Апарат для контактного зварювання	10 000	1–10



а



б

Мал. 134. З'єднання джерел струму:  
а — послідовне; б — паралельне

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 залізонікелевого 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. 134, а): окремі елементи приєднують один до одного різнойменними полюсами. Якщо хочуть одержати джерело, що дає більший струм, використовують паралельне з'єднання елементів (мал. 134, б): окремі елементи з'єднують у батарею однойменними полюсами.

Для вимірювання напруги використовують спеціальні прилади — **вольтметри** (мал. 135).

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.



а



б

Мал. 135. Вольтметр:  
а — демонстраційний; б — лабораторний

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.

### 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:  $U = \frac{A}{q}$ .

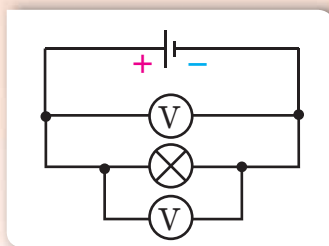
Напругу вимірюють вольтметром, вмикаючи його паралельно до ділянки кола, на якій вимірюють напругу.

### Я знаю, вмію й 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. Чи однакову напругу покажуть вольтметри (мал. 136)?



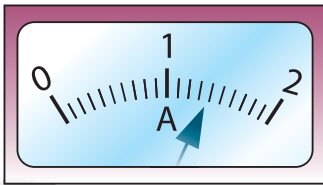
Мал. 136.  
До завдання 1

2. Чи можна стверджувати, що до та після вмикання амперметра в електричне коло сила струму залишається в ньому незмінною?
3. Як за допомогою вольтметра визначити полюси джерела постійного струму?

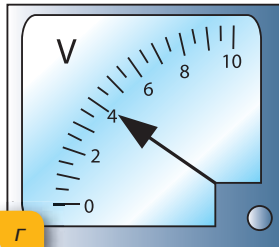


## Вправа 11

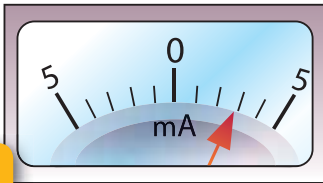
1. Визначте напругу на ділянці електричного кола, якщо під час перенесення заряду 50 Кл електричне поле виконує роботу 1,2 кДж.
2. Яка напруга на кінцях провідника, якщо під час проходження по ньому заряду 5 Кл виконується робота 1,1 кДж?
3. Напруга між хмарами під час грози 10 000 кВ. Скільки електронів проходить між хмарами, якщо при цьому виконується робота 0,16 Дж?
4. Під час світіння лампи розжарювання виконується робота 3,96 кДж. Визначте електричний заряд, який пройшов через лампу, якщо вона ввімкнута в мережу 220 В.
5. На малюнку 137 зображено шкали амперметрів і вольтметрів. Визначте для кожного приладу межі вимірювання та ціну поділки шкали. Яку силу струму показує кожний амперметр? Яку напругу показує кожний вольтметр?



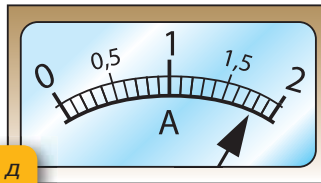
а



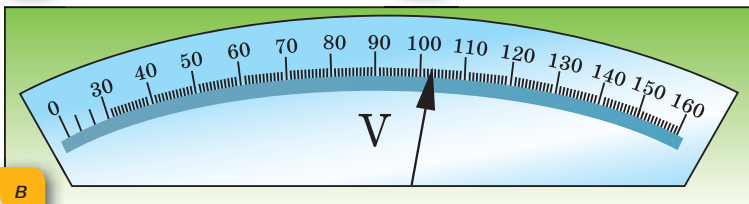
г



б



д



в

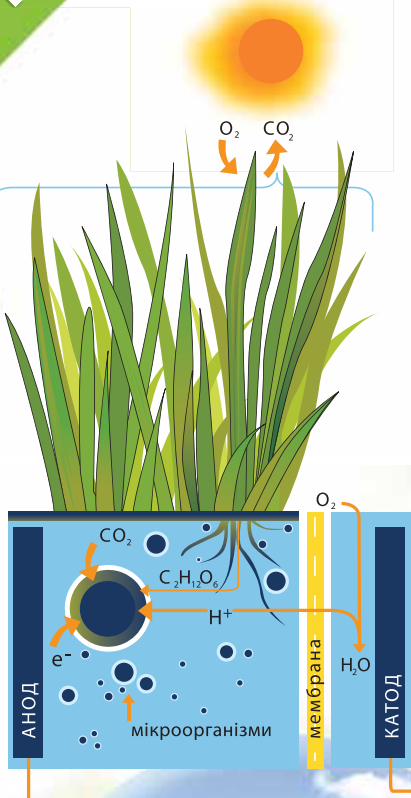
Мал. 137. До завдання 5



# Фізика Навколо нас

## РОСЛИННО-МІКРОБНІ ДЖЕРЕЛА СТРУМУ

Учені винайшли так звані рослинно-мікробні елементи, дія яких ґрунтується на отриманні електричної енергії з біологічної енергії життєдіяльності рослин.



Унаслідок фотосинтезу утворюються органічні продукти, що виводяться з рослин через корені. Бактерії ґрунту, що містяться навколо коренів, розщеплюють ці органічні речовини, вивільняючи електрони. Розмістивши вуглецеві електроди навколо коренів, можна створити джерело електричного струму.



# СПОСОБИ ПІДЗАРЯДКИ ТЕЛЕФОНУ В ПРИРОДНИХ УМОВАХ

Можливо, вам доводилось бути в ситуації, коли ваш мобільний телефон розрядився і немає доступу до електричної мережі. У цьому разі вам допоможуть такі джерела струму:

**Сонячні батареї**



**Вітряний генератор**



**Електрокаструля**



**Велосипед-динамо**



**Динамо-машина**



**Електробуржуйка**



**Електрочоботи**



**Електрофутболка**



**Зарядка від гальванічних елементів**





## § 29

# Електричний опір.

## Закон Ома для ділянки кола

### Ви дізнаєтесь

- Як пов'язані між собою сила струму й електрична напруга

### Пригадайте

- Що таке сила струму й електрична напруга

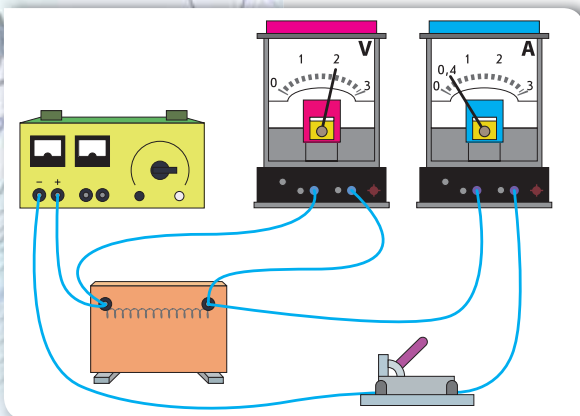
### Залежність сили струму в провіднику від напруги.

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 питання: як залежить сила струму в провіднику від напруги на його кінцях?

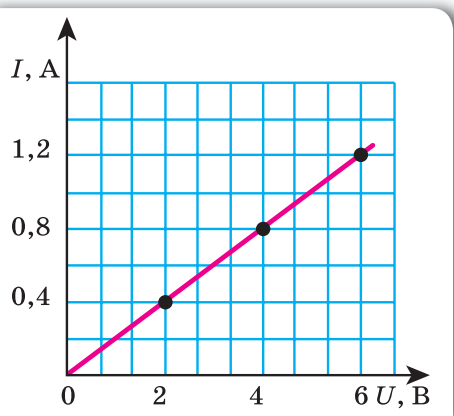
Проведемо дослід. Складемо електричне коло, споживачем у якому буде металевий дріт (провідник-спіраль), а джерелом струму — пристрій, на виході якого можна змінювати напругу.

Для вимірювання сили струму та напруги на ділянці кола, що містить провідник-спіраль, приєднаємо амперметр і вольтметр (мал. 138, а).

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*.



а



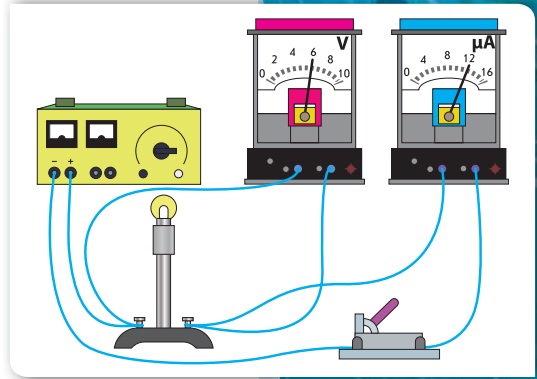
б

Мал. 138. Дослід зі встановлення залежності між силою струму й напругою:  
а — схема дослідження; б — графічне представлення результатів дослідження

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 приведе до 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 більший струм у колі (мал. 138, б).



Мал. 139. Дослід, що демонструє залежність сили струму від властивостей провідника

Сила струму в провіднику прямо пропорційна напрузі на кінцях провідника.

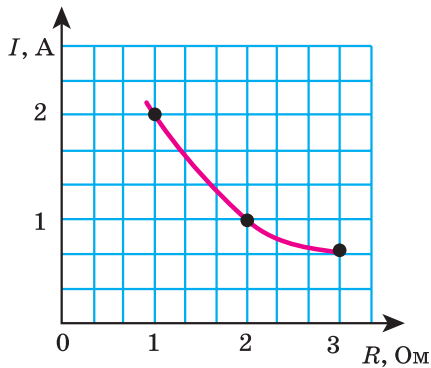
**Електричний опір.** Змінимо умови досліду — замінимо провідник-спіраль на спіраль лампи розжарювання. За тієї самої напруги 6 В сила струму буде такою малою, що для її вимірювання доведеться замість амперметра ввімкнути міліамперметр, який покаже 12 мА (мал. 139).

Таким чином, сила струму в спіралі лампи буде в 100 разів меншою, ніж у провіднику-спіралі.

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).



Мал. 140. Графік залежності сили струму від опору

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. 140).

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 опору цієї ділянки. Цю залежність уперше експериментально встановив у 1826 р. німецький учений Георг Ом, і вона отримала назву «закон Ома».

**Закон Ома** для ділянки кола формулюється таким чином:

сила струму в однорідній ділянці кола прямо пропорційна напрузі на кінцях цієї ділянки та 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  $R = \frac{U}{I}$ .

**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 в такому разі набуває великих значень. Як наслідок, вийдуть із ладу амперметр і джерело струму, а з'єднувальні провідники сильно нагріються й 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 та

обернено пропорційна її опору:  $I = \frac{U}{R}$ .

### Я знаю, вмію й 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.



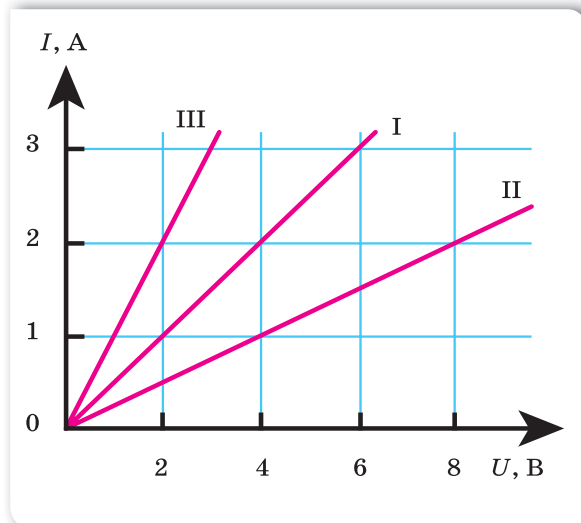
### ПОЯСНІТЬ

1. Проаналізуйте формулу  $R = \frac{U}{I}$ . Чи можна вважати, що опір ділянки електричного кола залежить від сили струму в ній та 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 12

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 зображено графіки залежності сили струму в провіднику від напруги (мал. 141). Поясніть причину розбіжностей значень сили струму на графіках I, II, III за напруги 2 В. Визначте електричний опір кожного з провідників.



Мал. 141. 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 № 3

### 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 і напруги на його кінцях.

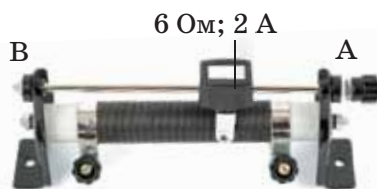
**Прилади і матеріали:** джерело струму, досліджуваний провідник (ніхромова спіраль), амперметр, вольтметр, реостат, вимикач, з'єднувальні провідники.

У цій роботі для регулювання сили струму в колі використовують спеціальний прилад — реостат.

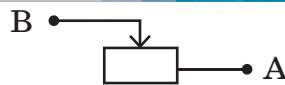
На малюнку 142, *а* зображено зовнішній вигляд повзункового реостата. Для виготовлення такого приладу на керамічний каркас щільно намотують металевий дріт, наприклад константан. Для ізолювання витків дроту між собою їх покривають тонким шаром окалини. Над обмоткою кріпиться металевий стержень, по якому вільно може рухатися повзунок із контактами, 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 металевого стержня. На верхній частині ручки вказані максимальні значення опору й сили струму, за якої можна використовувати реостат.

Реостат вмикається в електричне коло за допомогою двох затискачів, один з яких розташований на корпусі й з'єднаний із дротом (А), а другий — на протилежному кінці металевого стержня, по якому рухається повзунок (В).

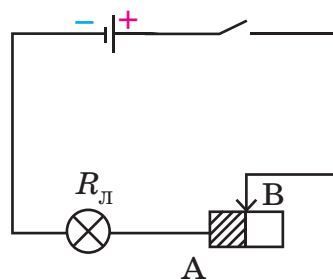
На малюнку 142, *б* зображено умовне позначення реостата на електричних схемах.



а



б



в

Мал. 142. Реостат: *а* — зовнішній вигляд; *б* — умовне зображення; *в* — принцип роботи



На малюнку 142, в, с. 181 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 у колі 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 (враховуйте 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.

Номер досліджу	Сила струму $I$ , А	Напруга $U$ , В	Опір $R$ , Ом
1			
2			
3			

8. Зробіть висновки.
- 9\*. 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, в якому послідовно з'єднані джерело струму, амперметр і демонстраційна панель, на якій закріплені провідники (мал. 143). 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).

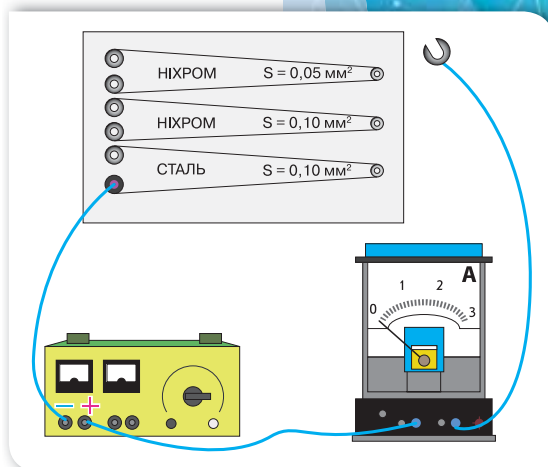
Будемо спочатку включати в електричне коло весь провідник і спостерігати за показаннями амперметра, а потім його половину. Помітимо, що незалежно від речовини, з якої виготовлено провідник, та площі поперечного перерізу сила

### Ви дізнаєтесь

- Що таке питомий опір

### Пригадайте

- Закон Ома
- Що таке електричний опір



Мал. 143. Дослід для визначення залежності опору металевого провідника від його довжини, площі поперечного перерізу та від речовини, з якої він виготовлений

струму при включенні всього провідника вдвічі менша, ніж при включенні половини провідника. Тобто опір усього провідника вдвічі більший, ніж його половини.

Це пояснюється тим, що чим більшою є довжина провідника ( $l$ ), тим 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.

Пояснюється це тим, що чим більшим є поперечний переріз провідника ( $S$ ), тим більше проміжків між йонами, через які безперешкодно можуть рухатись 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 й площу поперечного перерізу. Помітимо, що величина сили струму відрізнятиметься.

Це пояснюється тим, що провідники з різних металів мають різні кристалічні ґратки, 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 м<sup>2</sup>.

Позначається літерою  $\rho$  (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 м<sup>2</sup>, 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 в квартирі становить 2,5 мм<sup>2</sup>), то її найчастіше виражають у мм<sup>2</sup> 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 °С (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 співдари з електронами. Тому опір металів збільшується з підвищенням температури.

Як видно з таблиці, метали (срібло, мідь, свинець, алюміній) мають порівняно невеликий питомий опір. Для провідників в електричних колах використовують дроти з міді, алюмінію.

В електричних лампах розжарювання, електронагривальних 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;  $\rho$  — питомий опір речовини провідника.

### Підбиваємо підсумки

Опір металевго 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;  $\rho$  — 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<sup>2</sup>.

### Я знаю, вмію й розумію

1. Від чого залежить опір металевго 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 одного й того самого матеріалу, вдвічі коротший за другий. 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 мм<sup>2</sup>. Напруга на затискачах реостата становить 40 В. Чому дорівнює сила струму, що проходить крізь реостат?

**Дано:**

$l = 50 \text{ м}$

$S = 0,5 \text{ мм}^2$

$U = 40 \text{ В}$

$\rho = 0,4 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$

$I = ?$

**СІ****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 формулою:

$$I = \frac{US}{\rho l}$$

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 13

- Обчисліть опір залізного дроту завдовжки 1 м, якщо його поперечний переріз  $10 \text{ мм}^2$ .
- Опір мідного дроту довжиною 90 м дорівнює 2 Ом. Визначте площу поперечного перерізу дроту.
- 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?
- Визначте, скільки метрів нікелінового дроту перерізом  $0,1 \text{ мм}^2$  потрібно для виготовлення реостата опором 180 Ом.
- Визначте масу мідного дроту, довжина якого 2 км й опір 8,5 Ом. Густина міді  $8,9 \text{ г/см}^3$ .
- До будинку прокладено кабель із мідними жилами загальним перерізом  $100 \text{ мм}^2$ . Довжина кабелю дорівнює 80 м. Який його опір?
- Визначте опір кожного кілометра мідного трамвайного проводу, поперечний переріз якого дорівнює  $51 \text{ мм}^2$ .
- Крізь нікеліновий провідник довжиною 5 м і поперечним перерізом  $0,12 \text{ мм}^2$  протікає струм силою 1,5 А за напруги 24 В. Визначте питомий опір нікеліну.
- Скільки треба взяти метрів мідного дроту перерізом  $3 \text{ мм}^2$ , щоб його опір був таким самим, як опір алюмінієвого дроту перерізом  $4 \text{ мм}^2$  і довжиною 15 м?





## Перевірте себе (§ 18–30)

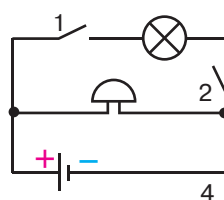
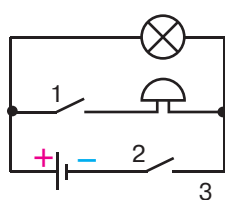
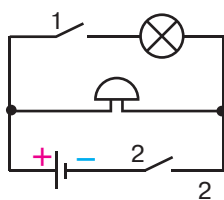
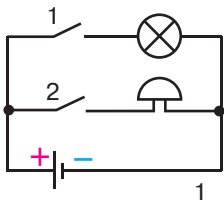


### Рівень А (початковий)

- Що відбуватиметься з підвішеною на шовковій нитці незарядженою легкою кулькою, якщо до неї піднести заряджене тіло?
  - кулька притягнеться до зарядженого тіла
  - кулька відштовхнеться від зарядженого тіла
  - кулька спочатку притягнеться до зарядженого тіла, а після контакту з ним — відштовхнеться
  - оскільки кулька незаряджена, то вона не взаємодіятиме із зарядженим тілом
- Для чого легкі гільзи або кульки, з якими демонструють досліди із взаємодії зарядів, підвішують на шовкових нитках?
  - шовкові нитки легкі й гнучкі
  - шовкові нитки тонкі й міцні
  - шовкові нитки не проводять електричних зарядів
  - шовкові нитки добре електризуються
- 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	В 5600 електронів
Б $5,6 \cdot 10^{20}$ 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
-------	--------	---------	---------
- Які частинки є вільними носіями заряду в металевих провідниках?
  - негативно заряджені йони
  - позитивно заряджені йони
  - йони обох знаків
  - електрони
- Оберіть схему електричного кола (мал. 144), у якому при замиканні вимикача 2 дзвінок не працює, а лампа світиться.



Мал. 144.  
До завдання 6А

А 1 і 2

Б 3

В 2

Г 1, 2 і 4

## Рівень В (середній)

1. Маємо три однакові металеві кульки, підвішені на шовкових нитках. Заряд однієї дорівнює 2 нКл, другій — (-12 нКл), а третій — 4 нКл. Кульки зіткнули та розвели. Який заряд матимуть кульки після цього?

А 8 нКл      Б 2 нКл      В -8 нКл      Г -2 нКл

2. Укажіть напругу на реостаті, якщо під час проходження по ньому електричного заряду 12 Кл електричне поле виконало роботу 720 Дж.

А 20 В      Б 60 В      В 0,2 В      Г 8,64 кВ

3. Опір мідного дроту завдовжки 1 км, якщо його поперечний переріз 10 мм<sup>2</sup>, дорівнює...

А 17 Ом      В 170 Ом  
Б 1,7 Ом      Г 0,017 Ом

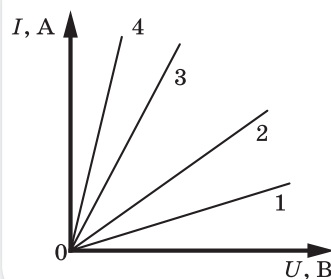
## Рівень С (достатній)

1. Оберіть графік залежності сили струму в металевому провіднику від напруги, який відповідає провіднику з найменшим опором (мал. 145).

А 1      В 3  
Б 2      Г 4

2. У спіралі електронагрівача, виготовленій з нікелінового дроту площею поперечного перерізу 0,1 мм<sup>2</sup>, за напруги 220 В сила струму 4 А. Визначте довжину дроту.

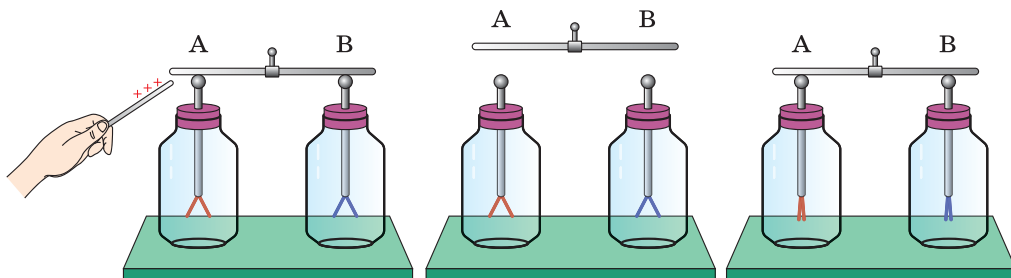
3. Два негативні заряди перебувають на відстані 20 мм один від одного. Заряди взаємодіють із силою  $8,1 \cdot 10^{-4}$  Н. Визначте величину кожного з двох зарядів.



Мал. 145.  
До завдання 1С

## Рівень D (високий)

1. Поясніть процеси, зображені на малюнку 146.



Мал. 146.  
До завдання 1D

а

б

в

2. Скільки електронів проходить через залізний дріт упродовж 10 с за напруги на ньому 16 В? Довжина дроту 1 м, площа поперечного перерізу 10 мм<sup>2</sup>.

# § 31

## Послідовне з'єднання провідників

### Ви дізнаєтесь

- Як визначається загальний опір послідовно з'єднаних елементів електричного кола, як розподіляється сила струму й напруга в такому з'єднанні

### Пригадайте

- Яке з'єднання елементів електричного кола називають послідовним

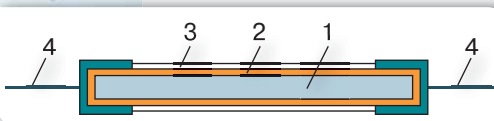
**Резистори.** У сучасній радіоелектроніці широко використовують резистори — *прилади, призначені для зміни опору електричного кола.*

Резистор (від латин. *resisto* — опираюсь) включають в електричне коло, щоб змінити його опір  $i$ , відповідно до закону Ома, — силу струму в колі.

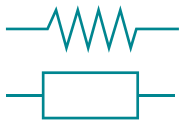
Найпростіший резистор складається з каркаса, виготовленого з непровідного та жаротривкого матеріалу *1*, дроту з великим питомим опором, що намотаний на каркас *2*, захисного шару *3* та виводів *4*, за допомогою яких резистор включається в електричне коло (мал. 147, *а*).

На електричних схемах резистори зображають у вигляді умовних позначень (мал. 147, *б*). Залежно від призначення резистори виготовляють різних розмірів та конструкцій (мал. 147, *в*).

Розв'язуючи задачі з фізики або виконуючи досліді, 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.



а



За стандартами США

За європейськими стандартами

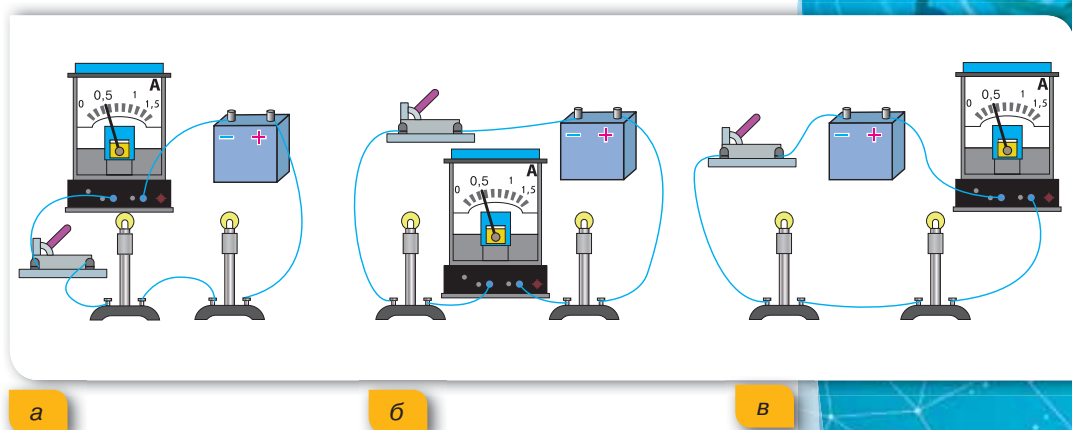
б



в

Мал. 147. Резистор: *а* — внутрішня будова; *б* — умовні позначення на електричних схемах; *в* — зовнішній вигляд





Мал. 148. 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

### 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.

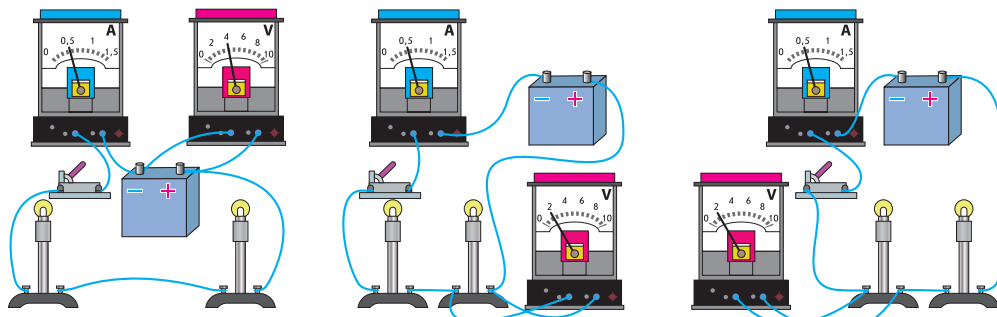
**Сила струму на ділянці кола з послідовним з'єднанням провідників.** Розглянемо електричне коло з послідовно з'єднаних джерела струму, двох електроламп, амперметра та вимикача (мал. 148, а). Замкнемо електричне коло та виміряємо силу струму  $I_1$  у ньому.

Вимкнемо електричне коло, увімкнемо амперметр між електролампами (мал. 148, б) та виміряємо силу струму  $I_2$ . Виконаємо вимірювання сили струму  $I_3$  між джерелом струму та електролампами (мал. 148, в). Порівняємо 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



а

б

в

Мал. 149. Вимірювання напруги в електричному колі з послідовним з'єднанням провідників: а — на джерелі; б — на першій лампі; в — на другій лампі

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. 149). 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 та 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 та опори його ділянок.

Оскільки загальна напруга на кінцях послідовного з'єднання дорівнює сумі напруг на окремих ділянках кола, тобто  $U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$ , то

$$I \cdot R = I \cdot R_1 + I \cdot R_2 + \dots + I \cdot R_n.$$

$$\text{Звідси: } R = R_1 + R_2 + \dots + R_n.$$

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 й 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 вимірне 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 та їх 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 опороми 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:

$$R_1 = 2 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 3 \text{ Ом}$$

$$R_3 = 5 \text{ Ом}$$

$$I = 1 \text{ А}$$

$$R - ?$$

$$U - ?$$

$$U_1 - ?$$

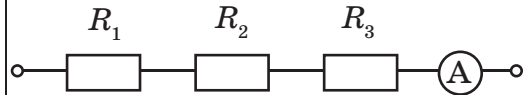
$$U_2 - ?$$

$$U_3 - ?$$

#### СІ

#### Розв'язання:

Схема ділянки кола, яка розглядається в задачі, має вигляд (мал. 150):



Мал. 150. 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 у всіх 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:

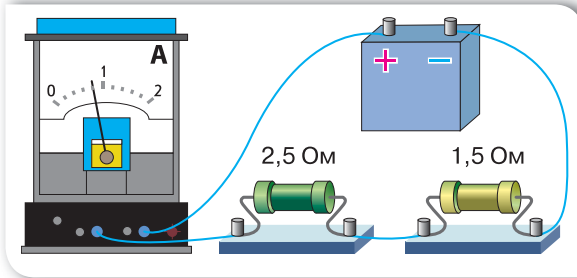
$$U = U_1 + U_2 + U_3, \text{ або } U = I \cdot R,$$

$$U = 2 \text{ В} + 3 \text{ В} + 5 \text{ В} = 10 \text{ В}, \text{ або } U = 1 \text{ А} \cdot 10 \text{ Ом} = 10 \text{ В}.$$

$$\text{Відповідь: } R = 10 \text{ Ом}, U_1 = 2 \text{ В}, U_2 = 3 \text{ В}, U_3 = 5 \text{ В}, U = 10 \text{ В}.$$

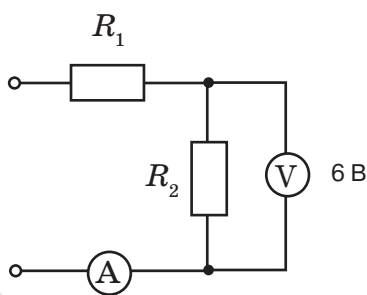
## Вправа 14

- Користуючись даними з малюнку 151, визначте напругу джерела струму та напругу на кожному резисторі.

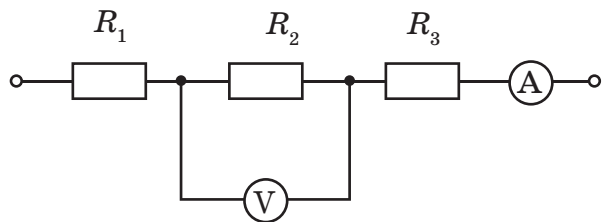


Мал. 151. До завдання 1

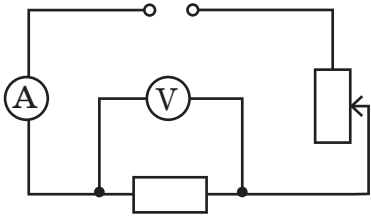
- В освітлювальну мережу 220 В увімкнули послідовно дві електричні лампи з однаковим опором. Якою буде напруга на кожній із ламп?
- Опір електричного кола, що складається з двох послідовно з'єднаних однакових ламп і реостата, дорівнює 1000 Ом. Визначте опір кожної лампи, якщо опір реостата дорівнює 120 Ом.
- На малюнку 152 зображено електричне коло. Опори резисторів, увімкнутих 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. 153). 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?



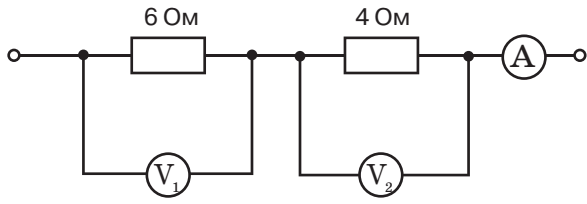
Мал. 152. До завдання 4



Мал. 153. До завдання 5

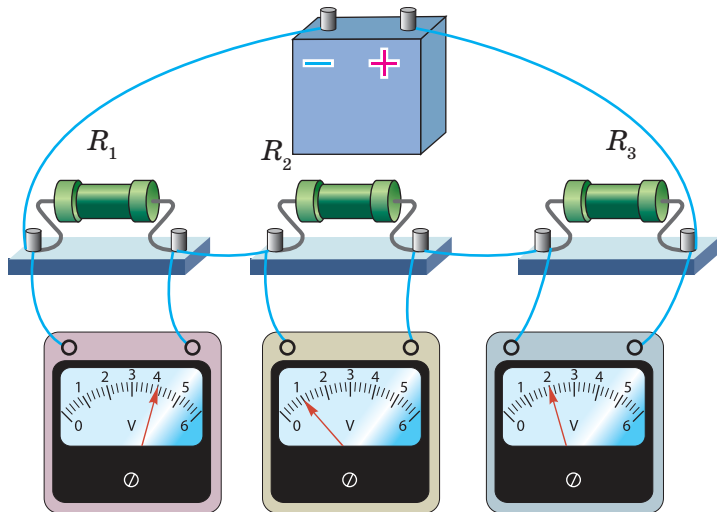


Мал. 154. До завдання 6



Мал. 155. До завдання 7

6. Як зміняться показання електричних приладів, зображених на малюнку 154, якщо повзунок реостата перемістити вниз; угору?
7. Визначте показання амперметра та другого вольтметра (мал. 155), якщо показання першого вольтметра 18 В.
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 відрізняться показання вольтметра на першому і другому провідниках?
9. Використовуючи показання вольтметрів, зображених на малюнку 156, дайте відповідь на запитання: яким є опір резистора  $R_1$ , якщо опір резистора  $R_2$  дорівнює 10 Ом?



Мал. 156. До завдання 9





## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

### Дослідження електричного кола з послідовним з'єднанням провідників

**Мета роботи:** дослідити електричні кола з послідовним з'єднанням провідників, перевірити закони послідовного з'єднання провідників.

**Прилади і матеріали:** 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 показаннями амперметра. Включіть амперметр після другої лампи і виміряйте силу струму  $I_2$ . Увімкніть амперметр в інше місце кола і виміряйте силу струму  $I$ . Переконайтеся, що сила струму є однаковою. Результати вимірювань запишіть до таблиці.

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									

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 до таблиці.
5. Обчисліть опори ламп  $R_1$ ,  $R_2$  та загальний опір послідовно з'єднаних елементів  $R$ . Результати вимірювань запишіть до таблиці.
6. Зробіть висновки.

## § 32

## 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

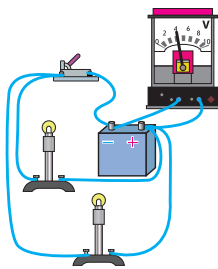
**Паралельне з'єднання елементів електричного кола.** Паралельним називають таке з'єднання елементів електричного кола, за якого перші кінці всіх провідників приєднують до однієї точки електричного кола, а другі кінці — до іншої.

У розгалужених колах є так звані вузлові точки (точки, в 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 відрізнитися за значенням. Паралельно полюсам джерела струму або затискачам споживача електричної енергії вмикається в електричне коло вольтметр.

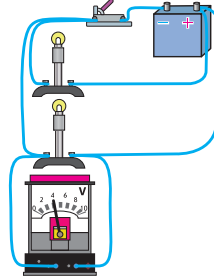
**Напруга на ділянці кола з паралельним з'єднанням провідників.** Розглянемо електричне коло, що складається з двох паралельно з'єднаних низьковольтних електроламп, джерела струму, вольтметра та вимикача. Вмикаючи вольтметр так, як показано на малюнку 157, *а-в*, переконаємось, що напруга на кінцях кожного паралельно з'єданого провідника та напруга на джерелі струму є однаковими.

Напруга на кожному паралельно приєданому провідникові є однаковою і дорівнює напрузі на всій ділянці кола:

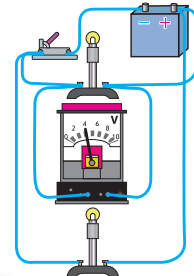
$$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n.$$



а

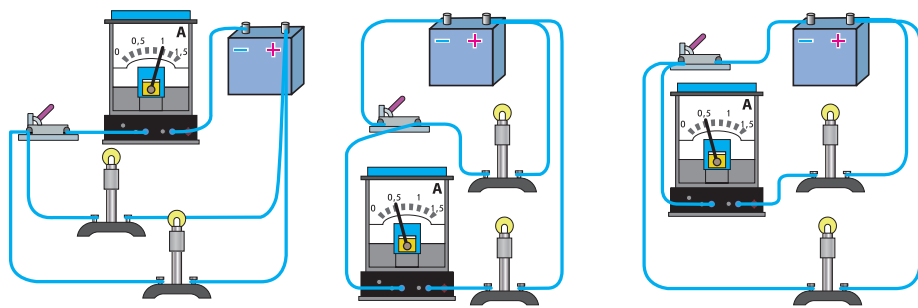


б



в

Мал. 157. Вимірювання напруги в колі з паралельним з'єднанням провідників: а — на джерелі; б — на першій лампі; в — на другій лампі



а

б

в

Мал. 158. Вимірювання сили струму в колі з паралельним з'єднанням провідників: а — у загальній частині кола; б — у першій лампі; в — у другій лампі

Завдяки цій властивості паралельного з'єднання його широко використовують у техніці та 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. 158). Замкнемо електричне коло та виміряємо силу струму  $I$  до розгалуження (повну силу струму в колі), 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 приєданому 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 й 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 та їх опори пов'язані співвідношенням  $\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$ ?
2. Два дроти однакової довжини і однакового перерізу (залізний та мідний), увімкнуті в електричне коло паралельно. У якому з дротів сила струму буде більшою?

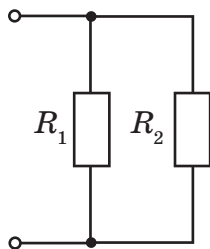


### ВЧИМОСЯ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ЗАДАЧІ

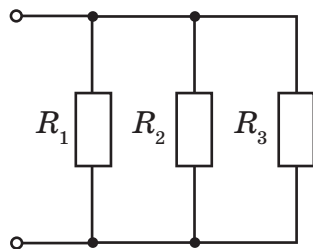
#### Задача 1

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:  $R = \frac{R_0}{n}$ .

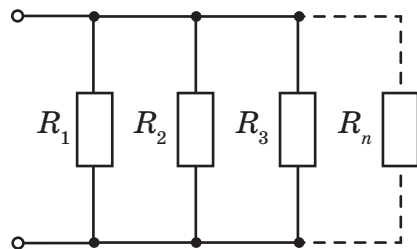
<b>Дано:</b> $R_0$ $n$	СІ	<b>Розв'язання:</b> Розглянемо випадок паралельного з'єднання двох однакових провідників (мал. 159, а).
<b>Довести:</b> $R = \frac{R_0}{n}$		



а



б



в

Мал. 159. 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. 159, б, с. 201):  $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_0} + \frac{1}{R_0} + \frac{1}{R_0} = \frac{3}{R_0}$ , звідки  $R = \frac{R_0}{3}$ .

Відповідно для  $n$  паралельно з'єднаних однакових провідників (мал. 159, в, с. 201) 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,  $R_3 = 15$  Ом. Визначте загальний опір ділянки кола.

<b>Дано:</b> $R_1 = 3$ Ом $R_2 = 5$ Ом $R_3 = 15$ Ом $R = ?$	СІ	<b>Розв'язання:</b> 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 їх загальний опір дорівнює 7,5 Ом. Сила струму в першому резисторі 400 мА, у другому — 1,2 А. Визначте опір кожного резистора, загальну напругу в колі.

<b>Дано:</b> $I_1 = 400$ мА $I_2 = 1,2$ А $R = 7,5$ Ом $R_1 = ?$ $R_2 = ?$ $U = ?$	СІ 0,4 А	<b>Розв'язання:</b> 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: $U = I \cdot R$ , $U = 1,6 \text{ А} \cdot 7,5 \text{ Ом} = 12 \text{ В}$ .
---	-------------	---



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:

$$R_1 = \frac{U}{I_1}, \quad R_2 = \frac{U}{I_2},$$

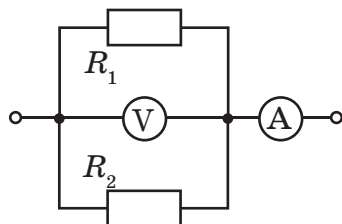
$$R_1 = \frac{12\text{В}}{0,4\text{А}} = 30\text{Ом}, \quad R_2 = \frac{12\text{В}}{1,2\text{А}} = 10\text{Ом}.$$

**Відповідь:** 30 Ом; 10 Ом; 12 В.

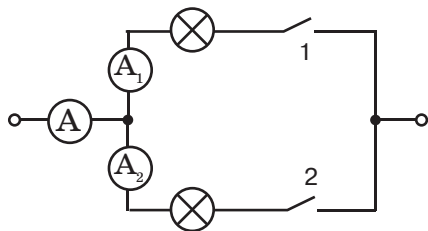


### Вправа 15

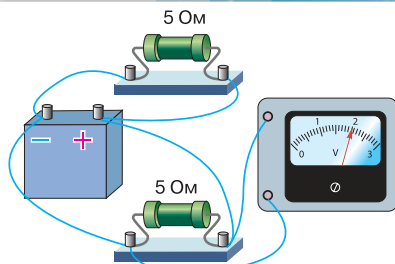
- Неізолюваний дрiт має електричний опiр 1 Ом. Визначте опiр цього самого дроту, пiсля того як його розрiзали посерединi та скрутили отриманi половини разом по всiй довжинi.
- Ізолюваний дрiт опором 1 Ом розрiзали посерединi та скрутили отриманi половини разом по всiй довжинi. Визначте опiр такого провiдника.
- Ізолюваний провiд розрiзали на три частини i сплели в один. У скiльки разiв змiнився опiр проводу?
- Два провiдники паралельно приєднано до джерела струму. Опiр одного 150 Ом, другого — 30 Ом. Визначте, у якому провiднику сила струму бiльша й у скiльки разiв.
- Амперметр, включений в електричне коло (мал. 160), показує силу струму 1,6 А за напруги 120 В. Опiр резистора  $R_1 = 100$  Ом. Визначте опiр другого резистора  $R_2$  й силу струму в кожнiй дiлянцi кола.
- \* Дiлянка електричного кола мiстить двi однаковi паралельно приєднанi лампи, три амперметри та два вимикачi (мал. 161). Якщо замкненi вимикачi 1 i 2, амперметр А показує силу струму 1,2 А. Що покажуть амперметри  $A_1$  i  $A_2$ , якщо замкнути: лише вимикач 1; лише вимикач 2?
- До джерела струму приєднано два однаковi резистори (мал. 162). За даними малюнка визначте силу струму в колi.



Мал. 160. До завдання 5



Мал. 161. До завдання 6



Мал. 162. До завдання 7



## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

### Дослідження електричного кола з паралельним з'єднанням провідників

**Мета роботи:** дослідити електричні кола з паралельним з'єднанням провідників, перевірити закони паралельного з'єднання провідників.

**Прилади і матеріали:** 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 потім до клем лампи  $L_2$ , виміряйте напругу  $U_2$ . Результати вимірювань запишіть до таблиці.
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 до таблиці.
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.



## ВЧИМОСЯ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ЗАДАЧІ

### Розв'язування задач на 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 зображено на мал. 163, подано напругу 55 В. Опори всіх резисторів однакові й дорівнюють 2 Ом. Визначте загальний опір кола, а також силу струму й напругу на кожному резисторі.

З малюнка видно, що на схемі лише три резистори з'єднані певним чином — це резистори  $R_4, R_5, R_6$ , і з'єднані вони між собою послідовно. Визначимо їхній загальний опір:

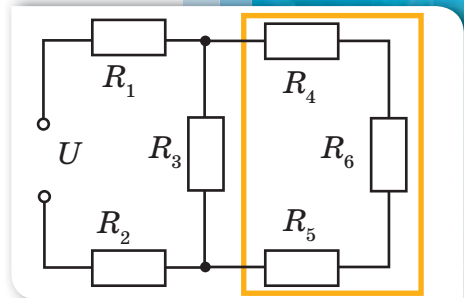
$$R_{456} = R_4 + R_5 + R_6 = 6 \text{ Ом.}$$

Тепер можна накреслити еквівалентну схему, замінивши ці резистори еквівалентним  $R_{456}$  (мал. 164).

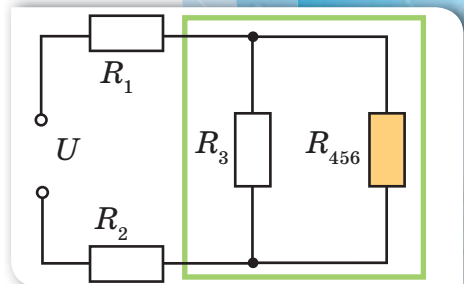
Тепер добре видно, що резистори  $R_3$  і  $R_{456}$  з'єднані між собою паралельно, отже, опір цієї ланки:

$$R_{3456} = \frac{R_3 \cdot R_{456}}{R_3 + R_{456}} = \frac{20 \text{ Ом} \cdot 60 \text{ Ом}}{20 \text{ Ом} + 60 \text{ Ом}} = 1,5 \text{ Ом.}$$

Після цього можна накреслити еквівалентну схему (мал. 165, с. 206), замінивши паралельно з'єднані резистори еквівалентним  $R_{3456}$ .

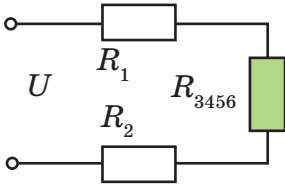


Мал. 163

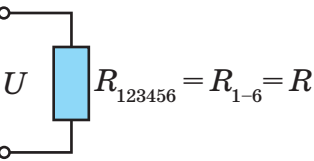


Мал. 164





Мал. 165



Мал. 166

Чітко видно, що тепер усі резистори з'єднані послідовно, отже, загальний опір кола (мал. 166):

$$R = R_{1-6} = R_1 + R_2 + R_{3456} = 2 \text{ Ом} + 2 \text{ Ом} + 1,5 \text{ Ом} = 5,5 \text{ Ом}.$$

Тоді загальний струм:

$$I = \frac{U}{R} = \frac{55 \text{ В}}{5,5 \text{ Ом}} = 10 \text{ А}.$$

А тепер будемо розглядати еквівалентні схеми у зворотному напрямі: від простіших до складніших, тобто в напрямі до початкової схеми. Спочатку розглянемо малюнок 165. Загальна сила струму, що проходить через резистори  $R_1, R_2, R_{3456}$  ( $I = I_1 = I_2 = I_{3456} = 10 \text{ А}$ ). Отже, можна обрахувати 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:

$$U_2 = I_2 R_2 = I R_2 = 10 \text{ А} \cdot 2 \text{ Ом} = 20 \text{ В}.$$

$$U_{3456} = I_{3456} \cdot R_{3456} = I \cdot R_{3456} = 10 \text{ А} \cdot 1,5 \text{ Ом} = 15 \text{ В}.$$

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, правильно чи ні ми розв'яжемо задачу. Якби цей закон не підтвердився, то потрібно було б повернутися до початку розв'язку і шукати помилку.

Обчислимо тепер силу струму в  $R_3$  і  $R_{456}$  (мал. 164, с. 205). Напруга на паралельній ланці  $U_{3456} = U_3 = U_{456}$  (закон напруг для паралельного з'єднання).

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. 163, с. 205). Отже,  $I_{456} = I_4 = I_5 = I_6 = 2,5 \text{ А}$ .

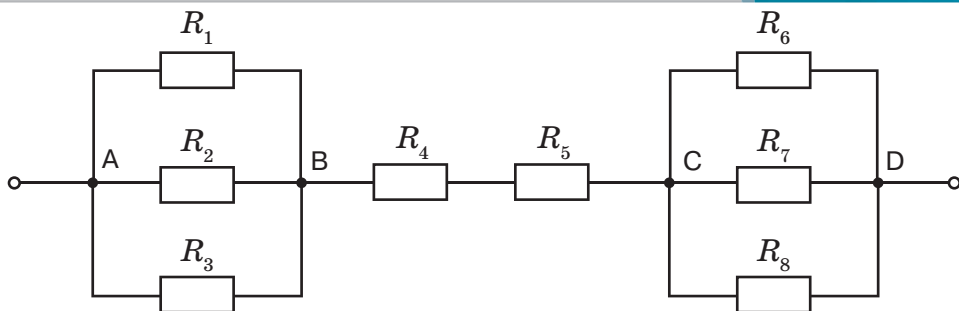
Тоді зрозуміло, що оскільки  $R_4 = R_5 = R_6$ , то  $U_4 = U_5 = U_6 = 2,5 \text{ А} \cdot 2 \text{ Ом} = 5 \text{ В}$ .

Дійсно, в 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. 167), якщо напруга між точками  $A$  і  $D$  дорівнює 26 В;  $R_1 = 2$  Ом,  $R_2 = 3$  Ом,  $R_3 = 6$  Ом,  $R_4 = 1$  Ом,  $R_5 = 2$  Ом,  $R_6 = 2$  Ом,  $R_7 = 4$  Ом,  $R_8 = 12$  Ом.



Мал. 167

Дано:

$$U = 26 \text{ В}$$

$$R_1 = R_5 = R_6 = 2 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 3 \text{ Ом}$$

$$R_3 = 6 \text{ Ом}$$

$$R_4 = 1 \text{ Ом}$$

$$R_7 = 4 \text{ Ом}$$

$$R_8 = 12 \text{ Ом}$$

$$I, I_1, I_2, I_3,$$

$$I_4, I_5, I_6,$$

$$I_7, I_8 \text{ — ?}$$

СИ

Розв'язання:

На ділянках  $AB$  і  $CD$  резистори з'єднані паралельно. Опір кожної ділянки відповідно:

$$\frac{1}{R_{AB}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3};$$

$$R_{AB} = \frac{R_1 R_2 R_3}{R_2 R_3 + R_1 R_3 + R_1 R_2} =$$

$$= \frac{2 \text{ Ом} \cdot 3 \text{ Ом} \cdot 6 \text{ Ом}}{3 \text{ Ом} \cdot 6 \text{ Ом} + 2 \text{ Ом} \cdot 6 \text{ Ом} + 2 \text{ Ом} \cdot 3 \text{ Ом}} =$$

$$= \frac{36 \text{ Ом}}{18 \text{ Ом} + 12 \text{ Ом} + 6 \text{ Ом}} = 1 \text{ Ом}.$$

$$\frac{1}{R_{CD}} = \frac{1}{R_6} + \frac{1}{R_7} + \frac{1}{R_8}; \quad R_{CD} = \frac{R_6 R_7 R_8}{R_7 R_8 + R_6 R_8 + R_6 R_7} =$$

$$= \frac{2 \text{ Ом} \cdot 4 \text{ Ом} \cdot 12 \text{ Ом}}{4 \text{ Ом} \cdot 12 \text{ Ом} + 2 \text{ Ом} \cdot 12 \text{ Ом} + 2 \text{ Ом} \cdot 4 \text{ Ом}} =$$

$$= \frac{96 \text{ Ом}}{48 \text{ Ом} + 24 \text{ Ом} + 8 \text{ Ом}} = 1,2 \text{ Ом}.$$

Тоді загальний опір кола буде складатись із послідовно з'єднаних ділянок  $AB$ ,  $BC$  і  $CD$ :

$$R = R_{AB} + R_{BC} + R_{CD}, \text{ де } R_{BC} = R_4 + R_5.$$

$$R_{BC} = 1 \text{ Ом} + 2 \text{ Ом} = 3 \text{ Ом};$$

$$R_{AB} = 1 \text{ Ом}; \quad R_{CD} = 1,2 \text{ Ом}.$$

$$R = 1 \text{ Ом} + 3 \text{ Ом} + 1,2 \text{ Ом} = 5,2 \text{ Ом}.$$

За законом Ома для ділянки кола визначаємо:  
 $I = \frac{U}{R}; I = \frac{26 \text{ В}}{5,2 \text{ Ом}} = 5 \text{ А}$ . Струм такої сили проходить  
 через резистори  $R_4$  і  $R_5$ , тобто  $I_4 = I_5 = I = 5 \text{ А}$ .

Напруга на ділянці  $AB$ :  $U_{AB} = IR_{AB} = 5 \text{ А} \cdot 1 \text{ Ом} = 5 \text{ В}$ .

Така сама напруга й на кожному з резисторів  $R_1, R_2, R_3$ , оскільки вони з'єднані паралельно.

$$\text{Тоді } I_1 = \frac{U_{AB}}{R_1} = \frac{5 \text{ В}}{2 \text{ Ом}} = 2,5 \text{ А}.$$

$$\text{Аналогічно: } I_2 = \frac{U_{AB}}{R_2} = \frac{5 \text{ В}}{3 \text{ Ом}} = 1,7 \text{ А},$$

$$I_3 = \frac{U_{AB}}{R_3} = \frac{5 \text{ В}}{6 \text{ Ом}} = 0,8 \text{ А}.$$

Так само визначаємо силу струму в кожному резисторі на ділянці  $CD$ .

Напруга на ділянці  $CD$ :  $U_{CD} = IR_{CD} = 5 \text{ А} \cdot 1,2 \text{ Ом} = 6 \text{ В}$ ,

$$\text{тоді } I_6 = \frac{U_{CD}}{R_6} = \frac{6 \text{ В}}{2 \text{ Ом}} = 3 \text{ А}, I_7 = \frac{U_{CD}}{R_7} = \frac{6 \text{ В}}{4 \text{ Ом}} = 1,5 \text{ А},$$

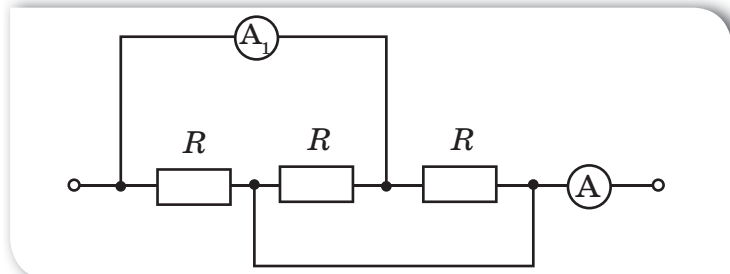
$$I_8 = \frac{U_{CD}}{R_8} = \frac{6 \text{ В}}{12 \text{ Ом}} = 0,5 \text{ А}.$$

**Відповідь:**  $R = 5,2 \text{ Ом}, I_1 = 2,5 \text{ А}, I_2 = 1,7 \text{ А}, I_3 = 0,8 \text{ А},$   
 $I_4 = I_5 = I = 5 \text{ А}, I_6 = 3 \text{ А}, I_7 = 1,5 \text{ А}, I_8 = 0,5 \text{ А}.$



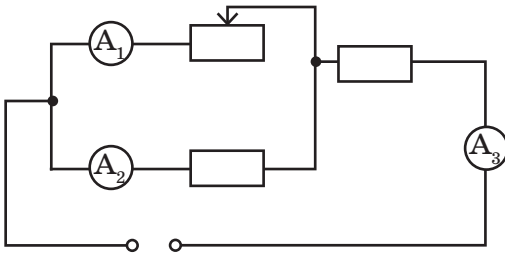
## Вправа 16

1. Чотири провідники з опором по 1,5 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 кожен?
3. Визначте показання амперметра  $A$ , якщо амперметр  $A_1$  показує 2 А (мал. 168).

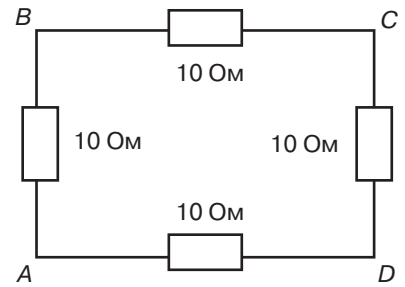


Мал. 168. До завдання 3



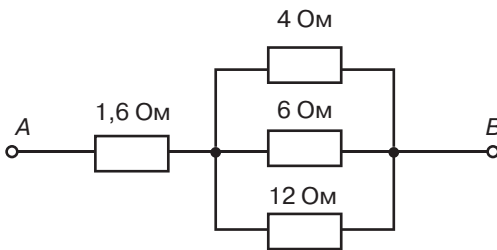


Мал. 169. До завдання 4



Мал. 170. До завдання 5

4. Як зміняться показання приладів, якщо повзунок реостата посунути вліво (мал. 169)?
- 5\*. Чотири однакові провідники з опорами по 10 Ом кожний з'єднані, як показано на малюнку 170. Яким буде загальний опір, якщо струм підвести до точок  $A$  і  $C$ ? До точок  $A$  і  $D$ ?
- 6\*. Чотири провідники з'єднані, як показано на малюнку 171. Напруга між точками  $A$  і  $B$  дорівнює 18 В. Визначте загальний опір і силу струму в окремих провідниках.



Мал. 171. До завдання 6

- 7\*. Два провідники за послідовного з'єднання мають опір 5 Ом, за паралельного з'єднання — 0,8 Ом. Визначте опір цих провідників.



## Робота і потужність електричного струму

### Ви дізнаєтесь

■ Як визначити енергетичні характеристики електричного струму

### Пригадайте

■ Що характеризують такі фізичні величини, як робота й потужність

**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, внаслідок 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

$$U = \frac{A}{q}. \text{ Відповідно робота електричного поля}$$

$A$  може бути визначена як добуток перенесеного через поперечний переріз провідника електричного заряду  $q$  та напруги  $U$  на кінцях провідника:

$$A = q \cdot U.$$

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):

$$\text{Дж} = 1 \text{ В} \cdot 1 \text{ А} \cdot 1 \text{ с} .$$

Скориставшись законом Ома для ділянки кола  $I = \frac{U}{R}$ ,

замінімо 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, в 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, яка 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 виходячи з 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:

$$P = I^2 R,$$

$$P = \frac{U^2}{R}.$$

Ці залежності є справедливими тільки в тому випадку, коли робота струму повністю витрачається на нагрівання провідника.

Визначити потужність електричного струму можна, перемноживши покази амперметра та вольтметра, увімкнених в електричне коло. Проте для вимірювання потужності використовують прилади, що дають змогу вимірювати потужність електричного струму безпосередньо. Їх називають *ватметри*.



**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 й сила струму та фактична потужність електричного приладу. Отже, значення фактичної та 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 та 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* (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.

Щоб кількісно визначити середню потужність електричного струму, необхідно роботу електричного струму  $A$  поділити на час її виконання  $t$ :

$$P = \frac{A}{t}.$$

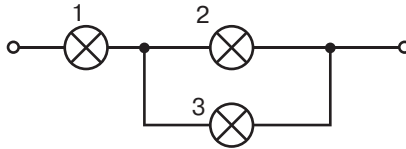
Одиницею потужності є *ват* (Вт):  $1 \text{ Вт} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{с}}$ .



- ?**
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?
  7. Які одиниці для вимірювання роботи електричного струму використовують на практиці?

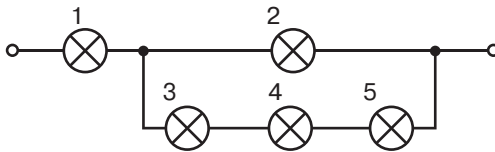
**ПОЯСНІТЬ**

1. Як зміниться потужність, споживана лампами 1 і 2, якщо лампа 3 згорить (мал. 172)?



Мал. 172. До завдання 1

- 2\*. У колі (мал. 173) усі лампи однакові. Яка з них світиться найяскравіше?



Мал. 173. До завдання 2

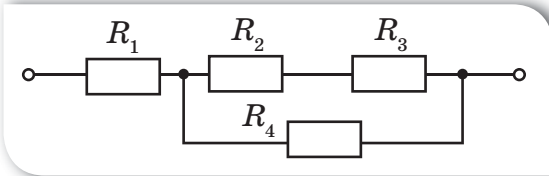




## ВЧИМОСЯ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ЗАДАЧІ

### Задача

До джерела напругою 200 В підключено ділянку кола, що складається з чотирьох резисторів (мал. 174). 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. 174

Дано:

$$U = 200 \text{ В}$$

$$R_1 = 20 \text{ Ом}$$

$$R_2 = R_3 = 25 \text{ Ом}$$

$$R_4 = 75 \text{ Ом}$$

$$P - ? \quad P_2 - ? \quad P_4 - ?$$

СІ

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:

$$\frac{1}{R_{2,3,4}} = \frac{1}{R_{2,3}} + \frac{1}{R_4} = \frac{R_4 + R_{2,3}}{R_{2,3} \cdot R_4} = \frac{R_4 + R_2 + R_3}{(R_2 + R_3) \cdot R_4}, \text{ звідки}$$

$$R_{2,3,4} = \frac{(R_2 + R_3) \cdot R_4}{R_4 + R_2 + R_3}.$$

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 цих

ділянок:  $\frac{I_4}{I_{2,3}} = \frac{R_{2,3}}{R_4} = \frac{R_2 + R_3}{R_4}$ , а також сила струму  $I_1 = I_{2,3} + I_4$ .

Розв'язуючи систему рівнянь,  $\frac{I_4}{I_{2,3}} = \frac{50}{75}$  і  $I_1 = I_{2,3} + I_4$

отримуємо:  $I_{2,3} = 2,4$  А;  $I_4 = 1,6$  А.

Потужність струму в резисторах  $R_2$  і  $R_4$  відповідно:

$$P_2 = I_{2,3}^2 R_2, P_2 = (2,4 \text{ А})^2 \cdot 25 \text{ Ом} = 144 \text{ Вт},$$

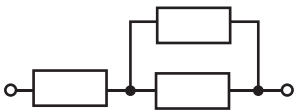
$$P_4 = I_4^2 R_4, P_4 = (1,6 \text{ А})^2 \cdot 75 \text{ Ом} = 192 \text{ Вт}.$$

**Відповідь:**  $P = 800$  Вт,  $P_2 = 144$  Вт,  $P_4 = 192$  Вт.

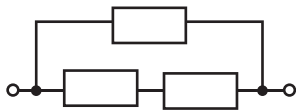


## Вправа 17

- До джерела постійної напруги 9 В підключили три однакові резистори по 1 Ом (мал. 175). Визначте потужність електричного струму в кожному із трьох запропонованих варіантів.



а

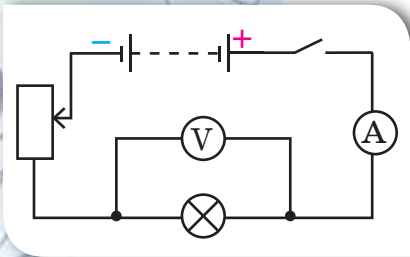


б



в

Мал. 175. До завдання 1



Мал. 176. До завдання 2

- Як буде змінюватися споживана лампою потужність (мал. 176), якщо повзунок реостата перемістити вгору? Униз?
- Визначте роботу, яку щосекунди виконує двигун електродриля, якщо за напруги 220 В сила струму в ньому становить 4 А.
- Резистори опором 600 Ом і 800 Ом приєднали паралельно до джерела струму. Порівняйте потужності на кожному резисторі.
- 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 11 м, поперечний переріз — 0,21 мм<sup>2</sup>.
- 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 %.

## § 34

# Закон Джоуля—Ленца. Електронагрівальні прилади

**Закон Джоуля—Ленца.** Електричний струм нагріває провідник. Це явище вам добре відоме. Пояснюється воно тим, що заряджені частинки, переміщуючись під впливом електричного поля, взаємодіють з атомами речовини провідника та передають їм свою енергію. Унаслідок роботи електричного струму внутрішня енергія провідника збільшується. Теплову дію електричного струму експериментально досліджували англійський учений Джеймс Джоуль та російський фізик Емілій Ленц і незалежно один від одного у 1842 р. дійшли однакового 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 і не відбуваються хімічні реакції, то результатом роботи електричного струму буде тільки нагрівання провідників. Нагрітий провідник внаслідок 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:  $Q = UIt = IRIt = I^2 R t$ .

**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 — 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. 177). У промисловості теплова дія струму використовується для плавлення спеціальних видів сталі та 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 при нагріванні до високої температури (1000–1200 °С). Найчастіше для виготовлення нагрівальних елементів застосовують сплав нікелю, заліза, хрому і 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, повинен знати їх будову, правила користування та 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

Мал. 177.  
Електронагрівальні побутові прилади

молекули води, що містяться в продуктах. Молекули води починають обертатись, виникає «міжмолекулярне тертя», в 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 є тугоплавким металом із температурою плавлення  $3387\text{ }^{\circ}\text{C}$ . У лампі розжарювання 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 мал. 178, 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 теплоту.

У 1976 р. американець Ед Харріс продемонстрував принципово нову лампу, яка згодом отримала назву енергозберігаючої газорозрядної лампи (мал. 178, 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



а



б

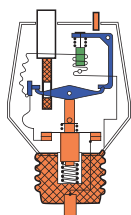


в

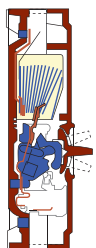
Мал. 178. Лампи:  
а — розжарювання;  
б — газорозрядні енергозберігаючі;  
в — світлодіодні



а



б



в

Мал. 179. Запобіжники:  
а — одноразові;  
б, в — автоматичні  
(багаторазові)

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. 178, в, с. 219). 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 світлову; можна розробляти лампи, що випромінюють світло певного кольору. Колір світла, яке випромінює світлодіод, залежить від хімічного складу напівпровідника, що використаний у ньому.

Світлодіоди застосовують в індикаторах, у 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 та автоматичні (багаторазові) вимикачі. Одноразовими є плавкі запобіжники (мал. 179, 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. 179, б, в). Один кінець стрічки, як правило, нерухомо закріплений у корпусі пристрою, а другий — переміщається 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 й 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 ному збільшиться у 3 рази?
2. Як зміниться кількість теплоти, що виділяється провідником під час проходження по ньому електричного струму, якщо довжину провідника зменшити у два рази?
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 1,2 А, а опір спіралі електрочайника — 260 Ом. Питома теплоємність води  $4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ . Визначте ККД електрочайника.

**Дано:**

$$\begin{aligned}
 t &= 10 \text{ хв} \\
 V &= 0,5 \text{ л} \\
 t_1 &= 20 \text{ }^\circ\text{C} \\
 t_2 &= 100 \text{ }^\circ\text{C} \\
 I &= 1,2 \text{ А} \\
 R &= 260 \text{ Ом} \\
 c &= 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}
 \end{aligned}$$

η — ?

**СІ**

$$\begin{aligned}
 &600 \text{ с} \\
 &0,0005 \text{ м}^3
 \end{aligned}$$

**Розв'язання:**

ККД нагрівального приладу чисельно дорівнює відношенню корисної енергії до затраченої:

$$\eta = \frac{E_{\text{к}}}{E_3}$$

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:

$$E_3 = Q = I^2 R t.$$

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:

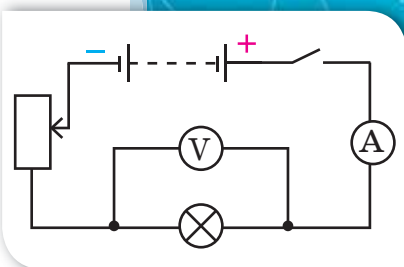
$$\eta = \frac{cm(t_2 - t_1)}{I^2 R t}.$$

$$\eta = \frac{4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 0,5 \text{ кг} \cdot (100 - 20) ^\circ\text{C}}{(1,2 \text{ А})^2 \cdot 260 \text{ Ом} \cdot 600 \text{ с}} = 0,75.$$

**Відповідь:** η = 0,75.


**Вправа 18**

1. Визначте кількість теплоти, що виділиться у провіднику опором  $15 \text{ Ом}$  за  $10 \text{ хв}$ , якщо сила струму в провіднику становить  $2 \text{ А}$ .
2. Сила струму в провіднику  $5 \text{ А}$ . Визначте опір провідника, якщо впродовж  $10 \text{ хв}$  виділяється кількість теплоти  $5 \text{ кДж}$ .
3. Поясніть, як зміниться кількість теплоти, що виділяється лампою розжарення (мал. 180), якщо повзунок реостата перемістити донизу; вгору.
4. Два провідники, опір яких  $10 \text{ Ом}$  і  $23 \text{ Ом}$ , увімкнули в мережу, напруга якої  $100 \text{ В}$ . 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  $220 \text{ В}$  і сили струму  $20 \text{ А}$ , якщо  $10 \%$  споживаної потужності витрачається не на обігрів, а на вентиляцію.
6. Пральна машина має потужність нагрівальних тенів  $1500 \text{ Вт}$  і ККД  $80 \%$ . За який час тені нагріють воду об'ємом  $5 \text{ л}$  від  $20$  до  $90 \text{ }^\circ\text{C}$ ?
7. На електроплитці, увімкненій у мережу напругою  $220 \text{ В}$ , стоїть каструля, в якій міститься  $0,5 \text{ л}$  води з початковою температурою  $20 \text{ }^\circ\text{C}$ . За  $2 \text{ хв}$  вода закипає. Визначте ККД електроплитки, якщо сила струму становить  $7 \text{ А}$ .
- 8\*. Тролейбус масою  $11 \text{ т}$  рухається рівномірно зі швидкістю  $36 \text{ км/год}$ . Визначте силу струму в обмотці двигуна, якщо напруга дорівнює  $550 \text{ В}$ , а ККД —  $80 \%$ . Коефіцієнт опору рухові становить  $0,02$ .
- 9\*. Електродвигун підйомного крана працює під напругою  $380 \text{ В}$  і споживає силу струму  $20 \text{ А}$ . Який ККД має кран, якщо вантаж масою  $1 \text{ т}$  він піднімає на висоту  $20 \text{ м}$  за  $50 \text{ с}$ ?
- 10\*. Із нікелінового дроту завдовжки  $6 \text{ м}$  виготовлено нагрівник, який за сили струму  $5 \text{ А}$  за  $14 \text{ хв}$  нагріває  $1,5 \text{ л}$  води на  $84 \text{ }^\circ\text{C}$ . Визначте діаметр дроту. Втратами енергії знехтувати.



Мал. 180. До завдання 3



## § 35

## Електричний струм у металах

## Ви дізнаєтесь

- Як рухаються вільні електрони в металевих провідниках під дією електричного поля

## Пригадайте

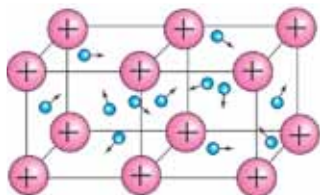
- Внутрішню будову твердих тіл

## Природа електричного струму в металах.

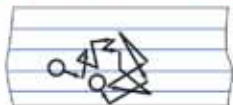
Як ми вже неодноразово зазначали, деякі електрони в металах легко залишають свій атом і стають вільними. Тепер потрібно з'ясувати: як рухаються вільні електрони в металевих провідниках? За відсутності у провіднику електричного поля електрони рухаються хаотично, подібно до того, як рухаються молекули газів (мал. 181, *а*). Саме тому сукупність вільних електронів у металах ще називають «електронним газом». У будь-який момент часу швидкості руху різних електронів відрізняються значенням і напрямом. Траєкторією руху електрона є довільна ламана (мал. 181, *б*).

За наявності у провіднику електричного поля електрони, зберігаючи свій хаотичний рух, починають зміщуватись у напрямі позитивного полюса джерела (мал. 182, *а*). Разом із безладним рухом електронів виникає і їх упорядкований рух. На малюнку 182, *б* схематично показано траєкторію руху одного електрона під дією електричного поля.

Електричний струм у металах (металевих провідниках) — це впорядкований рух електронів під дією електричного поля, яке створює джерело електричного струму.



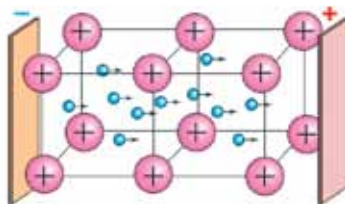
а



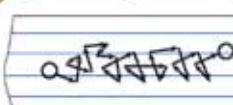
б

Мал. 181. Рух вільних електронів за відсутності електричного поля:

- а — у кристалічній ґратці;
- б — траєкторія руху електрона



а



б

Мал. 182. Рух вільних електронів за наявності електричного поля:

- а — у кристалічній ґратці;
- б — траєкторія руху електрона



### 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 кристалічної ґратки 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 кожен 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 видно, 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 й розумію

1. Як рухаються електрони у 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 іонів?





## Електричний струм у розчинах і розплавах електролітів. Закон Фарадея

**Природа електричного струму в розчинах і розплавах електролітів.** Ще на початку вивчення електричного струму 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 й 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 та 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 та 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.

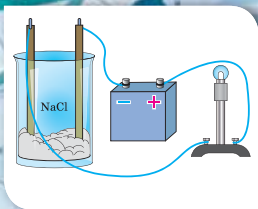
Проведемо дослід. З'єднаємо послідовно джерело струму, електричну лампу та два електроди (анод — електрод, приєднаний до позитивного полюса джерела

### Ви дізнаєтесь

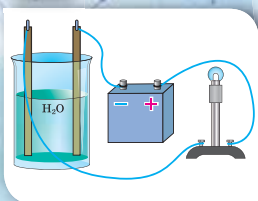
- Особливості електричного струму в рідких середовищах

### Пригадайте

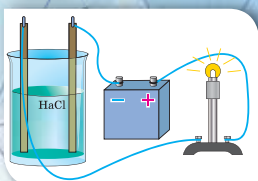
- Умови існування електричного струму
- Що таке анод і катод



а



б



в

Мал. 183.  
Дослідження  
провідності:  
а — солі;  
б — дистильованої  
води; в — розчину  
солі

струму, та катод — електрод, приєднаний до негативного полюса джерела струму). Звичайно ж, лампочка світитися не буде, оскільки електричне коло розімкнуте. Додамо у склянку кухонну сіль  $\text{NaCl}$  та опустимо в неї електроди (мал. 183, а). Лампочка знову не світиться, оскільки кухонна сіль є діелектриком.

Зануримо тепер електроди в ємність із дистильованою водою (мал. 183, 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. 183, 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 (§ 25), ми вже згадували про хімічну дію струму. Дослідимо її детальніше.

У розчині під дією електричного поля до катода рухаються позитивно заряджені йони (катіони), які при кон-

такті 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), досягнувши поверхні анода, навпаки, «віддають» йому надлишкові електрони і також нейтралізуються.

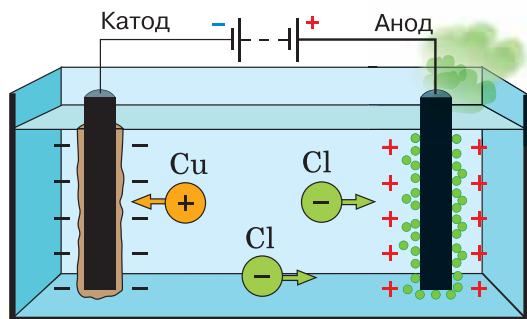
Розглянемо приклад. Хлорид міді  $\text{CuCl}_2$  дисоціює у водному розчині на йони міді та хлору:



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. 184).

Досягнувши катода, йони міді нейтралізуються його надлишковими електронами та 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 одному 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  $\text{Cl}_2$ . 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.



Мал. 184. Процес електролізу

**Електроліз** — це процес виділення речовини на електродах під час проходження електричного струму крізь розчини або розплави електролітів.

**Закон Фарадея для електролізу.** У 1833–1834 рр. видатний англійський учений Майкл Фарадей експериментально встановив кількісні співвідношення, що описують явище електролізу. Закон Фарадея для електролізу дає змогу обчислити масу речовини, яка виділяється на електроді.



### 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).

**Електрохімічний еквівалент речовини** дорівнює масі цієї речовини, що виділяється на електроді за 1 с під час проходження через електроліт струму силою 1 А.

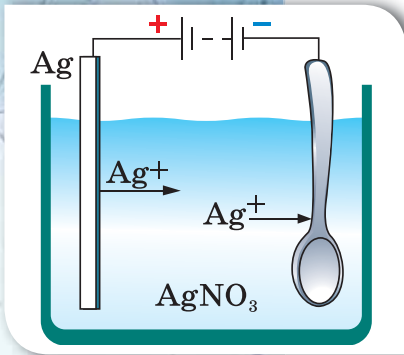
Значення електрохімічного еквівалента найбільш поширених речовин подано в таблиці на форзаці підручника.

**Використання електролізу.** Явище електролізу застосовується в сучасній техніці. Розглянемо деякі приклади.

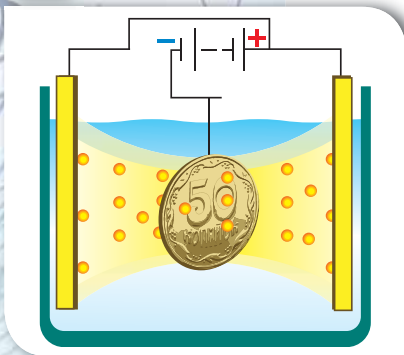
Деталі технічних пристроїв, деякі частини предметів побуту інколи покривають тонкою плівкою благородного металу (платина, золото, срібло) з декоративно-естетичною метою або з метою запобігання корозії. Такий процес називається **гальваностегія** (від *гальвано* і грец. *stego* — покриваю). У техніці, 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. 185, 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. 185, б). У процесі проходження через ванну електричного струму зліпок покривається



а

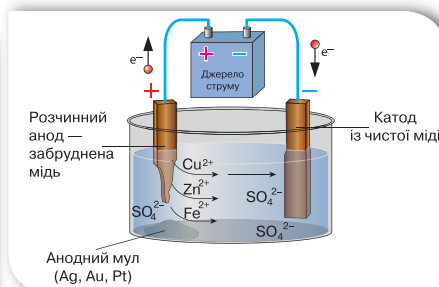


б

Мал. 185. Застосування електролізу: а — гальваностегія; б — гальванопластика



а



б

Мал. 186.  
Рафінування міді:  
а — промислові  
установки;  
б — схема дії

товстим шаром металу. За допомогою гальванопластики виготовляють, наприклад, точні копії дорогоцінних прикрас, знайдених археологами.

Процес рафінування (очищення) металів також ґрунтується на явищі електролізу. На малюнку 186 показано, як очищують (рафінують) мідь. Із цією метою пластини із забрудненого металу занурюють в електроліт, який містить солі цього металу та 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 називається *електролітичною дисоціацією*.

Речовини, водні розчини або розплави яких проводять електричний струм, називаються *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.



- ?**
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  $800 \text{ см}^2$  було вкрито шаром нікелю товщиною  $54 \text{ мкм}$ . За якої сили струму відбувався електроліз, якщо він тривав  $4 \text{ год}$ ?

#### 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:

$$m = \rho V = \rho Sd.$$

Прирівнюючи формули, визначаємо силу струму:

$$I = \frac{\rho d S}{kt}.$$



$$I = \frac{8,9 \cdot 10^3 \frac{\text{КГ}}{\text{М}^3} \cdot 5,4 \cdot 10^{-5} \text{М}^2 \cdot 8 \cdot 10^{-2} \text{М}^2}{0,3 \cdot 10^{-6} \frac{\text{КГ}}{\text{Кл}} \cdot 1,44 \cdot 10^4 \text{с}} = 8,9 \text{А.}$$

Відповідь: 8,9 А.



## Вправа 19

1. У розчині електроліту внаслідок проходження заряду 1 Кл на катоді виділяється 1,118 мг срібла. Визначте масу срібла, що виділиться внаслідок проходження електричного заряду 500 Кл.
2. Під час електролізу розчину цинк сульфату виділилося 2,45 г цинку. Визначте електрохімічний еквівалент цього металу, якщо крізь електроліт протягом 60 хв проходив електричний струм силою 2 А.
3. Якою була сила струму під час електролізу розчину мідного купоросу, якщо за 50 хв на катоді виділилося 1,98 г міді?
4. Під час посріблення виробу на катоді за 30 хв осіло 4,55 г срібла. Визначте силу струму під час електролізу.
5. Під час електролізу необхідно затратити 2 кВт·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 г? Сила струму становила 2 А.
7. У разі пропускання через електроліт струму силою 1,5 А за 5 хв на катоді виділяється 137 мг деякої речовини. Що це за речовина?

## § 37

Електричний струм  
у газах

## Ви дізнаєтесь

- Особливості електричного струму в газоподібних середовищах

## Пригадайте

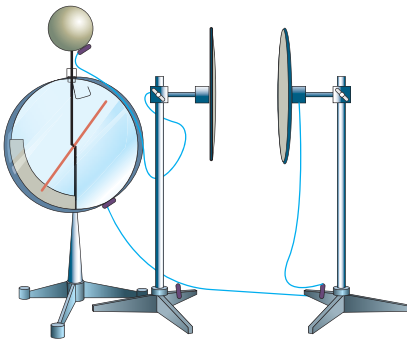
- Умови існування електричного струму

**Газовий розряд.** За звичайних умов гази майже повністю складаються з нейтральних атомів чи молекул, тому є діелектриками.

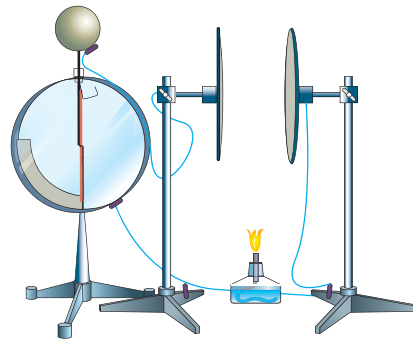
Переконайтеся в тому, що повітря є діелектриком, можна за допомогою такого досліду. Візьмемо дві металеві пластини. Одну з пластин приєднаємо до корпусу електрометра. Потім доторкнемося негативно зарядженою паличкою до пластини, приєднаної до електрометра. Обидві пластини набудуть електричного заряду, одна негативного (внаслідок дотику), друга (та, що заземлена) — позитивного (внаслідок впливу) (мал. 187, а).

За умови достатньо сухого повітря заряд на пластинках триматиметься доволі довго, а отже, електричний струм через повітряний простір між пластинками не проходить. Це свідчить про те, що в повітрі між зарядженими пластинками майже відсутні вільні носії електричного заряду.

Однак за деяких умов можна одержати електричний струм і в газах. Внесемо у простір між пластинками запалену спиртівку. Спостерігаємо швидкий розряд електрометра (мал. 187, б). Отже, повітря внаслідок значного підвищення температури набуло провідності й замкнуло



а



б

Мал. 187. Дослід з електропровідності повітря: а — за нормальних умов повітря не проводить електричний струм; б — нагріте повітря проводить електричний струм

коло, тобто в нагрітому газі протікає електричний струм. Процес проходження електричного струму через газ називають *газовим розрядом*.

**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 приводить до йонізації газу, називають *йонізатором*.

Отже, в йонізованому газі вільними носіями електричного заряду є: електрони, позитивні та 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 й зворотний процес — *рекомбінація*. Він полягає в тому, що позитивні та 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 і створюють електричний струм у газах — газовий розряд.

У випадку газового розряду позитивні йони рухаються до катода, а негативні йони та електрони — до анода. На електродах відбувається нейтралізація заряджених частинок, так само, як при проходженні 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 та 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.

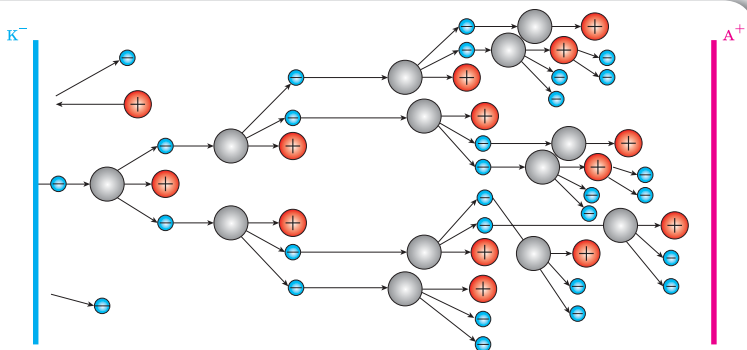
**Самостійний газовий розряд** — це електричний розряд у газі, що зберігається після припинення дії зовнішнього йонізатора.

З'ясуємо, за яких умов можливий самостійний газовий розряд. Розглянемо пару заряджених частинок (позитивний йон і електрон), що утворилася завдяки дії зовнішнього йонізатора і 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 за рахунок роботи 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 та йонізують зустрічні атоми, і т. д. Унаслідок цього кількість заряджених частинок швидко зростає, виникає *електронна лавина* (мал. 188).

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



Мал. 188. Модель електронної лавини

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 набути 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.



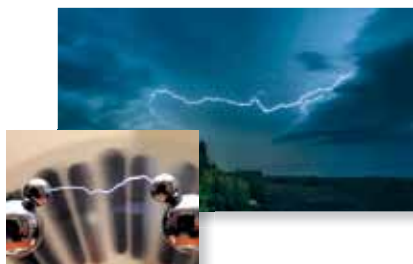
### Тліючий

спостерігається за низьких тисків (десять і 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 проводів 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 у прожекторах, проєкційних апаратах і кіноапаратах, а також для зварювання металів



## Підбиваємо підсумки

Процес проходження електричного струму через газ називають газовим розрядом.

Процес утворення позитивних і негативних йонів та вільних електронів з молекул (атомів) називають йонізацією.

Рекомбінація — процес утворення молекул (атомів) у результаті зіткнення позитивних і негативних частинок.

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.

Газовий розряд, який відбувається тільки за наявності зовнішнього йонізатора, називають несамостійним газовим розрядом.

Самостійний газовий розряд — розряд, який може існувати без зовнішнього йонізатора.

Самостійний розряд у газах підтримується за рахунок ударної йонізації та емісії (вильоту) електронів.

Розрізняють такі види самостійного газового розряду: тліючий, іскровий, коронний та дуговий.

### Я знаю, вмію й розумію



1. Чому за звичайних умов гази 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 несамостійним; самостійним?



### ПОЯСНІТЬ

1. До зарядженого електроскопа піднесли запалений сірник. Що відбуватиметься зі стрілкою електроскопа?
2. Чим відрізняється йонізація газів від дисоціації електролітів?



# 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 інші, потрібно включати в електромережу тільки повністю справними.
2. Переважна кількість побутових електроприладів є переносними, і при цьому часто виникає пошкодження їх ізоляції. Також буває, що електричний кабель обірвався чи оголився. У таких випадках у жодному разі не торкайтеся 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 торкайтеся 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 (Між іншим, 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.



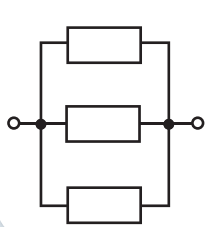
## ⚡ Перевірте себе (§ 31–37) ⚡

### Рівень А (початковий)

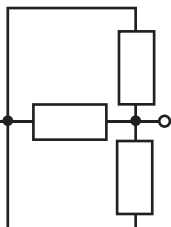
1. Два резистори з'єднані послідовно. Опір першого резистора 5 Ом, а опір другого — 15 Ом. Виберіть правильне твердження.
  - А загальний опір резисторів 10 Ом
  - Б сила струму в першому резисторі більша
  - В напруга на обох резисторах однакова
  - Г сила струму в обох резисторах однакова
  
2. Як зміниться кількість теплоти, що виділяється в провіднику зі струмом за певний інтервал часу, якщо за незмінного опору напругу на ньому зменшити у 2 рази?
  - А збільшиться в 4 рази
  - Б зменшиться в 4 рази
  - В збільшиться у 2 рази
  - Г зменшиться у 2 рази
  
3. Електродвигун, увімкнений до мережі, споживає потужність 6,2 кВт. Яку роботу виконає струм у колі двигуна за 1,5 год?
 

А 4,13 кДж	В 9,3 кДж
Б 33,48 МДж	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 (мал. 189)? (Усі резистори однакові).

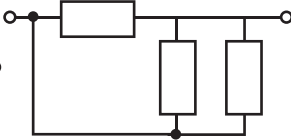
Мал. 189.  
До завдання 6А



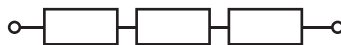
А



Б



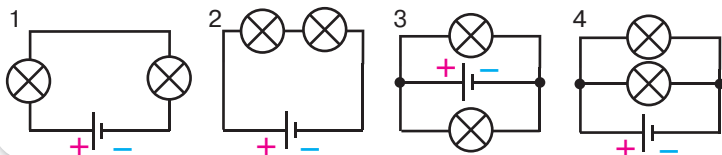
В



Г

## Рівень В (середній)

1. У яких випадках лампи з'єднано паралельно (мал. 190)?



А 1                      Б 2                      В 3 і 4                      Г 1 і 4

2. Які носії заряду утворюються під час іонізації газу?

А електрони  
 Б електрони та позитивні йони  
 В електрони та йони обох знаків  
 Г позитивні та 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

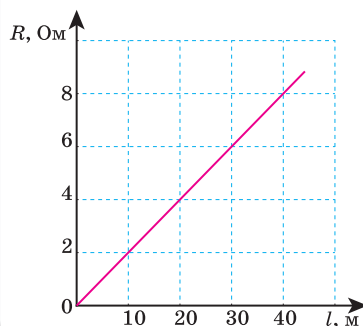
## Рівень С (достатній)

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. На малюнку 191 зображено залежність опору провідника площею поперечного перерізу  $1 \text{ мм}^2$  від його довжини. Визначте питомий опір матеріалу провідника.

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  $0,2 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2 / \text{м}$

## Рівень D (високий)

1. Скільки часу повинен працювати електричний чайник, щоб нагріти 0,5 л води від  $20^\circ\text{C}$  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.



Мал. 191.  
 До завдання 3С

Мал. 190.  
 До завдання 1В



## Підсумки до розділу «Електричні явища. Електричний струм»

Після вивчення розділу «Електричні явища» вам стали більш зрозумілими ті природні й штучні явища та процеси, що пояснюються особливостями руху й 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, коли ви змушені 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.

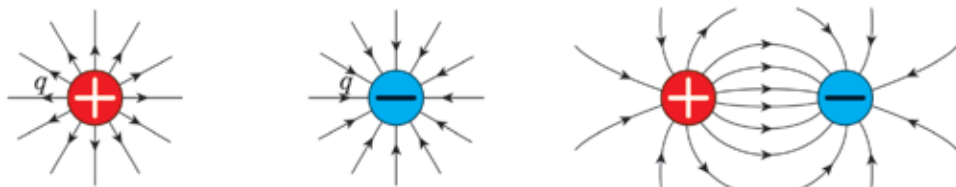
Електризація **через дотик** — набуття тілами, що контактують електричного заряду внаслідок обміну електронами.

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.

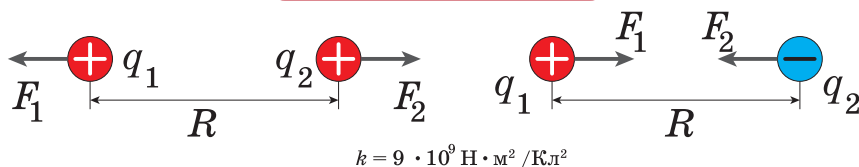


Лінії, за допомогою яких графічно зображують електричне поле, називають *силовими лініями*.



**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.

$$F = k \frac{|q_1| |q_2|}{R^2}$$



Одноіменно заряджені тіла відштовхуються, різнойменно заряджені — притягуються.

**Електричний струм** — це процес напрямленого руху заряджених частинок.

Для виникнення й існування електричного струму необхідна *наявність носіїв струму та електричного поля*, дія якого створює й підтримує їхній напрямлений рух.

**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
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 та вільних електронів з молекул (атомів) газу
Носії струму	Вільні електрони	Позитивні й негативні йони	Позитивні й негативні йони та електрони
Закони	Закон Ома Закон Джоуля—Ленца	Закон Фарадея	

*Джерела електричного струму* — це пристрої, в яких відбувається перетворення різних видів енергії (механічної, хімічної, теплової, світлової) в електричну.

Хімічні джерела струму  
(гальванічні елементи, акумулятори)



Фотоелементи



Електрофорна машина



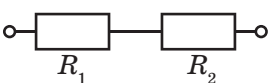
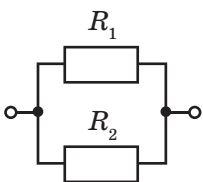
Термоелемент



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 та обернено пропорційна її електричному опору:  $I = \frac{U}{R}$ .

Послідовне з'єднання	Паралельне з'єднання
 $R = R_1 + R_2$	 $\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$ $R = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$
<p>Сила струму в усіх частинах електричного кола однакова:  <math>I = I_1 = I_2 = \dots = I_n</math>.</p>	<p>Сила струму в нерозгалуженій частині кола дорівнює сумі сил струму в окремих паралельно з'єднаних елементах електричного кола:  <math>I = I_1 + I_2 + \dots + I_n</math>.</p>
<p>Повна напруга в електричному колі (або напруга на полюсах джерела струму) дорівнює сумі напруг на окремих ділянках кола:  <math>U = U_1 + U_2 + \dots + U_n</math>.</p>	<p>Напруга на кожному паралельно приєднаному провідникові є однаковою і дорівнює напрузі на всій ділянці кола:  <math>U = U_1 = U_2 = \dots = U_n</math>.</p>

Електричний струм проявляється за такими діями: *тепловою, хімічною та 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  $I$  і 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 <sup>2</sup>	$\rho$	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 досліди проводив 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 ввійшов як учений, який довів, що блискавка являє собою електричний розряд в атмосфері
1748–1751 рр.	Російський фізик Георг-Вільгельм Ріхман відкрив явище електростатичної індукції (електризації через вплив). Винайшов електрометр
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 та водень
1808 р.	Англійський учений Гемфрі Деві уперше здійснив електроліз солей. Установив залежність електропровідності провідників від їхньої довжини, площі поперечного перерізу, залежність електропровідності від температури
1820 р.	Датський фізик Ганс-Крістіан 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 електролізу
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 ПРОЕКТИ



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 та інші гаджети й комунікатори. Готівку поступово замінюють банківські картки. Транспортні засоби із двигунами внутрішнього згорання — електромобілі.

Блага цивілізації, з одного боку, необхідні, а з другого — можуть бути шкідливими.

**Ви можете оцінити роль і значення електрики в житті людини, виконуючи навчальні проекти**

**«ЕЛЕКТРИКА В ЖИТТІ ЛЮДИНИ»,  
«ВПЛИВ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМЦЮ  
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 зекономити на використанні енергозберігаючих ламп?
- ◆ Чому економічно вигідно переходити на зимовий і літній час?

**Спробуйте дати відповіді на ці запитання,  
виконуючи навчальні проекти:**

«СУЧАСНІ ПОВУТОВІ ТА ПРОМИСЛОВІ ЕЛЕКТРИЧНІ ПРИБЛАДИ»,

«СУЧАСНІ ПРОБЛЕМИ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ».



# Відповіді до вправ

## Вправа 1

- а) 3220 Дж;  
б) 559 200 Дж
- Збільшиться в 2 рази
- 9200 Дж
- 378 Дж/(кг·°C)
- Нагрівання; вода
- $c_{III} > c_{II} > c_I$
- На 10 °C
- 20 °C
- На нагрівання води у 25 разів більше

## Вправа 2

- 40 °C
- 6,4 °C
- 120 л гарячої, 80 л холодної
- 40 °C
- 12 °C
- 2172 Дж/(кг·°C)
- 10550 Дж
- 19,5 °C
- 0,1 °C/хв

## Перевірте себе (§ 1-10)

Рівень А (початковий)

- Б
- А
- А
- Б
- Г
- А

Рівень В (середній)

- В
- А
- В

Рівень С (достатній)

- Г
- 30 °C
- 117,2 кДж

Рівень D (високий)

- 109 г
- 880 Дж/(кг·°C)

## Вправа 3

- Для льоду. У 13,8 разів
- У рідкому
- У 158 разів
- Ні. Лід спочатку нагрівається до температури

плавлення, а вже потім тоне, і процес плавлення потребує надходження теплоти.

## 5. Правильно на мал. б.

На мал. а помилка в швидкості нагрівання.

На мал. в — помилка в температурі плавлення

## 6. 3125 Дж

7. I — лід, II — сталь

## 8. 83,3 °C

## 9. 8 °C

## 10. 44,1 кДж

## Вправа 4

1. Ні. Для кипіння необхідна додаткова енергія, а взяти її можна тільки від більш нагрітого тіла.

2. Водяна пара.

3.  $57,5 \cdot 10^5$  Дж

4. 2,72 МДж

5. 12,3 МДж.

6. 89,4 °C

7. 74,3 кДж

8. 26,36 МДж

## Вправа 5

1. 4,82 кг

2. 133 МДж

3. Ні, спалювання кам'яного вугілля прогріє піч більше

4. 105 МДж; 15 частин бензину на 4 частини спирту

5. Дизельне паливо

6. 15 МДж/кг; 30 МДж/кг; у 2 рази

7. 216 МДж; дизельне паливо і природний газ

8. 55 °C

9. 105 кДж

10. 100 кДж; 333 Вт

## Вправа 6

1. 29,4 %

2. 0,96 ГДж

3. 33,3 %

4. 20 %

5. 9,9 %

6. 33,3 %

7. 3,1 кг

8. 40 %

9. 140 кВт

## Перевірте себе (§ 11-17)

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. 52 Дж/(кг·°C)

2. 545 Н

## Вправа 7

1. (1;1), (3;3), (11; 11), (13;13)

2. —

3. 1–А; 2–Б; 3–Г

4. а — позитивний;  
б — негативний

## Вправа 8

1.  $6,4 \cdot 10^{-7}$  Кл;  $3,64 \cdot 10^{-18}$  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

7. —

## Вправа 9

1. Модуль сили взаємодії не зміниться, а напрям — зміниться на протилежний

- 1–2 притягання;  
2–3 відштовхування;  
1–3 притягання
- Збільшиться в 3 рази
- 45 мН
- 3,35 см
- 10 нКл
- $9 \cdot 10^{-5}$  Н;  $5 \cdot 10^{-5}$  Н
- $36 \cdot 10^{-5}$  Н, в напрямку заряду 40 нКл

**Вправа 10**

- 3,4 А
- 15,4 с
- 0,6 А
- $5 \cdot 10^{12}$
- $1,6 \cdot 10^{-6}$  А
- 1,5 Кл; заряд, що проходить через поперечний переріз провідника за 4 с

**Вправа 11**

- 24 В
- 220 В
- $1 \cdot 10^{11}$
- 18 Кл
- а) 0–2 А; 0,1 А/под; 1,3 А;  
б) від –5 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 12**

- 3 А
- 0,3 А
- $R_1 = 2$  Ом;  $R_{II} = 4$  Ом;  
 $R_{III} = 1$  Ом
- 12 Ом
- 440 Ом

**Вправа 13**

- 0,01 Ом
- 0,765 мм<sup>2</sup>
- $R_2 > R_1$  у 2 рази
- 45 м
- 6,8 кг
- $\approx 14$  мОм
- 0,33 Ом
- 0,384 Ом·мм<sup>2</sup>/м
- 18,5 м

**Перевірте себе (§18–30)**

- Рівень А (початковий)
- В

- В
- Б
- В
- Г
- Б
- Рівень В (середній)
- Г
- Б
- Б
- Рівень С (достатній)

- Г
- 13,75 м
- 6 нКл
- Рівень D (високий)
- $10^{23}$

**Вправа 14**

- 3,2 В; 2 В; 1,2 В
- 110 В
- 440 Ом
- 3 В; 9 В
- 2 А; 46 В
- Вниз: покази амперметра і вольтметра зменшаться
- 3 А; 30 В
- На алюмінієвому в 1,65 разів більша
- 40 Ом

**Вправа 15**

- 0,25 Ом
- 0,25 Ом
- У 9 разів
- У другому в 5 разів
- 300 Ом; 1,2 А; 0,4 А
- 
- 1,12 А

**Вправа 16**

- Три опори з'єднати паралельно й послідовно до них приєднати четвертий
- $2/3$  Ом; 1,33 Ом; 6 Ом; 3 Ом
- 6 А
- У першого і третього амперметра збільшаться, у другого — зменшаться
- 10 Ом; 7,5 Ом
- 3,6 Ом; 5 А; 2,5 А; 1,67 А; 0,83 А
- 4 Ом; 1 Ом

**Вправа 17**

- 27 Вт; 121,5 Вт; 54 Вт
- Зросте потужність
- 880 Дж
- Потужність другого  $3/4$  від потужності першого
- 0,42 Ом·мм<sup>2</sup>/м
- 7425 Дж
- 36 кДж
- 0,33 Ом
- Донизу: зменшується опір кола, зростає сила струму й відповідно зростає кількість теплоти, що виділяється
- а) 303 Дж; б) 1435 Дж
- 237,6 кДж
- 20 хв 25 с
- 91 %
- 49 А
- 51,6 %
- 0,174 мм

**Вправа 19**

- 559 мг
- 0,34 г/Кл
- 2 А
- 2,26 А
- 612 г
- 3000 с
- $0,3 \cdot 10^{-6}$  кг/Кл; нікель

**Перевірте себе (§ 31–37)**

- Рівень А (початковий)
- Г
  - Б
  - Б
  - В
  - В
  - Г
- Рівень В (середній)
- В
  - В
  - Б
- Рівень С (достатній)
- - 303 кДж
  - Г
- Рівень D (високий)
- 7 хв 28 с
  - 10 Вт



# Предметний покажчик

## А

Акумулятор 154  
Аморфне тіло 64  
Ампер 165  
Амперметр 166  
Анод 153  
Атом 125

## Б

Ближній порядок 15  
Броунівський рух 10

## В

Ват 212  
Ватметр 212  
Випаровування 73  
Внутрішня енергія 36  
Вологість повітря 74  
Вольт 170  
Вольтметр 171

## Г

Газова турбіна 100  
Газовий розряд 235  
Газоподібний стан 13  
Гальванічний елемент 153  
Гальванометр 150  
Гальванопластика 230  
Гальваностегія 230  
Горіння 82

## Д

Дальній порядок 17  
Двигун внутрішнього згорання 98  
Джерело електричного струму 152  
Дифузія 9  
Діелектрики 126  
Дуговий розряд 238

## Е

Електризація 124,  
Електризація дотиком 134  
Електризація через вплив 135  
Електрична схема 162  
Електричне коло 161  
Електричне поле 130  
Електричний заряд 122  
Електричний лічильник 212  
Електричний опір 177  
Електричний струм 151  
Електроліз 228  
Електроліт 227  
Електрометр 140  
Електрон 125  
Електронагрівальний елемент 218  
Електроскоп 140  
Електрофорна машина 154

## З

Заземлення 142  
Закон Джоуля-Ленца 217  
Закон збереження електричного заряду 136  
Закон Кулона 146  
Закон Ома 178  
Закон Фарадея 230  
Запобіжники 220

## Й

Йонізація 236

## І

Іскровий розряд 238

## К

Калориметр 54  
Катод 153  
Кипіння 77  
Кількість теплоти 48

Коефіцієнт корисної дії нагрівника 84  
 Коефіцієнт корисної дії теплової машини 92  
 Конвекція 42  
 Конденсація 73  
 Коронний розряд 238  
 Коротке замикання 179, 220  
 Кристал 63  
 Кристалічна ґратка 17

## Н

Напівпровідники 127  
 Напруга 169  
 Нейтрон 125  
 Несамостійний газовий розряд 237  
 Номінальна потужність 212  
 Нормальні умови 11  
 Носії струму 150

## П

Парова турбіна 100  
 Питома теплоємність речовини 49  
 Питома теплота згорання 83  
 Питома теплота пароутворення 78  
 Питома теплота плавлення 69  
 Питомий опір 185  
 Плазма 18  
 Потужність електричного струму 211  
 Провідники 126  
 Протон 125

## Р

Резистор 190  
 Реостат 181  
 Рідина 14  
 Рідкі кристали 16  
 Робота електричного струму 211

## С

Самостійний газовий розряд 236  
 Світлодіод 220  
 Сила струму 165  
 Силова лінія 132

## Т

Тверде тіло 16  
 Температура 21  
 Температура плавлення речовини 68  
 Температурна шкала 23  
 Теплоізолятори 41  
 Теплова машина 91  
 Теплова рівновага 21  
 Теплове випромінювання 45  
 Тепловий баланс 53  
 Тепловий рух 11  
 Тепловий стан 20  
 Тепловізор 45  
 Теплообмін 37  
 Теплопровідність 40  
 Термоелемент 154  
 Термометр 22  
 Тліючий розряд 238

## Ф

Фактична потужність 212  
 Фотоелемент 154

## Х

Хаотично 8  
 Холодильна машина 101

## Відомості про стан підручника

№	Прізвище та ім'я учня	Навчальний рік	Стан підручника		Оцінка
			на початку року	в кінці року	
1					
2					
3					
4					
5					

Навчальне видання

*ЗАСЕКИНА Тетяна Миколаївна*  
*ЗАСЕКИН Дмитро Олександрович*

# ФІЗИКА

Підручник для 8 класу загальноосвітніх навчальних закладів

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України*

**ВИДАНО ЗА РАХУНОК ДЕРЖАВНИХ КОШТІВ. ПРОДАЖ ЗАБОРОНЕНО**

Редактор *О. С. Ісак*  
Головний художник *І. П. Медведовська*  
Технічний редактор *Е. А. Авраменко*  
Коректор *С. В. Войтенко*

При оформленні підручника використано малюнки художника *Наталії Андрійченко* та фотоілюстрації з мережі Інтернет: *Diverroy, Nikolz, Frank-Peters, Injenerker, KrulUA, Saicle, Jrp\_studio, Galdzer, Sakkmasterke, Leonard Zhukovsky, Nikolay Alexandrov, Frank Peters, Evgeny Illarionov, Roy Pedersen, Oleksandr Omelchenko, Veronika Alexovicova, Jasmina Putnik, Sergey Galushko, Andrei Nekrassov, Daniel Jedzura, Dmitri Maruta, Iakov Filimonov, Iosif Szasz-Fabian, Iurii Konoval, Ivan Arhipov, Jordi De Rueda Roige, Katarzyna Biatasiewicz, Kirill Smyslov, Lance Beller, Lenets Tatsiana, Lyudmil Genov, Marina Anokhina, Markus Gan, Nikifor Todorov, Nikita Sobolkov, Olekcii Mach, Oleksandr Marynchenko, Oleksii Olkin, Przemyslaw Koch, Sasin Tipchai, Sergey Sidorov, Siim Sepp, Svetlana Pavlova, Vadym Holubiev, Viacheslav Klimov, Vitaly Valua, Vladimir Agafonkin, Yuriy Stakhov, Вадим Садовский, Татьяна Гладских*

Формат 70x100  $\frac{1}{16}$ . Ум. друк. арк. 20,736 + 0,324 форзац.  
Обл.-вид. арк. 20,00 + 0,55 форзац. Тираж 6784 пр.  
Зам. №

**ТОВ «Український освітянський видавничий центр «Оріон»»**

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи до Державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції

Серія ДК № 4918 від 17.06.2015 р.

Адреса видавництва: 03061, м. Київ, вул. Миколи Шепелева, 2

[www.orioncentr.com.ua](http://www.orioncentr.com.ua)

Віддруковано ТОВ «НВП Поліграфсервіс»,  
вул. Юрія Коцюбинського, 4, к. 25, м. Київ, 04053  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи  
серія ДК № 3751 від 01.04.2010