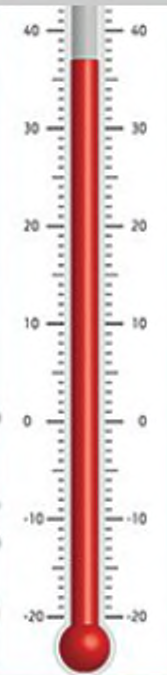




М. І. Шут
М. Т. Мартинюк
Л. Ю. Благодаренко



ФІЗИКА 8



УДК
ББК
Ш

Шут М. І., Мартинюк М. Т., Благодаренко Л. Ю.

Ш Фізика : підруч. для 8 кл. загальноосвіт. навч. закл. / М. І. Шут, М. Т. Мартинюк, Л. Ю. Благодаренко — К. ; Ірпінь : ВТФ "Перун", 2016. — с. : іл

ISBN

УДК
ББК

Підручник написаний відповідно до програми затвердженої МОН України та авторської концепції навчання фізики в основній школі. Вирізняється чітким науковим викладенням навчального матеріалу, його логічною побудовою та адаптацією до вікових можливостей учнів. Має яскраво виражену національну спрямованість, знайомить учнів із відомостями про Україну, про українських учених та досягнення нашої країни в галузі науки і техніки. Оригінально структурований, містить якісне ілюстративне наповнення, а також поради щодо правильної організації роботи з підручником. Розкриває сутність окремих проблем фізики, забезпечує можливості для формування в учнів поняття про фізичну картину світу.

Спрямований на інтелектуальний розвиток учнів засобами курсу фізики і може розглядатися не лише як інформаційна модель процесу навчання, але й як методична модель його організації.

ISBN

© ВТФ «Перун», 2016
© М. І. Шут, М. Т. Мартинюк,
Л. Ю. Благодаренко, 2016

Зміст
Частина I
ТЕПЛОВІ ЯВИЩА

Розділ 1. Тепловий рух атомів і молекул. Температура	6
§ 1. Рух молекул і тепловий стан тіла. Температура. Теплова рівновага.....	7
§ 2. Експериментальне підтвердження теплового руху. Взаємодія атомів і молекул	12
§ 3. Термометри. Шкала цельсія. Абсолютна шкала температур	19
§ 4. Агрегатні стани речовини. Фізичні властивості твердих тіл, рідин і газів.....	27
§ 5. Залежність розмірів фізичних тіл від температури	36
§ 6. Рідкі кристали та їх використання. Полімери. Наноматеріали.....	43
Систематизуємо знання з розділу 1.....	52
Тестові завдання до розділу 1.....	53
Задачі до розділу 1	55
Розділ 2. Внутрішня енергія Тіла. Теплові процеси.....	56
§ 7. Внутрішня енергія тіла і способи її змінення.....	57
§ 8. Види теплообміну.....	63
§ 9. Теплообмін в побуті, техніці та у природі	69
§ 10. Розрахунок кількості теплоти під час нагрівання або охолодження тіла. Теплоємність	75
§ 11. Тепловий баланс. Рівняння теплового балансу.....	82
Лабораторна робота № 1.....	87
Лабораторна робота № 2.....	89
§ 12. Плавлення тіл. Температура плавлення. Питома теплота плавлення. Розрахунок кількості теплоти під час плавлення або кристалізації тіл.....	92
§ 13. Пароутворення і конденсація.	98
§ 14. Питома теплота пароутворення (конденсації). Розрахунок кількості теплоти під час пароутворення (конденсації).....	106
Систематизуємо знання з розділу 2.....	111
Тестові завдання до розділу 2.....	112
Задачі до розділу 2	115

Розділ 3. Теплова енергія. Теплокористування	116
§ 15. Горіння палива. Теплота згорання палива	117
§ 16. Теплові двигуни. Парова машина.....	125
§ 17. Двигун внутрішнього згорання	133
§ 18. Види двигунів внутрішнього згорання	137
§ 19. Парова турбіна. Газотурбінний тепловий двигун.....	141
§ 20. Теплові двигуни та їх вплив на забруднення оточуючого середовища.....	146
Систематизуємо знання з розділу 3.....	160
Навчальний проект.....	152
Тестові завдання до розділу 3	153
Задачі до розділу 3	156

Частина II ЕЛЕКТРИЧНІ ЯВИЩА. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ

Розділ 4. Електричні явища	158
§ 21. Електричні явища. Електризація тіл. Електричний заряд.....	159
§ 22. Прилади для виявлення електризації тіл. Дискретність електричного заряду	166
§ 23. Будова атома. Механізм електризації тіл. Закон збереження електричного заряду	170
§ 24. Провідники, напівпровідники, ізолятори. Електризація через вплив	176
§ 25. Електричне поле. Силова характеристика електричного поля	182
§ 26. Закон кулона	190
Систематизуємо знання з розділу 4	196
Тестові завдання до розділу 4	197
Задачі до розділу 4	200
Розділ 5. Електричний струм. Закони постійного струму.....	201
§ 27. Електричний струм. Дії електричного струму.....	202
§ 28. Електрична провідність матеріалів: провідники, напівпровідники, діелектрики	206

§ 29. Струм у металах	207
§ 30. Електричне коло та його основні елементи	210
§ 31. Джерела електричного струму	212
§ 32. Сила струму. Амперметр.	216
§ 33. Електрична напруга. Вольтметр.....	221
§ 34. Закон Ома для ділянки електричного кола. Електричний опір.....	224
Лабораторна робота № 3.....	227
§ 35. Залежність опору провідника від його довжини, площі перерізу та матеріалу	228
§ 36. Реостати	232
§ 37*. Залежність опору провідника від температури	234
§ 38. Послідовне з'єднання провідників	236
Лабораторна робота № 4.....	241
§ 39. Паралельне з'єднання провідників і змішаним з'єднанням	242
Лабораторна робота № 5.....	250
Систематизуємо знання з розділу 5	251
Тестові завдання до розділу 5	253
Задачі до розділу 5	255
Розділ 6. Застосування законів постійного електричного струму	256
§ 40. Робота і потужність електричного струму	257
§ 41. Закон Джоуля – Ленца.....	262
§ 42. Електронагрівальні прилади.....	264
§ 43. Природа електричного струму в розчинах і розплавах електролітів.....	266
§ 44. Закон Фарадея для електролізу.....	268
§ 45. Електричний струм у газах Несамостійний газовий розряд.....	272
§ 46. Електричний струм у газах. Самостійний газовий розряд	274
§ 47. Безпека людини під час роботи з електричними приладами і пристроями	281
Систематизуємо знання з розділу 6	286
Тестові завдання до розділу 6	287
Задачі до розділу 6.....	289

Частина I

Теплові явища

РОЗДІЛ 1. ТЕПЛОВИЙ РУХ АТОМІВ І МОЛЕКУЛ. ТЕМПЕРАТУРА

- Які теплові явища відбуваються навколо нас?
- Чи пов'язані теплові явища з іншими природними явищами?
- Чому теплове випромінювання Сонця є найважливішим з усіх видів випромінювань?
- Чи можна експериментально підтвердити тепловий рух частинок речовини?
- Чому атмосфера Землі не розшаровується на окремі гази, які її утворюють?
- Яка властивість тіл покладена в основу вимірювання температури?
- Чому морська вода замерзає при нижчій температурі, ніж прісна?
- Які кристали природного походження є найбільшими у світі і де їх можна побачити?
- Який внесок українських учених у вирощування штучних кристалів?
- Чому розвиток нанотехнологій є важливим завданням української науки і техніки?
- Який стан речовини є найпоширенішим у Всесвіті?



§ 1. РУХ МОЛЕКУЛ І ТЕПЛОВИЙ СТАН ТІЛА. ТЕМПЕРАТУРА.

► 1. Які явища відносяться до теплових?

Тепловий рух як причина плових явищ. При вивченні фізичних явищ і закономірностей у попередніх розділах курсу фізики нас не цікавило питання про те, яким є досліджуване тіло: холодним чи гарячим. Тепер на вас чекає вивчення нового кола явищ – теплових. З тепловими явищами ми постійно маємо справу у побуті (нагріваємо воду, опалюємо оселю). Вони широко використовуються в техніці (лиття сталі, плавлення металів). Теплові явища постійно відбуваються й у Всесвіті – випромінювання Сонця та зір дає тепло Землі та іншим планетам.

За рахунок чого відбуваються теплові явища? З курсу фізики 7-го класу ви дізналися, що речовини складаються з частинок (атомів та молекул), які перебувають у безперервному хаотичному русі. Чим повільніший рух частинок у тілі, тим воно холодніше. І навпаки: зростання швидкості хаотичного руху частинок свідчить про нагрівання тіла. Це означає, що швидкість руху атомів і молекул визначає тепловий стан тіла, тобто його температуру. Саме тому цей рух називають тепловим.

Тепловий рух частинок тіла зумовлює існування теплових явищ, до яких відносяться нагрівання та охолодження тіл, плавлення та кристалізація, випаровування та конденсація. Теплові явища супроводжуються зміною швидкості теплового руху атомів і молекул.

Безперервний хаотичний рух атомів і молекул називають тепловим рухом.

З тепловими явищами ми постійно маємо справу у побуті (нагріваємо воду, опалюємо оселю). Вони широко використовуються в техніці (лиття сталі, плавлення металів). Теплові явища постійно відбуваються й у Всесвіті – випромінювання Сонця та зір дає тепло Землі та іншим планетам.

Тепловий рух атомів і молекул є особливою формою руху матерії, його ще називають теплою. Термін «теплота» має історичне походження – ним користувалися ще у часи, коли фізична природа теплових явищ була невідомою.

ЧАСТИНА I. ТЕПЛОВІ ЯВИЩА



а) мальовнича Україна



б) українські Карпати



в) спекотна пустеля (Єгипет)



г) холодна Арктика

Рис. 1. Природні умови на різних географічних широтах, зумовлені тепловим випромінюванням Сонця

На особливу увагу заслуговує таке теплове явище, як *теплове випромінювання*. По-перше, воно притаманне усім тілам. По-друге, за рахунок теплового випромінювання існує життя на Землі, адже Сонце є джерелом теплового випромінювання.

Наприклад, у різні пори року зі зміною теплового випромінювання від Сонця змінюється й температура навколишнього середовища, а, отже, все навколо. Так, з настанням *весни* проростають рослини, починають зеленіти поля, сади, ліси і луки, розквітають квіти. *Влітку*, коли середня температура повітря вдень стає більш високою, а ночі – значно теплішими, ніж весною – зріють фрукти, овочі й зернові культури, починають сохнути трави, міліють дрібні річки і озерця. *Восени* середня добова температура помітно зменшується: листя на деревах жовтіє й опадає, а люди починають дбати про утеплення своїх осель. *Взимку* рослинне і тваринне життя завмирає.

Теплові явища нерозривно пов'язані з іншими природними явищами, насамперед, з біологічними, хімічними, географічними. Нерідко цей взаємозв'язок є визначальним у забезпеченні життєдіяльності не лише окремої людини, а й людської спільноти в цілому. На рисунку 1 показано, якими є ті чи інші природні умови, спричинені різним географічним положенням місцевості та надходженням тепла від Сонця.

Теплові явища широко використовуються людиною в побуті, у виробничій діяльності, на транспорті. Зокрема, сучасний світ не можна уявити без *теплових машин*

(теплових двигунів та холодильних установок). Окремі приклади транспортних засобів, які працюють на теплових двигунах, показано на рисунку 2: а) літак АН-225 («Мрія») у польоті; б) автобус «Богдан» на вулицях Києва; в) швидкісний електропоїзд «Тарпан» українського виробництва; г) ракетно-космічний комплекс «Буран»; д) крейсер «Кіровоград» ВМС України.

► **2. Температура – характеристика теплового стану тіла.** З поняттям температури ви знайомі з дитинства і знаєте, що її можна охарактеризувати на дотик як міру нагрятості тіл (холодне, тепле, гаряче). При цьому про більш нагріте тіло ми кажемо, що воно має вищу температуру, а температура менш нагрітого тіла – нижча. Але на дотик температуру тіла можна оцінити лише наближено, оскільки, як ви вже знаєте, пізнання на основі відчуттів є недостатньо достовірним. Тому для визначення температури необхідно одержати кількісне вираження міри нагрятості тіла, тобто мати засіб для вимірювання температури. Температура є важливою характеристикою погодних умов, а також показником стану здоров'я людини (нормальною вважається температура тіла від $36,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $37\text{ }^{\circ}\text{C}$). Спробуємо усвідомити: що ж таке температура? З одного боку, як ми вже встановили, це міра нагрятості тіл. З іншого – характеристика швидкості теплового руху атомів і молекул, з яких складається тіло. Таким чином, *температура – це фізична величина, яка характеризує внутрішній тепловий стан тіла і визначається рухом величезної кількості*



а)



б)



в)



г)



д)

Рис. 2. Транспортні засоби, які працюють на теплових двигунах

У побуті поняття температури використовується дуже часто, але воно має ще й глибокий фізичний зміст, до розуміння якого людство йшло протягом багатьох століть.

Якщо температура з часом не змінюється, то тіло перебуває у незмінному тепловому стані. При зміні температури тепловий стан тіла змінюється – відбувається тепловий процес.

Стан теплової рівноваги в системі тіл може встановитися лише в тому випадку, якщо ця система замкнена – тіла системи не обмінюються теплотою з іншими тілами, які не входять до даної системи

Процес зміни теплового стану тіла називається теплообміном.

атомів і молекул, з яких складається тіло.

Із поняттям «фізичний стан тіла» ви вже ознайомилися на початку вивчення фізики у 7-му класі і знаєте, що стан тіла визначається сукупністю деякого числа фізичних величин, які характеризують фізичні властивості тіла. Фізичні величини, що визначають стан тіла, називають характеристиками (або параметрами) стану. Отже, основною характеристикою теплового стану тіла є його температура.

► **3. Теплова рівновага.** Якщо у тепловому процесі беруть участь два або більше тіл (система тіл), то перебіг цього процесу буде підкорюватися певним закономірностям. Зокрема, тіло з вищою температурою буде передавати теплоту тілу з меншою температурою. Наприклад, якщо ви наливаєте гарячу каву у чашку, то температура стінок чашки зрівнюється з температурою кави. Якщо ж ви залишите каву у чашці в кімнаті, то з часом температура кави і температура стінок чашки будуть дорівнювати температурі у кімнаті. Такий процес передавання теплоти від одного тіла до іншого називається *теплообміном*.

Отже, можна сформулювати висновок: якщо два тіла (або система тіл) перебувають у стані теплообміну і не взаємодіють з іншими тілами, то температури цих тіл з часом вирівнюються і стають однаковими. Такий стан називають *тепловою рівновагою*.

Якщо у стані теплової рівноваги тіла системи не будуть зазнавати зовнішніх впливів, то стан теплової рівноваги не порушиться. Головною закономірністю те-

плообміну є той факт, що самодовільна передача теплоти завжди відбувається в напрямі від більш нагрітого до менш нагрітого тіла. Зворотного процесу, тобто самодовільної передачі теплоти у напрямі від менш нагрітого до більш нагрітого тіла в природі не існує.

При передачі теплоти від одного тіла до іншого зміни їх хімічного складу та маси не відбувається. Передача теплоти здійснюється внаслідок руху та взаємодії атомів і молекул.

*Теплові явища вивчаються у термодинаміці (від грецьких слів *therme* – тепло та *dynamis* – сила).*

Термодинаміка – це розділ фізики, у якому вивчаються умови перетворення енергії з одного виду в інший та кількісні співвідношення при таких перетвореннях.

Подумайте і дайте відповідь

1. Який рух називається тепловим? Від чого залежить швидкість теплового руху?
2. Наведіть приклади теплових явищ.
3. Як впливає теплове випромінювання Сонця на життя на Землі?
4. Який фізичний зміст мають поняття: гаряче тіло; холодне тіло?
5. Що таке температура? Чим вона визначається?
6. Назвіть основну характеристику теплового стану тіла. У якому випадку відбуватиметься тепловий процес?

Розв'яжіть задачі та оцініть результати

Вправа 1.

1. На першій сторінці розділу 1 наведено чотири фотографії одного і того краєвиду в Національному дендрологічному парку «Софіївка» (Україна, м. Умань), виконані впродовж року. Користуючись ними, виокремте, означте і охарактеризуйте природні явища, обумовлені зміною температури середовища у різні пори року. В яку пору року виконана кожна з фотографій? Відповідь обґрунтуйте посиланнями на виявлені на фотографіях ті чи інші відмінності.
2. Наведіть приклади теплових явищ у побуті людини, у техніці та у природі. Охарактеризуйте їх.

§ 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ПІДТВЕРДЖЕННЯ ТЕПЛОВОГО РУХУ ВЗАЄМОДІЯ АТОМІВ І МОЛЕКУЛ

При змішуванні речовин відбувається взаємне проникнення частинок однієї речовини у проміжки між частинками іншої речовини.

Явище дифузії спостерігається у газах, рідинах і твердих тілах.

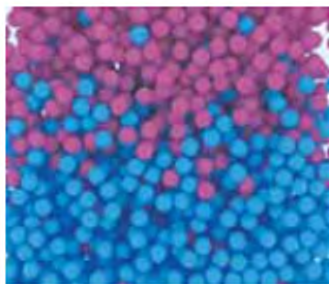


Рис. 3. При змішуванні речовин відбувається їх взаємне проникнення та вирівнювання густин



Рис. 4. Явище дифузії характеризується певною швидкістю протікання, що залежить від характеру руху молекул

Експериментальними доказами існування теплового руху у газах, рідинах і твердих тілах є явища *дифузії* та *броунівського руху*.

► **1. Дифузія.** Найпростішим прикладом дифузії є поширення запаху летких ароматичних речовин. Але як і чому це відбувається? Ви вже знаєте, що між частинками речовин є проміжки. Найбільші вони – між частинками у газах, найменші – між частинками у твердих тілах. Якщо змішати дві речовини, то, внаслідок теплового руху молекул, частинки однієї речовини почнуть заповнювати простори між частинками іншої речовини (рис. 3).

Отже, *дифузія* – це явище *взаємного проникнення частинок однієї речовини у проміжки між частинками іншої внаслідок теплового руху частинок речовини*.

Найшвидше дифузія відбувається у газах, повільніше – у рідинах, ще повільніше – у твердих тілах. Це зумовлено особливостями теплового руху частинок у цих середовищах. Приклад *дифузії в газах* – це швидке поширення в повітрі пахощів парфумів та інших речовин. Зафарблення води в склянці, на дно якої опущено крупинки розчинної кави або пакетик чаю – це приклад *дифузії в рідинах*.

Відмінність у характері руху молекул у твердому, рідкому і газоподібному станах зумовлює різну швидкість протікання дифузії. Адже щоб аромат парфумів поширився кімнатою, потрібно кілька хвилин.

Якщо налити у посудину води, а потім акуратно, щоб не відбулось змішування, долити розчин акварельної фарби, то молекули однієї рідини повністю дифундують між молекулами іншої лише через 2-3 дні (рис. 4).

Спостерігати явище дифузії у твердих тілах складніше, але можливо. Зокрема, загальновідомий дослід, у якому гладенько відшліфовані свинцеву і золоту пластинки, притерті і притиснуті за допомогою тягаря, за 5 років взаємно проникають одна в одну на відстань близько 1 мм.

Явище дифузії відбуватиметься швидше, якщо ми будемо нагрівати речовини. Так, наприклад, цинк дифундує у мідь при температурі 300°C майже в 100 мільйонів разів швидше, ніж при кімнатній температурі! Всім вам також відомо, що у гарячій воді цукор і сіль розчинюються швидше, ніж у холодній.

Висловіть свою думку

З підвищенням температури перебіг дифузії прискорюється. Як можна пояснити таку залежність на підставі уявлень про тепловий рух частинок речовини?

► **2. Броунівський рух.** У 1827 р. англійський ботанік **Роберт Броун** (1773 – 1858 рр.) досліджував за допомогою мікроскопу рухи дрібних частинок квіткового пилку у воді. Внаслідок малих розмірів таких частинок, вони не осідали під дією сили тяжіння, а тому одержали назву **завислих частинок**. Броун встановив, що рухи завислих частинок є безладними, неперервними і не припиняються з часом. Крім того, йому вдалося зафіксувати зростання швид-

Внаслідок дифузії кисень з навколишнього середовища проникає всередину організму через легені людини.

Дифузія широко використовується як у побуті, так і в техніці. Поживні речовини завдяки дифузії потрапляють із шлунку в організм людини чи тварини. На явищі дифузії ґрунтується засолювання овочів та інших продуктів. Дифузія відбувається й під час паяння металевих виробів, цементації і гартування сталі, у процесі хіміко-термічної обробки металів, коли їх поверхні вкривають шарами алюмінію, хрому, нікелю.

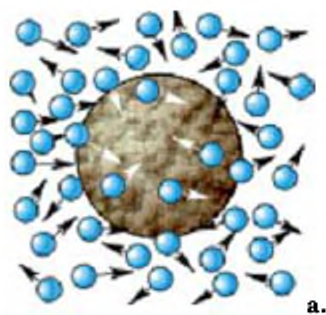


Рис. 5 а. Моделювання броунівського руху

Броунівський рух продовжується як завжди довго без будь-яких видимих змін. Швидкість броунівського руху не залежить від речовини частинок, а залежить лише від їх розмірів та геометричної форми, і зростає з підвищенням температури рідини (або газу).

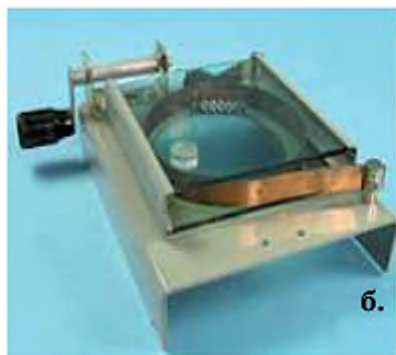


Рис. 5 б. Моделювання броунівського руху

кості руху завислих частинок з підвищенням температури та зменшенням розмірів частинок. Відкритий Броуном рух був названий на його честь *броунівським рухом*. Невдовзі було встановлено, що такий рух здійснюють будь-які частинки, якщо тільки їх розміри достатньо малі.

Природа броунівського руху протягом тривалого часу залишалася нез'ясованою. Численні спроби пояснити броунівський рух зовнішніми впливами, зокрема, освітленням або встряхуванням, не витримували дослідної перевірки. Спочатку Броун пов'язував це явище з життєвими процесами завислих частинок, оскільки вважав, що вони – живі. Але пізніше він сам встановив, що броунівський рух властивий частинкам як органічного, так й неорганічного походження.

Отже, броунівський рух – це неперервний, безладний рух частинок, завислих у рідині (або газі).

У 1905-1909 рр. було остаточно доведено, що *броунівський рух є проявом теплового руху атомів і молекул*.

Хаотичний рух завислих частинок можна також спостерігати в освітленій збоку області запиленого повітря або диму. У цьому випадку роль броунівських частинок відіграють окремі пилинки або часточки диму.

Як пояснити виникнення броунівського руху? Він зумовлений поштовхами, яких зазнають завислі частинки з боку оточуючих молекул, що перебувають у тепловому русі. Оскільки тепловий рух молекул є хаотичним, то поштовхи молекул об за-

вислу частинку не врівноважуються (рис. 5, а). Внаслідок цього завислі частинки рухаються по складних ламаних лініях (рис. 8). Відповідно, броунівський рух теж є хаотичним. Важливою особливістю броунівського руху є також його самочинність. Він існує, не потребуючи зовнішніх впливів, а тому може продовжуватися як завгодно довго. Швидкість броунівського руху залежить від температури, але *поняття броунівського руху і теплового руху атомів і молекул не слід ототожнювати*. Броунівський рух є лише результатом та підтвердженням теплового руху частинок речовини.

► **3. Моделювання у фізиці** – особливий метод пізнання. За допомогою моделей можна відобразити той чи інший фізичний об'єкт, але лише наближено. Незважаючи на це, моделі допомагають одержати відомості про особливості того або іншого об'єкта (явища) і встановити не лише його якісні, але й кількісні характеристики. Розглянемо це на прикладі броунівського руху.

Броунівський рух не можна побачити неозброєним оком, але його можна змоделювати. Прилад, за допомогою якого моделюють броунівський рух частинки, має назву механічної моделі броунівського руху (рис. 5, б). За допомогою цієї механічної моделі отримують хаотичний рух невеличкої шайби внаслідок її співударів з великим числом значно менших дробинок, які рухаються безладно. Цей рух проєктують на екран і спостерігають *ефект броунівського руху*.

Броунівський рух є яскравим прикладом незнищеності, вічності руху.

Моделювання відіграє дуже важливу роль не лише у фізиці, а й у всіх природничих науках. Воно широко використовується у техніці, експериментальному та теоретичному методах пізнання. За допомогою моделювання можна одержати інформацію про певний фізичний об'єкт шляхом дослідження заміника цього об'єкта, який у певній мірі відтворює особливості досліджуваного об'єкта.

Між атомами та молекулами будь-якої речовини одночасно діють сили взаємного притягання й відштовхування (міжмолекулярна взаємодія). Існування стійких твердих й рідких тіл пов'язане із силами міжмолекулярної взаємодії.

На відстанях між молекулами, які перебільшують розміри самих молекул, проявляються сили притягання, які зростають при наближенні молекул. На відстанях між молекулами, порівняних з розмірами молекул, проявляються сили відштовхування

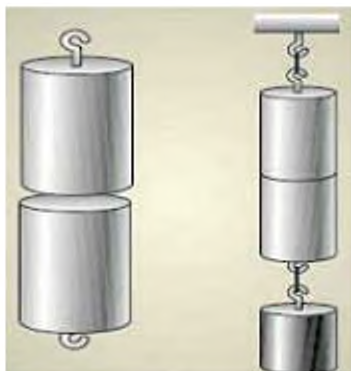


Рис. 6. Свинцеві циліндри, після притирання їх відшліфованими поверхнями витримують вагу гирі

Це підтверджує дослід із свинцевими циліндрами, які після притиснення їх відполірованими свіжими зрізами витримують значний розтяг (рис. 6). На відстанях, трохи більших за розміри самих молекул, притягання між молекулами значно слабшає.

Погодьтеся, виникає ще одне запитання: якщо між молекулами існує притягання, то чому між ними є проміжки? Тобто, чому молекули, притягуючись одна до одної, не «злипаються»? Відповідь полягає ось у чому: між молекулами одночасно із взаємним притяганням існує *взаємне відштовхування*. Коли молекули зближуються між ними, по-

► **4. Як взаємодіють частинки речовини? Взаємне притягання і взаємне відштовхування атомів і молекул.**

Розглядаючи попередні питання, ви ще раз повторили, що речовини складаються з частинок, між якими є проміжки; частинки безперервно хаотично рухаються і взаємодіють між собою. Дослідних фактів, що підтверджують ці положення, досить багато. З'ясуємо, які фізичні властивості тіл залежать від характеру руху і взаємодії молекул, і який вплив чинять на рух і взаємодію молекул зовнішні фактори.

Напевно у вас виникло запитання: якщо молекули відокремлені проміжками і перебувають у безперервному безладному русі, то чому тверді тіла та рідини не розпадаються на окремі молекули? Більше того, тверді тіла достатньо важко розтягнути або розламати.

Річ у тім, що між атомами та молекулами існують сили взаємного притягання: кожна молекула притягує до себе сусідні молекули й сама притягується до них. Притягання між молекулами стає помітним лише тоді, коли молекули перебувають дуже близько одна від одної (на відстанях, порівняних з розмірами самих молекул).

мітніше проявляється притягання між ними. При подальшому зближенні молекул між ними починає більше проявлятися відштовхування. Прикладів які підтверджують такі міркування – дуже багато. Зокрема, стиснуті тіла відновлюють форму, оскільки під час стискання ми зближуємо молекули до таких відстаней, що вони починають відштовхуватися одна від одної. При деформації розтягу відстані між молекулами збільшуються і сили притягання починають переважати.

Розширте науковий кругозір



Рис. 7. Києво-Могилянська академія на початку ХХ століття

Як ви вже знаєте з курсу фізики 7-го класу, одним із творців теорії будови речовини був видатний російський вчений Михайло Васильович Ломоносов. Але цікавим є той факт, що з жовтня 1734 р. і, вірогідно, до кінця 1735 р. М. Ломоносов перебував у Києво-Могилянській академії, де працював в архіві і досліджував літописи та філософські праці. На той час Києво-Могилянська академія мала славу найвідомішого в Європі освітнього й культурного центру. Саме в Києво-Могилянській академії найкраще було розроблено теорію поезії й ораторського мистецтва, мав місце високий рівень викладання латині, філософії і вищої математики. Уже в ті часи чи не вперше в Європі в Києво-Могилянській академії здійснювалося викладання фізики як окремого навчального предмету.

Подумайте і дайте відповідь

1. Назвіть фізичні явища, які є експериментальним підтвердженням теплового руху атомів і молекул.
2. Що таке дифузія? Як відбувається процес дифузії? Наведіть приклади того, як ви використовуєте дифузію в побуті.

3. Яке значення має дифузія для організму людини?
4. Які особливості дифузії в твердих тілах, рідинах, газах? Як можна змінити швидкість дифузії?
5. Що таке броунівський рух? Результатом якого руху є броунівський рух? Назвіть закономірності броунівського руху.
6. Чому моделювання відіграє у фізиці важливу роль?
7. Поясніть, чому речовини не розпадаються на окремі молекули і атоми.
8. У чому проявляється взаємодія між атомами і молекулами? Які два види міжмолекулярних сил ви знаєте? Наведіть приклади прояву сил притягання та сил відштовхування між молекулами.

Розв'яжіть задачі та оцініть результати

Вправа 2.

1. Для надання сталевим виробам більшої твердості їх поверхневий шар насичують карбонм (цементування), азотом (азотування), алюмінієм (алітування). Чому процес насичення відбувається при високих температурах?
2. На рисунку 7 показано шлях хаотичного руху завислої у воді частинки смоли діаметром 0,9 мкм від початку (положення 1) до кінця спостережень (положення 2). Положення частинки фіксувалось через кожні 30 с. Користуючись цим рисунком, визначте середній пробіг броунівської частинки за 30 с у міліметрах і метрах. Для цього скористайтесь масштабом, поданим на рисунку.
3. Опишіть фізичний механізм засвоєння коренями рослин потрібних їм речовин з ґрунту.
4. Земля оточена атмосферою – повітряною оболонкою, яка представляє собою суміш декількох газів (азота, кисню, аргона, вуглекислого газу, парів води та інших). Молекули цих газів мають різну масу. Поясніть, чому ж тоді внаслідок різної сили тяжіння, що діє на молекули газів, всі складові частини атмосфери не є розшарованими.
5. На рис. 6 показано дослід із свинцевими циліндрами, які після притиснення їх відполірованими свіжими зрізами витримують значний розтяг. Поясніть, чому такий дослід виконується саме зі свинцевими циліндрами, а не, наприклад, зі сталевими.

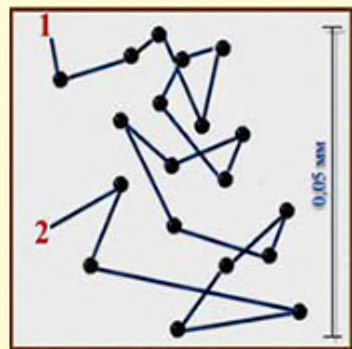


Рис. 7. Схематичне представлення руху броунівської частинки

§ 3. ТЕРМОМЕТРИ. ШКАЛА ЦЕЛЬСІЯ. АБСОЛЮТНА ШКАЛА ТЕМПЕРАТУР

► 1. Залежність властивостей тіла від температури. Вимірювання температури тіла термометром.

Вимірювати температуру як міру теплового стану тіла навчилися раніше, ніж зрозуміли, як побудована речовина та що таке температура. Тому історично склалися так, що температуру вимірюють у градусах, а прилад за допомогою якого ці вимірювання здійснюють, називають термометром.

У більшості термометрів використовується властивість тіл *розширюватись* при нагріванні. Тіла, зміна властивостей яких покладена в основу дії термометра, називаються *термометричними*. У термометрах використовуються різні термометричні тіла: рідкі (спирт, ртуть), тверді (метали), газоподібні.

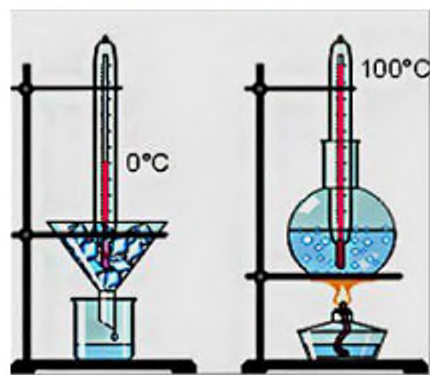
Процес вимірювання температури полягає в тому, що термометричне тіло вміщують у спеціальну посудину і приводять у дотик з тілом, температуру якого потрібно виміряти. З часом настає стан теплової рівноваги і температура термометричного тіла зрівнюється з температурою досліджуваного тіла (або середовища). **Запам'ятайте:** для встановлення стану теплової рівноваги потрібний певний час, тому покази термометра не можна фіксувати одразу (зокрема, для вимірювання температури тіла ртутним термометром, ви маєте потримати його у контакті з ті-

*Термометр – від грецьких слів *therme* – тепло та *metreo* – міряю).*

Відомо багато типів термометрів, однак їх дія заснована на одному й тому самому принципі – залежності властивостей речовини від температури. Основою для вимірювання температури може бути зміна будь-якої з цих властивостей, якщо для неї відома залежність від температури.

Термометр завжди показує температуру термометричного тіла, яка дорівнює температурі досліджуваного тіла, з яким цей термометр перебуває в стані теплової рівноваги. В цьому полягає фізичний зміст вимірювання температур за допомогою термометрів.

Для побудови температурної шкали обирають дві основні (реперні) точки, які відповідають певним значенням температур, а температурний інтервал між ними ділять на кілька рівних частин. Реперні точки встановлюються за міжнародною угодою.



а б
Рис. 8 Принцип побудови шкали Цельсія



Андерс Цельсій
(1701-1744 рр.)

лом близько 10 хвилин).

► 2. Побудова температурної шкали. Шкала Цельсія. Для того, щоб за допомогою термометра можна було вимірювати температури тіл, він повинен мати шкалу. Для її побудови обирають дві опорні (реперні) точки, які відповідають певним значенням температур (наприклад, температурам танення льоду та кипіння води). Інтервал між цими точками ділять на декілька рівних частин, значення кожної з яких відповідає одиничному значенню температури за даною шкалою. Як була побудована звична для нас й найбільш поширена температурна шкала?

Шведський астроном, геолог, метеоролог Андерс Цельсій (1701-1744 рр.) у 1742 р. запропонував обрати опорними точками температурної шкали температуру танення (плавлення) льоду та температуру кипіння води при нормальному атмосферному тиску (760 мм рт. ст.). Одержану ним шкалу на його честь було названо *шкалою Цельсія*. Принцип нанесення поділок на температурну шкалу за Цельсієм схематично показано на рисунку 8, а, б. Точці шкали, у якій встановлюється верхній рівень стовпчика рідини, коли резервуар термометра розміщено у посудині з льодом, що тане, надають значення 0; точці шкали, у якій встановлюється верхній рівень стовпчика рідини, коли резервуар термометра занурено у воду, що кипить, надають значення 100. Проміжок між цими точками ділять на 100 рівних частин і одержують одиницю температури – градус Цельсія (1 °С). Літера «С» є першою літерою прізви-

ща Цельсія, який запропонував саме такий спосіб побудови шкали.

Таким чином, шкала Цельсія є стоградусною, з опорними (реперними) точками 0°C та 100°C . Нижче від точки 0°C і вище від точки 100°C наносять необхідну кількість поділок. Температура вище від нуля на цій шкалі вважається додатною, нижче – від’ємною. Для температури, визначеної за шкалою Цельсія, прийнято позначення t .

► **3. Якими температурними шкалами користуються в інших країнах?**

У Великій Британії та США крім шкали Цельсія застосовують температурну шкалу Фаренгейта ($^{\circ}\text{F}$), у якій температурі танення льоду відповідає 32°C , а температурі кипіння води – 212°F . У шкалі Реомюра (Франція) температурі танення льоду відповідає 0°R , а температурі кипіння води 80°R . Історії науки відомі й інші температурні шкали.

Сьогодні ви дуже часто зустрічаєтесь із температурою за шкалою Фаренгейта (у мережі Інтернет, при перегляді зарубіжних кінофільмів, в іноземній літературі). Наприклад, герой кінофільму каже: «Сьогодні температура повітря 68°F ». Це тепло чи холодно? Оцінити цю температуру дуже просто. Між шкалами Цельсія і Фаренгейта існує зв’язок, а саме:

$$t^{\circ}\text{C} = \frac{(^{\circ}\text{F} - 32)}{1,8}$$

Отже 68°F відповідає 20°C .

На практиці для зручності визначення температури термометри забезпечуються одразу двома шкалами – Цельсія і Фаренгейта (рис. 9).

Стан танення льоду і стан кипіння води досить характерні, тому їх використовують під час виготовлення термометрів і перевірки їх точності.

Шкала Цельсія обрана довільно, а, отже, існують й інші температурні шкали. Але опорні (реперні) точки – точки плавлення льоду та кипіння води при нормальному тиску є однаковими у більшості температурних шкал.



Рис. 9. Термометр, призначений для одночасного вимірювання температур за шкалою Цельсія і шкалою Фаренгейта

Розглянуті нами температурні шкали мають певні недоліки. По-перше, температури танення льоду та кипіння води залежать від атмосферного тиску, а, отже, можуть не відповідати значенням 0°C та 100°C . По-друге, розширення термометричного тіла при зміні температури може відбуватися нерівномірно, що особливо суттєво впливає на точність вимірювань на значному температурному інтервалі.

Абсолютна шкала температур не залежить від вибору термометричного тіла і має одну реперну точку.

Температура, вимірювана за шкалою Кельвіна, не може бути від'ємною.

► **4. Абсолютна шкала температур.** У 1848 р. році британським фізиком Вільямом Томсоном (1856 – 1940 рр.) була запропонована температурна шкала, що є незалежною від вибору термометричного тіла і має одну реперну точку. Ця шкала отримала назву *абсолютної шкали температур* (її ще називають шкалою Кельвіна, тому що Томсону за наукові досягнення було подаровано титул лорда Кельвіна). Температуру, виміряну за абсолютною шкалою, позначають літерою T і називають *абсолютною температурою*. За 0 за цією шкалою прийнята температура $-273,16^{\circ}\text{C}$, яка називається *абсолютним нулем* і позначається $^{\circ}\text{K}$ (це і є реперна точка шкали Кельвіна). Одиницею температури за абсолютною шкалою є *кельвін* (1К). Один кельвін дорівнює одному градусу Цельсія: $1\text{K} = 1^{\circ}\text{C}$.

Теоретично розраховано, що температура $-273,16^{\circ}\text{C}$ є найнижчою з можливих температур. Зрозуміло, що температура танення льоду за абсолютною шкалою дорівнює $273,16^{\circ}\text{C}$, а температура кипіння води $373,16^{\circ}\text{C}$. Зв'язок між температурою за шкалою Кельвіна та шкалою Цельсія виражається формулою:

$$T = t + 273,16.$$

Співставлення температурних шкал Цельсія, Кельвіна та Фаренгейта подано на рис. 10.

► **5. Види термометрів. Рідинні термометри.** Є різні види термометрів: рідинні, газові, металеві, термометри опору.

Найчастіше на практиці використовують *рідинні термометри*, побудовані на використанні властивості рідини розширюватись під час нагрівання та стискуватись під час охолодження.

На рисунку 11 зображено зовнішній вигляд (а) та будову (б) рідинного термометра. Він складається з корпусу А, до якого приєднано невеликий скляний резервуар В, сполучений з трубкою В вузьким внутрішнім каналом. Резервуар В та частину трубки В наповнюють деякою рідиною (спиртом, ртуттю та ін.). Температуру тіла і середовища вимірюють за допомогою температурної шкали Г. Піднімання рівня рідини в трубці термометра залежить від властивостей рідини і від сорту скла, з якого його виготовлено. Тому ширина поділок шкали для різних речовин матиме різний лінійний розмір. Точнішими є *газові термометри*, з якими ви ознайомитесь пізніше.

Рідинні термометри можна використовувати лише для температур, при яких рідина у термометрі залишається у рідкому стані. Наприклад, ртутним термометром не можна вимірювати температури, нижчі за $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$, оскільки при цій температурі ртуть твердне.

Вимірювання температур є важливим в будь якій галузі сучасного природознавства. Розділ науки який вивчає методи вимірювання температур називають *термометрією*.

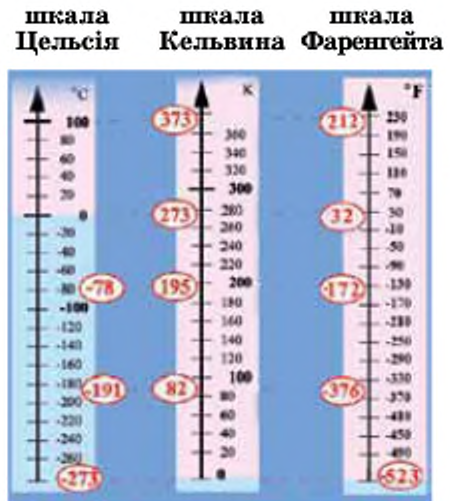
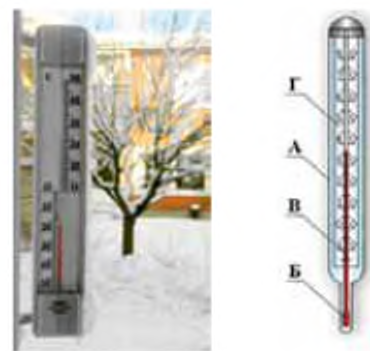


Рис. 10.
Температурні шкали



а б
Рис. 11. Зовнішній вигляд та будова спиртового термометра

Домашнє експериментальне завдання

Роздивіться уважно медичний та кімнатний термометри, що є у вашій квартирі. Порівняйте їх будову та визначте, яке термометричне тіло використовується в кожному термометрі. Встановіть межі температур, на які розраховані термометри, лінійні розміри температурних шкал та обчисліть довжину поділки, яка відповідає 1°C у кожному термометрі. Результати спостережень і обчислень запишіть у зошит. Зробіть рисунки термометрів. Сформулюйте висновки щодо точності кожного термометра та температурного інтервалу його застосування.

Фізичне знання в техніці

Вимірювання температур за допомогою цифрових термометрів.

Сьогодні в побуті і техніці все більшого поширення набувають цифрові термометри, які мають багато переваг порівняно з іншими видами термометрів. Цифрові термометри безпечні у використанні (на відміну, наприклад, від ртутних термометрів), а тому ними можуть користуватися навіть діти. Рідинні та газові термометри мають дрібні шкали, а яскраві і великі цифри на дисплеях цифрових термометрів видно на відстані до 5 метрів! Якість вимірювання цифрових термометрів теж є набагато вищою – вони фіксують температуру з точністю до десятих (рис. 13, а). Цифрові термометри використовуються й для вимірювання температури тіла людини, причому час одержання інформації про температуру при цьому значно менший порівняно з ртутним термометром – через 15 – 30 с лунає звуковий сигнал, після чого ви можете дізнатися, яка у вас температура тіла (рис. 12, б).



а) Рис. 12. Цифрові термометри:

а) термометр для вимірювання температури повітря у приміщенні;

б) медичний термометр для вимірювання температури тіла людини.



б)

Із історії фізики: вчені і факти



Рис. 13. Принцип дії газового термометра

Термоскоп Галілея

Перший термометр сконструював видатний італійський вчений Галілео Галілей близько 1597 р.; він назвав його *термоскопом* (рис. 13). За термометричне тіло в ньому було взято повітря. Цей прилад складався із скляної кулі, наповненої повітрям, від нижньої частини цієї кулі відходила скляна трубка, частково заповнена підфарбованою водою. Трубка занурювалась нижнім кінцем у посудину, також наповнену підфарбованою водою. Перед використанням куля злегка нагрівалась; при цьому частина повітря з неї виходила, після чого трубку опускали в посудину. Атмосферний тиск змушував воду підніматися вгору до деякого рівня. Піднімання та опускання рідини у трубці пояснюється зміною температури повітря у кулі. Вимірювання температури термометром Галілея було наближенням. Термоскоп Галілея не мав певної шкали і тому можна було користуватися ним тільки для порівняння температури тіл. Сконструйований Галілеєм прилад став прообразом сучасного газового термометра (рис. 14). Ознайомтесь зі схемою цього термометра та поясніть механізм його дії.

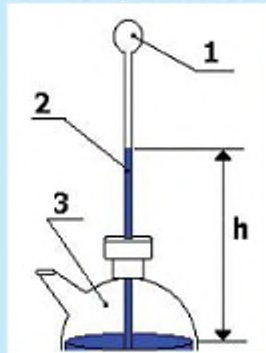


Рис. 14. Принцип дії газового термометра

Піднімання та опускання рідини у трубці пояснюється зміною температури повітря у кулі. Вимірювання температури термометром Галілея було наближенням. Термоскоп Галілея не мав певної шкали і тому можна було користуватися ним тільки для порівняння температури тіл. Сконструйований Галілеєм прилад став прообразом сучасного газового термометра (рис. 14). Ознайомтесь зі схемою цього термометра та поясніть механізм його дії.

Подумайте і дайте відповідь

1. Для чого використовують термометри? Який принцип покладено в основу дії термометрів?
2. Температуру якого тіла показує термометр?
3. Опишіть механізм побудови температурної шкали Цельсія.
4. Які температурні шкали, крім шкали Цельсія, ви знаєте?
5. У чому полягає особливість абсолютної шкали температур?
6. Яка температура відповідає абсолютному нулю? Запишіть зв'язок між температурою за абсолютною шкалою та шкалою Цельсія.
7. Назвіть види термометрів.
8. Яка властивість рідини використовується в рідинному термометрі? Опишіть його будову. Чим обмежується застосування рідинних термометрів?

Розв'яжіть задачі та оцініть результати

Вправа 3.

1. На рис. 16 зображено біметалічний термометр. Принцип дії цього термометра заснований на властивостях пластинки, складеної з різнорідних металів (біметалічна пластинка), змінювати свою форму при зміні температури. Біметалічні термометри мають меншу точність, ніж рідинні, але їх стрілка добре видна здалека. Такі термометри зазвичай встановлюють на вікнах. Використовуючи рисунок 15, визначте: а) температуру, яку показує термометр; б) похибку вимірювання біметалічним термометром, якщо ціна його поділки 2 мм.



Рис. 15. Біметалічний вуличний термометр

2. На рис. 16, а зображено найбільший в Україні (м. Харків) фасадний термометр (довжина 16 м, відстань між сусідніми позначками 1 м, кількість поділок між ними – 5). На рис. 16, б зображено побутовий вуличний термометр (довжина 20 см, відстань між сусідніми позначками 1 см, кількість поділок між ними – 10). Порівняйте конструктивні особливості цих термометрів. Обчисліть: а) ціну поділки кожного термометра; б) точність вимірювання кожним термометром. Зробіть висновки щодо точності вимірювання температури цими термометрами.



2. На рис. 16, а

за шкалою Кельвіна.

4. Що можна сказати про швидкість теплового руху молекул повітря, якщо його температура зменшилася? збільшилася?

3. На рис. 16, б подано цифровий термометр для вимірювання температури тіла людини та покази цього термометра. Обчисліть, якою є температура тіла людини: а) за шкалою Фаренгейта; б)



Рис. 16, б

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

► **1. Агрегатний стан речовини** – наслідок розташування, теплового руху та взаємодії атомів і молекул.

У природі більшість речовин можуть існувати у трьох станах – *твердому, рідкому та газоподібному*. Ці стани речовини називаються агрегатними станами. Четвертим агрегатним станом речовини є плазма.

Речовина може переходити з одного агрегатного стану в інший. Наприклад, кисень в оточуючому нас повітрі є газом. Але при температурі $193\text{ }^{\circ}\text{C}$ він перетворюється на рідину. Залізо в нормальних умовах є твердим, а при температурі $1535\text{ }^{\circ}\text{C}$ воно плавиться і переходить у рідкий стан. При цьому над розплавленим залізом буде знаходитись газ з атомів заліза, які з нього випарилась.

Ознайомимося з особливостями розташування, теплового руху та взаємодії атомів (молекул) речовини в різних агрегатних станах.

► **2. Особливості взаємодії молекул у твердих тілах, рідинах і газах.**

Рухом і взаємодією молекул пояснюються багато властивостей речовини, зокрема, відмінність між твердим, рідким і газоподібним станами, а, отже, й особливості теплових процесів, які з речовиною відбуваються.

Розглянемо це на прикладі оксиду Гідрогену. Він може перебувати у в трьох станах: в твердому у вигляді льоду, рідкому у вигляді води та газоподібному – у вигляді пари (рис. 17).

*Агрегатний (від латинського слова *aggregatus* – приєднаний)*

Існування різних агрегатних станів є наслідком особливостей взаємного розташування, теплового руху та взаємодії атомів (молекул).

Переходи речовини з одного агрегатного стану в інший називаються агрегатними перетвореннями.



Рис. 17. Оксид Гідрогену може одночасно перебувати в твердому, рідкому та газоподібному станах

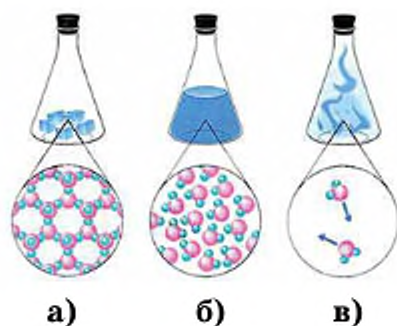
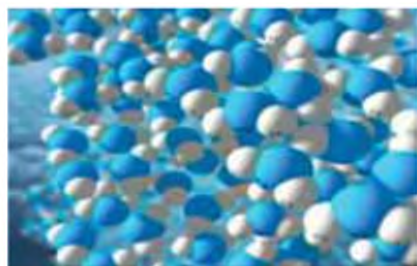


Рис. 18. Відмінності у розміщенні молекул оксиду Гідрогену різних агрегатних станах

У твердих тілах частинки не можуть віддалятися від сусідніх частинок, на значні відстані. Тому тверді тіла відрізняються сталими формою і об'ємом.



а)

Відмінність цих станів зумовлена лише розміщенням, взаємодією і рухом молекул речовини (рис. 18).

Так, лід (*твердий стан*) зберігає свої об'єм і форму. Це пояснюється тим, сили взаємного притягання частинок твердого тіла дуже великі, а тому частинка твердого тіла не може віддалитися від сусідніх частинок на значні відстані. Тепловий рух частинок у твердому тілі представляє собою хаотичні коливання відносно певних точок – *положень рівноваги*. Ці точки утворюють характерну лише для даного виду речовини просторову фігуру – *кристалічну ґратку*. У вершинах цієї фігури (рис. 18, а) розташовані частинки твердого тіла (атоми або молекули).

Цим пояснюється той факт, що об'єм льоду завжди більший від об'єму води, з якої він утворився. Описаний характер теплового руху і взаємодії частинок у твердих тілах визначає багато властивостей твердих тіл, зокрема те, що *тверді тіла зберігають свої форму і об'єм, а також важко стискаються*.

У воді (*рідкий стан*) молекули розміщені значно щільніше (рис. 18, б). Рух молекул рідини обмежений, але в порядкуваних положень вони не мають (рис. 20, а). Молекули стрибками переходять на вільні місця і переміщуються на відстані, які наближено дорівнюють середній відстані між молекулами. Потім рух молекул повторюється. Внаслідок такого руху молекули рідини не розходяться на великі відстані, а тому *рідина зберігає свій об'єм*.

Проте притягання молекул рідини ще

не таке велике, щоб рідина зберігала свою форму. Рідина набуває форму посудини, її легко перелити в іншу посудину або розбризкати. Лише маленькі краплі води можуть зберігати форму кульки на стінках ванни, на віконному склі (рис. 19, б). Стискаючи рідину, ми так зближуємо її молекули, що вони починають відштовхуватися. Ось чому рідину *важко стиснути*.

Молекули водяної пари (газоподібний стан) перебувають на відстанях, значно більших від розмірів самих молекул (рис. 18, в). На таких відстанях молекули дуже слабо взаємодіють між собою. Вони постійно знаходяться в русі, а тому водяна пара, як і будь-який інший газ, швидко заповнює весь вільний простір (об'єм посудини або кімнати тощо). Зіштовхуючись між собою кілька мільярдів разів за секунду, молекули газу змінюють напрям руху і розлітаються у всіх напрямках (рис. 20).

У газах частинки не утримуються одна біля одної і розлітаються у всіх напрямках, займаючи вільний простір. Тому гази не мають певних об'єму і форми і легко стискаються під дією зовнішнього тиску.

Гази не мають власної вільної поверхні, як тверді тіла або рідини, вони стискаються та розширюються.

Газам притаманна *рухливість*, тому, наприклад, природний газ зручно транспортувати газопроводами до будинків і підприємств.

Ще один агрегатний стан речовини – *плазма* (рис. 21). Це газ, який складається з позитивних і негативних йонів. Такий стан речовини використовують, зокрема, у



б)

Рис. 19. Характер руху та взаємодії частинок рідини, які визначають її фізичні властивості: а) молекули рідин щільно прилягають одна до одної, але не мають стабільних положень; б) за звичайних умов лише маленькі краплі води мають свою форму – форму кульки

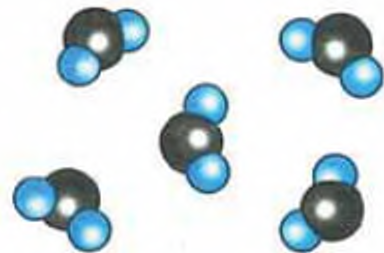


Рис. 20. У газах міжмолекулярні сили не можуть утримати молекули одну біля одної, а тому вони розлітаються у всіх напрямках

У рідинах положення частинок не є строго фіксованими, вони можуть переміщуватися між іншими молекулами. Тому рідини зберігають свій об'єм, але не зберігають форми – вони приймають форму посудини, у якій знаходяться (цю важливу особливість рідин називають текучістю)

Твердий, рідкий і газоподібний агрегатні стани речовини є основними у земних умовах. У Всесвіті ж речовина найпоширенішим станом речовини є плазма.



Рис. 21. У Всесвіті плазма – це найбільш поширений стан речовини.

*Кристали – від грецького слова *kristallos* – лід.*

плазмових телевизорах.

► 3. Кристалічні та аморфні тіла.

Є два різновиди твердого стану. Це *кристали та аморфні тіла*. Розглянемо особливості їх будови та фізичні властивості.

Тверді тіла, які мають впорядковане розташування своїх частинок, що періодично повторюється у просторі, називаються *кристалами*. Частинки кристалу утворюють у просторі *правильну кристалічну ґратку* (рис. 23).

Основою кристалічної ґратки є *елементарна комірка* – фігура найменшого розміру, послідовним переміщенням якої можна побудувати весь кристал (на рис. 22 така комірка кольорова). Отже, кристалічні тіла характеризуються просторовою періодичністю в розміщенні рівноважних положень частинок. Щоб краще уявляти собі елементарні комірки, центри атомів (молекул) на рисунках показують за допомогою кульок та ліній, які їх з'єднують. Насправді таких ліній не існує. Їх проводять лише для того, щоб зосередити увагу на особливостях того чи іншого просторового розташування частинок. Щоб краще розрізнити атоми різних речовин, з яких утворений даний кристал, їх зображають різними кольорами (рис. 23).

Кристали мають правильну поперечну форму. Наприклад, якщо розглядати кухонну сіль через лупу, то можна побачити, що кристали солі мають форму куба. А форма сніжинки свідчить про геометричну правильність будови кристалічного тіла – льоду (рис. 24).

Навіть в одному агрегатному стані одна

й та сама речовина може мати різні властивості. Наприклад, за хімічним складом і алмаз, і графіт є простою речовиною, що складається з атомів Карбону. Але їх кристалічні ґратки суттєво різні (рис. 25, а, рис. 25, б відповідно)

Перебуваючи в кристалічних ґратках на постійних місцях, частинки зазнають безперервних теплових коливань.

Є монокристали та полікристали. *Монокристал* – це одиночний кристал, який має форму правильного багатогранника. Монокристали рідко досягають розмірів в декілька сантиметрів (рис. 26, а). Монокристалічними є дорогоцінне каміння, ісландський шпат, топаз). Найчастіше у природі зустрічаються *полікристали* – сукупність монокристалів (рис. 26, б), які хаотично зрослися між собою (кам'яна сіль, цукор, кварц, лід, залізо, мідь).

Аморфні тіла. Окрім кристалічних твердих тіл, є й *аморфні*, яким притаманні властивості як твердих тіл, так і рідин.

На відміну від кристалів, у аморфних тіл відсутній порядок в розташуванні атомів. У аморфних тілах атоми коливаються навколо хаотично розміщених точок, що не мають просторової періодичності (рис. 27, а)

До аморфних тіл належать скло, смола, смола, каніфоль, віск, пластмаси, цукровий льодяник.

Отже, кристали і аморфні тіла є твердими тілами. Але їх *фізичні властивості значно відрізняються*. З цих двох станів більш стійким є кристалічний.

Під час нагрівання тверді тіла перетво-

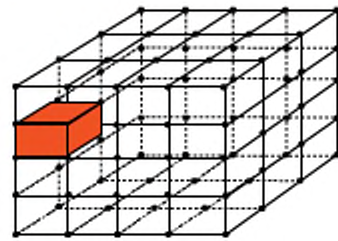


Рис. 22. Основа кристалічної ґратки — елементарна комірка

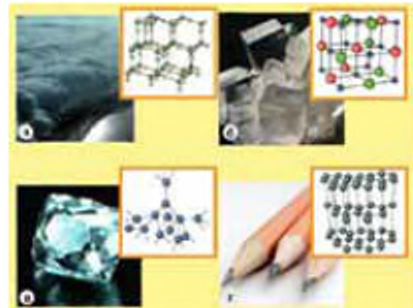


Рис. 23. Кристалічні ґратки окремих тіл: льоду (а), кухонної солі (б), алмазу (в), графіту(г)



Рис. 24. Сніжинка – це кристалічне тіло, яке утворює в просторі кристалічну ґратку

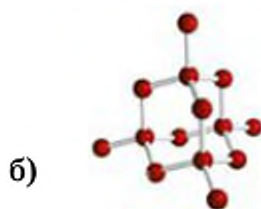
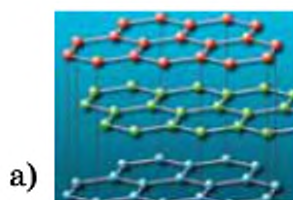


Рис. 25. Кристалічні гратки твердих тіл: а) графіт; б) алмаз

Відмінності у властивостях твердих тіл пояснюються різною будовою їх кристалічних ґраток.

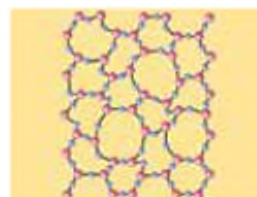


Рис. 26. Кристалічні тіла: а) монокристали; б) полікристали

рюються на рідини. Кристалічні – за певної температури, яка залежить від речовини твердого тіла. Аморфні тіла з твердого стану переходять до рідкого поступово: спочатку вони розм'якшуються, а потім стають рідкими. Це пов'язане з тим, що навіть у твердому стані аморфні тіла не мають строгої періодичності у розташування атомів.

Тверді тіла різняться й іншими фізичними властивостями, наприклад, здатністю передавати тепло або проводити електричний струм. Із такими їх особливостями ви ознайомитеся при подальшому вивченні фізики.

*Аморфний – від грецького слова *amorphous* – безформний.*



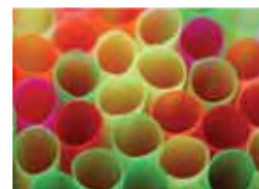
а)



б)



в)



г)

Рис. 27. Аморфні тіла: а) аморфні тіла навіть у твердому стані не мають періодичності у розташуванні атомів; б) смола; в) віск; г) пластмаси

ПОГЛИБТЕ СВОЇ ЗНАННЯ**Плазма**

При нагріванні речовини зростає швидкість руху її окремих частинок (атомів, молекул) і відбувається руйнування структури речовини: тверде тіло перетворюється на рідину, рідина – на газ. При подальшому нагріванні газу швидкість руху молекул газу настільки зростає, що починає відбуватися процес відриву електронів від атомів. Утворюється особливий стан газу – плазма. Отже, плазма – це сукупність однакового числа позитивних і негативних йонів.

У природних умовах біля поверхні Землі плазма практично відсутня. З'являється вона лише у верхніх шарах атмосфери – йоносфері. У космічному просторі плазма – це найбільш поширений стан речовини. Сонце, гарячі зірки, які мають дуже високі температури, повністю складаються з плазми. А, отже, без знання законів фізики плазми неможливо зрозуміти еволюцію зірок і розвиток Всесвіту.

Біля поверхні Землі плазма утворюється лише під час спалахів блискавки. Плазма заповнює лампи денного світла, скляні трубки неонові реклами.

Розширте науковий кругозір

Найбільші кристали природного походження

З давніх-давен кристали привертали увагу людей своїм зовнішнім виглядом. Їх навіть наділяли магічними властивостями. Але у наш час кристали мають суто практичну цінність: вони є основою багатьох технічних пристроїв; кристали дорогоцінного каміння використовуються для виготовлення ювелірних прикрас. Важливою характеристикою кристалу є його розмір. Найбільші кристали природного походження заховані в глибинах двох печер, які знаходяться у Мексиці (рис. 28). На жаль, побачити це диво можуть не всі внаслідок екстремальних умов в печерах (температура у них досягає 65°C).



Рис. 28. Величезні кристали селеніту (кристалічний гіпс) мають форму колон, масу близько 55 тонн та досягають 1, 2 метра у діаметрі.

Фізичні дослідження в Україні

Вирощування штучних кристалів

Сьогодні фізика і техніка досягли такого рівня, коли учені можуть штучно вирощувати кристали навіть більшого розміру, ніж це робить природа. Зокрема, у 2009 році в лабораторіях Інституту монокристалів Національної академії наук України (м. Харків) був вирощений один з найбільших у світі монокристалів масою 504,5 кг (рис. 29). Для його створення використовувалася новітня технологія, яка дозволяє за 18-19 днів вирощувати кристали діаметром 0,5 м. Українські вчені впевнені, що після розроблення відповідного обладнання вони зможуть вирощувати й набагато більші екземпляри. До речі, Інститут монокристалів є одним з лідерів у розробці й удосконаленні техніки вирощування монокристалів, а також виготовлення кристалів різного призначення та найвищої якості. Дослідження й напрацювання науковців цього інституту користуються попитом не лише в Україні, але й далеко за її межами, оскільки кристали використовуються у медичному обладнанні для діагностування небезпечних хвороб, на митних пунктах для виявлення шкідливих вантажів, в оборонній промисловості.

Від теорії до практики

Що таке сапфірове скло?

Це не скло, а кристалічне тіло. Воно виготовляється із сапфірів, одержаних штучним способом. Сапфірове скло – це надтвердий матеріал, а тому воно використовується для виготовлення дуже міцного скла, зокрема, куленепробивного. Сапфірове скло також встановлюється у вітринах великих торговельних центрів, у коштовних швейцарських годинниках. Найближчим часом компанія Apple планує розпочати масове виготовлення сапфірового скла для смартфонів та айфонів (рис. 30).



Рис. 29. Учені Інституту монокристалів НАН України виростили один з найбільших кристалів у світі



Рис. 30. Сапфірове скло – це кристал, який має дуже велику міцність

Подумайте і дайте відповідь

1. У яких агрегатних станах може перебувати речовина? Наведіть приклади різних агрегатних станів.
2. Чи відрізняються молекули однієї й тієї самої речовини у твердому, рідкому та газоподібному станах?
3. Які особливості розташування, теплового руху та взаємодії атомів і молекул у кристалічних тілах? аморфних тілах? рідинах? газах?
4. Що таке монокристали? полікристали?
5. Чим зумовлені відмінності у фізичних властивостях твердих тіл, рідин і газів?
- 6*. Що представляє собою плазма?

Розв'яжіть задачі та оцініть результати**Вправа 4.**

1. Накресліть у зошит таблицю та заповніть її.

Стан речовини	Основні властивості		Характер руху молекул
	Об'єм	Форма	
<i>Твердий</i>			
<i>Рідкий</i>			
<i>Газоподібний</i>			

2. Визначте за наведеним описом, про який агрегатний стан речовини йдеться:
 - а) речовина прозора, безбарвна, легко стискається;
 - б) речовина легко змінює форму, але погано стискається;
 - в) речовина має власний об'єм і форму, а також важко стискається.
3. Ви, мабуть, коштували цукровий льодяник (пригадайте, це – аморфне тіло). Тоді ви помічали, що у результаті тривалого зберігання він вкривається кристалами цукру. Також ви бачили, що скло, яке теж є аморфним тілом, з часом тьмяніє, що відбувається внаслідок утворення в ньому кристалів. Користуючись цими фактами, які вам відомі з особистого досвіду, обґрунтуйте, який стан твердого тіла є стійкішим: кристалічний чи аморфний?
4. Учені Інституту монокристалів НАН України виростили один з найбільших у світі прямокутних сапфірів розмірами 350 x 500 x 50 мм. Визначте масу цього дорогоцінного кристалу, якщо його густина $5143 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

§ 5. ЗАЛЕЖНІСТЬ РОЗМІРІВ ФІЗИЧНИХ ТІЛ ВІД ТЕМПЕРАТУРИ

У твердих тіл, рідин і газів має місце об'ємне розширення – зміна об'єму при нагріванні. У твердих тіл спостерігається також лінійне розширення – зміна довжини, ширини і висоти тіла.

Особливості теплового розширення у газах, рідинах та твердих тілах зумовлені відмінностями у характері теплового руху та взаємодії атомів і молекул, з яких утворені ці речовини.

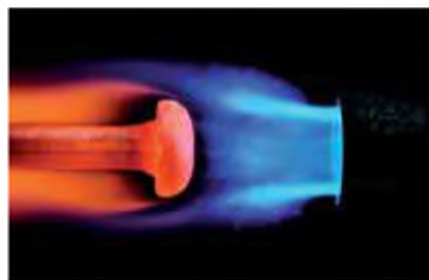


Рис. 31. Залізний цвях довжиною 10 см при нагріванні на 1 °С збільшує свою довжину на 0,0012 мм.

► **1. Теплове розширення – важлива теплова властивість речовини.**

Досліди і спостереження дозволяють нам впевнитися в тому, що при підвищенні температури розміри тіл незначно збільшуються, а при охолодженні – зменшуються до попередньої величини. Це прояв однієї з важливих властивостей речовин, яка зумовлена характером теплового руху атомів і молекул – *теплове розширення*. У твердих тіл, рідин і газів має місце *об'ємне розширення* – зміна об'єму при нагріванні. У твердих тіл спостерігається також *лінійне розширення* – зміна довжини, ширини і висоти тіла. Чим зумовлюється теплове розширення тіл? Очевидно, що при нагріванні будь-якого фізичного тіла, швидкість теплового руху його атомів і молекул збільшується. Внаслідок цього молекули після взаємодій розходяться на більші відстані, а, отже, збільшується об'єм речовини. У твердих тілах при нагріванні збільшується амплітуда коливань частинок біля положень рівноваги, що теж призводить до збільшення об'єму.

Найбільшого теплового розширення зазнають гази, найменшого – тверді тіла. Так, при нагріванні на 1°С гази збільшують свій об'єм на $\frac{1}{273}$ об'єму, який вони мають при 0°С. Залізо при нагріванні на

1°C лінійно розширюється на 0,012 мм на кожний метр довжини (рис. 31).

► 2. Теплове об'ємне розширення тіл. Виведемо формулу для визначення залежності об'єму тіла від температури. Припустимо, що V_0 – початковий об'єм тіла (об'єм при температурі t_0); V – об'єм тіла при температурі t .

Тоді при нагріванні тіла на Δt °C його об'єм збільшиться, на – це є абсолютна зміна об'єму тіла.

Тепер запишемо відносну зміну об'єму тіла – це відношення абсолютної зміни об'єму тіла ΔV до його початкового значення V_0 :

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{(V - V_0)}{V_0}$$

Якщо тіло нагрівається на Δt градусів ($\Delta t = t - t_0$), то відносна зміна об'єму тіла дорівнюватиме:

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

Ця величина позначається літерою β і називається коефіцієнтом об'ємного розширення.

$$\frac{\Delta V}{V_0 \Delta t} = \beta \quad \text{або} \quad \frac{(V - V_0)}{V_0 \Delta t} = \beta$$

З останньої формули після нескладних математичних перетворень випливає

$$V = V_0 (1 + \beta \Delta t)$$

Таким чином, ми встановили, що залежність об'єму тіла від температури при нагріванні пропорційна до зміни температури.

Одиницею вимірювання коефіцієнту об'ємного розширення є градус у мінус першому степені (град⁻¹ або К⁻¹).

Внаслідок теплового розширення речовини набувають нових властивостей.

Коефіцієнт об'ємного розширення показує, в скільки разів від свого початкового значення змінюється об'єм тіла при його нагріванні на 1°C.

Коефіцієнт об'ємного розширення β залежить від природи речовини.

Значення коефіцієнтів розширення різних тіл визначаються експериментально і наводяться в таблицях. Отже, теплове розширення тіла пропорційне до зміни температури тіла. Але слід зауважити, що така залежність має місце лише у межах невеликого інтервалу температур.

Як й у випадку об'ємного розширення, лінійне розширення пропорційне до температури тіла лише у межах невеликого інтервалу температур. Лінійне теплове розширення є незначним для більшості твердих тіл. Зокрема, значення α лежить у межах 10^{-5} – 10^{-6} град⁻¹ (тобто лінійні розміри тіла зростають на 1/100000–1/1000000 частину своєї довжини при нагріванні на 1⁰C).

► 3. Теплове лінійне розширення твердих тіл

Для практичних розрахунків при конструюванні виробів з твердих тіл частіше враховують зміну лінійного розширення. Аналогічно до визначення об'ємного розширення, одержимо:

$$l = l_0 (1 + \alpha \Delta t),$$

де l – довжина тіла при даній температурі; l_0 – довжина тіла при початковій температурі.

α – коефіцієнт лінійного розширення (видовження) тіла. Він залежить від природи речовини.

► 4. Урахування теплового розширення твердих тіл в практичній діяльності.

Експериментально встановлено, що при рівномірному нагріванні тверді тіла розширюються у всіх напрямках однаково і зберігають свою форму.

Виконаємо такий дослід. Залізну кульку підвісимо на нитці до штативу так, щоб вона вільно проходила крізь кільце, діаметр якого майже дорівнює діаметру кульки (рис. 32, а). Тепер нагріємо цю кульку на спиртівці (рис. 32, б) і спробуємо пропустити її крізь кільце (рис. 32, в). Побачимо, що кулька крізь нього не проходить, що свідчить про збільшення її діаметру. Після охолодження кулька знову вільно пройде крізь кільце – це означає, що при охолодженні діаметр кульки зменшився і зрівнявся з початковим значенням.

Теплове розширення твердих тіл значно менше, ніж теплове розширення рідин, та у сотні і тисячі разів менше від розширення газів. Але сили пружності,

які виникають у твердих тілах внаслідок теплового розширення, бувають значними. Тому теплове розширення враховують при конструюванні багатьох споруд. Не можна, наприклад, туго натягувати електричні проводи між стовпами ліній електропередач, тому що при зниженні температури повітря їх розміри можуть зменшитися. Навпаки, у спеку, проводи розширюються, що призводить до їх провисання (рис. 33). Металеві трубопроводи обладнують спеціальними згинами у вигляді петель, які компенсують лінійне видовження металевих труб влітку та відповідне скорочення в холодну пору року. Металеві мости закріплюють лише з одного боку, а інший розміщують на спеціальних катках. Подивіться на залізничні рейки – їх не кладуть щільно одна до одної, а залишають між ними проміжки, тому що у сильну спеку вони можуть видовжитися й лопнути.

У техніці й будівництві різноманітні матеріали, що періодично нагріваються та охолоджуються, слід добирати так, щоб їх лінійні розміри при коливаннях температури змінювались однаково. Так, залізо і бетон розширюються однаково, що дає можливість будувати залізобетонні споруди.

► 5. Особливості теплового розширення рідин. Аномалія води.

Рідини розширюються під час нагрівання значно сильніше, ніж тверді тіла, оскільки зв'язок між молекулами у них слабкіший. Рідини розширюються так само у всіх напрямках. Оскільки вони не зберігають своєї форми, то поняття тепло-



Рис. 32. Температурна залежність розміру фізичного тіла

Теплове розширення призводить до деформації тіла, в якому при цьому виникають сили пружності.



Рис. 33. Провисання проводів ліній електропередач

Численні дослідни французького фізика і хіміка Гей-Люссака (1778–1850 рр.) та інших показали, що коефіцієнт об'ємного теплового розширення в

усіх газів майже однаковий і дорівнює $\frac{1}{273}$ град⁻¹. Інакше кажучи,

під час нагрівання при сталому тиску на 1°С

об'єм даної маси газу збільшується на $\frac{1}{273}$

того об'єму, який ця маса газу займала при 0°С (цей висновок дістав назву закону Гей-Люссака, а повніше про нього ви дізнаєтесь при вивченні курсу фізики у старшій школі).

вого лінійного розширення до них незастосовне.

Важливо пам'ятати, що внаслідок великої рухливості молекул рідина набуває форму посудини, в якій вона міститься. Тому при обчисленнях теплового розширення рідини слід враховувати і теплове розширення посудини.

► 6. Особливості теплового розширення газів.

Гази розширюються під час нагрівання значно більше, ніж рідини і тверді тіла. І це зрозуміло. Молекули газу дуже слабко зв'язані між собою і в разі підвищення температури швидкість їх теплового руху значно зростає. Але при дослідженні залежності об'єму газу від температури слід мати на увазі, що дана маса газу займає весь об'єм посудини, який їй надано, та створює той чи інший тиск. Тому фізичний стан газу одночасно визначається трьома його параметрами: об'ємом V , тиском p та температурою, при цьому ці параметри взаємозв'язані.

ПОГЛИБТЕ СВОЇ ЗНАННЯ

Найпоширеніша на Землі рідина – вода, має особливу властивість у своєму тепловому розширенні. Ця особливість дістала назву аномалії (відхилення від норми) *теплого розширення води*. На відміну від інших рідин при нагріванні води від 0 до 4°C її об'єм не збільшується, а зменшується, і, лише починаючи з 4°C , починає зростати. Отже, при температурі 4°C вода має мінімальний об'єм, тому її густина при цьому найбільш. Ця властивість води має важливе значення для клімату на Землі та життя у воді, у великих і малих водоймах. У великих водоймах (морях, океанах) це сприяє перемішуванню і прогріванню води. У невеликих водоймах це забезпечує рослинне і тваринне життя. На дні великих озер вода цілий рік зберігає температуру, не нижчу за $+4^{\circ}\text{C}$. Якби густина води весь час зменшувалась, то вся вода в озері (ставку) охолоджувалась б до температури 0°C і у випадку довгої суворої зими водойми промерзли б до дна. За літо вони б не встигали відмерзати. Цим було б унеможливлене життя риб та інших організмів у воді. Уважно роздивіться рисунок 34, який відображає наслідки аномалії теплового розширення води.

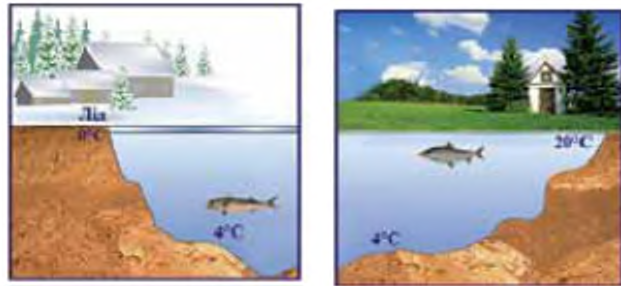


Рис. 34. Розподіл температур у водоймі в зимовий та літній періоди

Зв'язок фізики з іншими науками

Вода – це унікальна і загадкова речовина, яка відіграла визначальну роль у виникненні та розвитку життя на Землі. Властивості води багатогранні і на сьогодні не є повністю дослідженими. Вода завжди була об'єктом пильної уваги фізиків, але не менш ретельно її досліджують хіміки та біологи. Така плідна співпраця дозволяє ученим виявляти невідомі раніше властивості цієї дивної речовини. Проблемами води та її властивостей в Україні займається Інститут колоїдної хімії та хімії води імені А.В. Уманського Національної академії наук України (м. Київ). Учені систематизують відомості про фізичні, хімічні та біологічні властивості води та її численні унікальні аномалії. І, що особливо важливо, в інституті

ЧАСТИНА I. ТЕПЛОВІ ЯВИЩА

розроблено новий метод оцінки якості питної води та її безпеки, який не має аналогів у світі – біотестування води.

Подумайте і дайте відповідь

1. Чому склянки з товстого скла тріскаються частіше, ніж з тонкого?
2. До якої температури охолонуть вода на дні озера до того, як вона почне замерзати з поверхні? Відповідь поясніть.
3. За якою формулою обчислюється об'єм тіла при тепловому розширенні? Що називають коефіцієнтом об'ємного розширення?
4. Як пояснити той факт, що газу під час нагрівання розширюються більше, ніж тверді тіла і рідини?
5. Назвіть приклади теплового розширення тіл та його практичного застосування.
- 6*. У чому полягають особливості теплового розширення води?
- 7*. Чим відрізняється коефіцієнт об'ємного розширення від коефіцієнта лінійного розширення?

Розв'яжіть задачі та оцініть результати

Вправа 5.

1. Чому склянки з товстого скла тріскаються частіше, ніж з тонкого?
2. До якої температури охолонуть вода на дні озера до того, як вона почне замерзати з поверхні? Відповідь поясніть.
3. Якщо температура повітря над льодом, що вкрив озеро, -10°C , то яку температуру слід очікувати зверху на льоду? знизу у воді, що стикається з льодом? у воді на дні озера?
4. На скільки збільшиться об'єм даної маси газу при нагріванні на 1°C ?
- 5*. Залізний бензобак автомобіля ємністю 70 л повністю заповнений бензином при температурі 20°C . Автомобіль поставили на сонце у спекотну погоду, внаслідок чого бензин у баці розігрівся до 50°C . Чи може скластися така надзвичайна ситуація, коли бензин вилетіть з бака? Якщо це можливо, то яка маса бензину вилетіть?
- 6*. З металевого диска вирізали сектор (рис. 35). Чи змінюватиметься кут ϕ при нагріванні диска? Відповідь обґрунтуйте.

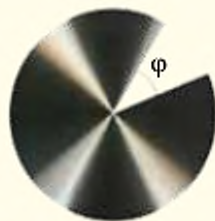


Рис 35. Металевий диск з вирізаним сектором

§ 6. РІДКІ КРИСТАЛИ ТА ЇХ ВИКОРИСТАННЯ. ПОЛІМЕРИ. НАНОМАТЕРІАЛИ

► 1. Як були відкриті рідкі кристали?

Унікальні властивості рідких кристалів. Чи замислювалися ви коли-небудь над тим, що у кожного з нас завжди є поруч рідкі кристали? Це дійсно так, адже ми дивимося телевизор, користуємося комп'ютером та мобільним телефоном. А тому ви маєте уявляти собі, що представляють собою рідкі кристали і чому вони так поширені в техніці.

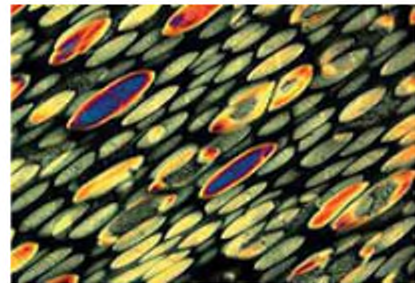
Вивчаючи питання про агрегатні стани речовини, ви дізналися, що більшість речовин у природі не може одночасно перебувати у твердому та рідкому станах. Але наприкінці ХІХ ст. виявилось, що це можливо — таку властивість мають рідкі кристали.

Ви вже знаєте, що усі властивості речовин зумовлені характером руху, розташування та взаємодії частинок, з яких вони утворені. А як тоді рухаються і взаємодіють молекули рідких кристалів, адже вони одночасно перебувають у двох агрегатних станах?

Молекули рідких кристалів мають витягнуту паличкоподібну форму. Саме така форма і визначає їх взаємне розташування всередині речовини – вони розташовані пліч о пліч одна до одної у певному порядку (рис. 36). Тому вони можуть рухатися лише вздовж своєї осі, повертатися на певний кут, але при цьому не можуть змінити напрям свого розташування (на відміну



а)



б)

Рис. 36. Молекули рідких кристалів мають витягнуту паличкоподібну форму і розташовуються у певному порядку: а) модель внутрішньої будови рідкого кристалу; б) молекули в рідкому кристалі розташовані в певному порядку

від молекул рідини, які можуть рухатися у всіх напрямках). Така внутрішня будова рідких кристалів визначає їх властивості і застосування. Відомо декілька сотень рідких кристалів.

РІДКІ КРИСТАЛИ	
Схожість з рідинами	Схожість з кристалами
Мають властивість текучості – приймають форму посудини, у якій знаходяться	Мають упорядковану внутрішню будову – молекули розташовані у певному порядку

Характерною особливістю рідких кристалів є те, що вони дуже красиві і таємничі при спостереженні у мікроскопі (рис. 37)!

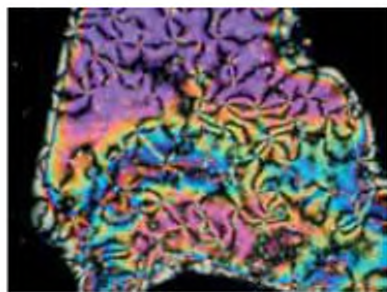
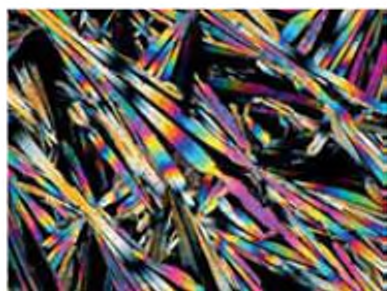


Рис. 37. Фотографії рідких кристалів, одержані при їх спостереженні за допомогою мікроскопу

Дослідження рідких кристалів розпочалося в кінці 60-х років ХХ століття. З появою комп'ютерної техніки рідкі кристали стали використовуватися при створенні дисплеїв. Інформаційні стенди на залізничних вокзалах та в аеропортах, рекламні білборди зі зміною зображення – теж побудовані на рідких кристалах. Сьогодні більшість телевізорів мають рідкокристалічні екрани. Ефективно використовуються рідкі кристали у медицині. Вони дуже чутливі до змін температури (десяті долі градуса) і при цьому змінюють своє забарвлення. Тому плівки рідких кристалів дозволяють зафіксувати зміни температури. Тому рідкі кристали дозволяють одержати картину розподілу температур на тілі людини, а, отже, локалізувати запалення.

Як системи відображення інформації рідкі кристали використовуються у наручних годинниках, вимірювальних приладах

автомобілів. За допомогою рідких кристалів виявляють пари шкідливих хімічних сполук і небезпечні для здоров'я людини випромінювання.

З прикладами застосувань рідких кристалів ви можете ознайомитись на рис. 38.

► 2. Полімери – основа сучасного виробництва у різних галузях техніки

Сучасний науково-технічний прогрес був би неможливий без створення нових матеріалів, одним з яких є полімер. Термін «полімер» був введений у 1833 р. шведським хіміком та мінерологом **Йенсом Берцеліусом** (1799-1848 рр.). Це поняття визначає передусім не склад речовини, а те, як вона побудована. Полімери складаються із дуже великих і гнучких лінійних (атоми розташовані в одну лінію) або розгалужених (розташування атомів нагадує гілки дерев) молекул, які отримали назву *макромолекул* (рис. 39, а). Отже, характерною ознакою полімерів є наявність у їх складі макромолекул, які являють собою довгі ниткоподібні ланцюги. Ланцюги побудовані з однакових атомів. Наприклад, атоми вуглецю складають «основу» макромолекул одного із самих поширених полімерів – поліетилену (рис. 39, б). Специфічні властивості полімерів зумовлені саме їх хімічною будовою.

Дослідження впорядкованості розташування макромолекул в полімерах дало можливість розділити їх на *аморфні та кристалічні*. До аморфних полімерів відносяться, зокрема, полівінілхлорид, поліметилметакрилат (органічне скло) та інші, до кристалічних – поліетилен, поліпропі-

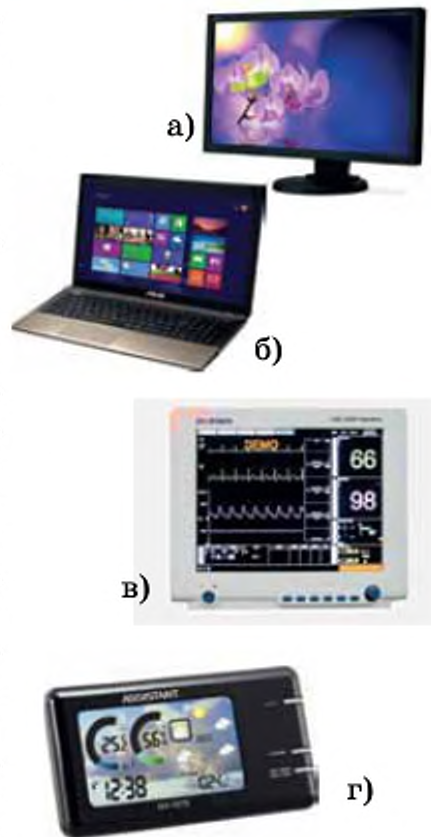
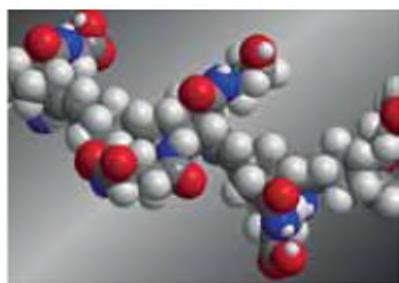


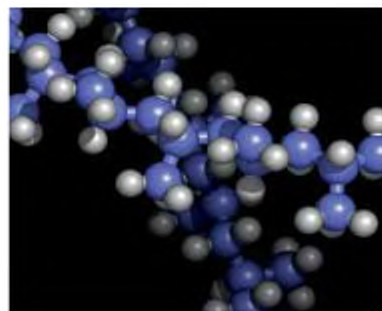
Рис. 38. Пристрої на рідких кристалах використовуються у системах відображення інформації та вимірювальних приладах:

- а) телевизор з рідкокристалічним екраном;
- б) ноутбук з рідкокристалічним монітором;
- в) рідкокристалічний індикатор для інтенсивної терапії (в медицині)
- г) цифровий рідкокристалічний індикатор зміни температури і вологості повітря

*Полімер – від грецького слова *polumeros* – такий, що складається з багатьох частин, різноміатний.*



а)



б)

Рис. 39. Моделі полімерних макромолекул:

- а) розгалужена макромолекула полімеру;
б) макромолекула поліетилену

З біополімерів побудовані клітини усіх живих організмів (білки, нуклеїнові кислоти).

Для утворення полімерів з новими властивостями до них додають різні хімічні добавки.

лен, фторопласт та інші.

Полімери залежно від їх походження поділяють на: а) *природні*, які добувають з природних матеріалів (наприклад, целюлоза, крохмаль, натуральний каучук та ін.); б) *штучні*, які одержують за допомогою хімічної модифікації природних полімерів (наприклад, із целюлози одержують віскозне волокно); в) *синтетичні*, що добувають у процесі синтезу деяких сполук (поліетилен, поліамід, епоксидні смоли).

Сучасне машинобудування, авіація, космічна техніка, автомобілебудування, електро- і радіотехніка немислимі без використання полімерних матеріалів. Полімери використовуються також в медицині, текстильному виробництві, сільському господарстві. Одним з найважливіших напрямів технічного прогресу в усьому світі є подальший розвиток промисловості полімерів: виготовлення синтетичних і штучних волокон, синтетичного каучуку, шкіри, захисних полімерних покриттів, клеїв, гуми, плівок, лаків, герметиків, посуду та інших матеріалів на основі полімерів. Традиційно вироби з полімерів відрізняються надійністю та високою якістю (рис. 40). Так, вікна з полівінілхлорида стійкі проти атмосферних впливів, безпечні для людини, забезпечують необхідний повітрообмін та звукоізоляцію. Але слід пам'ятати, що деякі полімери (наприклад, поліуретан, поліефір, епоксидні смоли) схильні до займання, тому при практичному використанні полімерних матеріалів слід дотримуватись правил безпеки.

► **3. Нанотехнології – найсучасніша га-**

лузь фізики. Наноматеріали

Ми живемо у XXI століття і, звичайно, нас всіх хвилює питання про майбутнє, про подальший розвиток науки і техніки. Відповідь на ці та інші питання частково може дати розвиток нанофізики, нанотехнологій і створення принципово нових наноматеріалів.

Нанотехнології — це технології роботи з об'єктами, які мають лінійні розміри у декілька нанометрів (мільярдна доля метра). 1 нанометр (1 нм) = 10^{-9} м (1 нм наближено в 100 тисяч разів менше товщини людської волосини). Цікаво також те, що окремі віруси мають розміри близько 10 нанометрів, а 1 нм має радіус подвійної спіралі молекул ДНК. Щоб оцінити цей розмір, можна також мислено співставити земну кулю і монету номіналом в 1 копійку. Важливість нанотехнологій важко переоцінити, оскільки це — майбутнє!

Для успішних досліджень у галузі нанотехнологій необхідно знати будову атома, а також його здатність до взаємодії з іншими атомами.

За допомогою нанотехнологій отримано нову речовину товщиною в один атом Карбону. Це вуглецевий наноматеріал «графен», у якому атоми Карбону з'єднані у «комірки» формою правильного шестикутника зі стороною 0,142 нанометра (рис. 41).

Які сьогодні практичні досягнення нанотехнологій? Нанотехнології дозволяють виробляти легкі і гнучкі будівельні матеріали, високоефективні фільтри для води і повітря. Ліки, виготовлені за допомо-

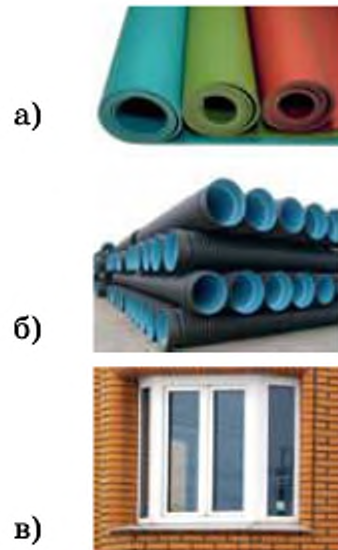


Рис. 40. Вироби з полімерів:
а) килими з натурального каучука для спортивних занять та побуту;
б) труби з поліетилену для систем водопостачання;
в) вікна з полівінілхлориду (ПВХ)

Основним об'єктом нанотехнологій і ключем до їх використання є атом. Для успішних досліджень у галузі нанотехнологій необхідно знати будову атома, а також здатність до взаємодії з іншими атомами

Нанотехнології дозволяють впорядкувати атоми в новому порядку і одержувати речовини з необхідними їм надзвичайними властивостями.

Переміщення окремих атомів можна здійснювати за допомогою «лазерного пінцету».

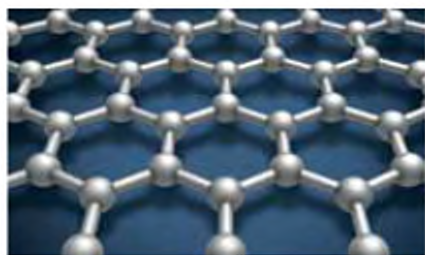


Рис. 41. Структура графену – найтоншої речовини у світі!



Рис. 42. Наноробот-медик може дістатися до важкодоступних частин організму та забезпечити можливість діагностування захворювання

гою нанотехнологій, дозволяють впливати лише на хворі клітини, не пошкоджуючи здорові, а косметика діє не лише на поверхню шкіри, але й на більш глибокому рівні.

Нанотехнології широко використовуються, зокрема, в *матеріалознавстві* для створення високоміцних матеріалів, в *електроніці* для створення електронно-обчислювальних машин наступного покоління, створення надпотужних і надмініатюрних комп'ютерів, в *медицині* при виготовленні інструментарію для високоточної доставки ліків у певні місця живого організму, при діагностиці біологічно-шкідливих домішок у виробництві харчових продуктів, а також в інших галузях науки і техніки. За допомогою нанотехнологій створено електромобіль, розвивається робототехніка (рис. 42).

Нанотехнології забезпечують надцільний запис інформації в сучасних комп'ютерних системах. Наприклад, для збереження одного байта інформації у жорстких дисках використовуються 500 мільйонів атомів, а самий маленький «магнітний байт» може бути збережений з використанням всього 96 атомів.

За допомогою нанотехнологій виробляються найсучасніші *наноматеріали*. Це, в першу чергу, нанопорошки та вуглецеві нанотрубки.

Нанопорошки – це порошки, розмір частинок якого менше 100 нм.

У чому ж полягає цінність нанопорошків?

Кераміка, виготовлена на основі нанопорошків має таку міцність, що викорис-

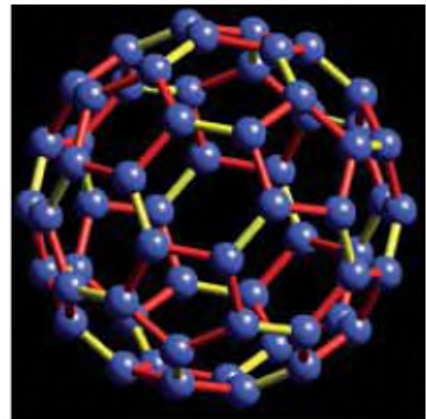
товується для створення броні військової техніки! Нанопорошки також дозволяють одержувати тверді сплави, нові міцні матеріали. Нанопорошки використовуються у виробництві сонячних батарей.

Вуглецеві нанотрубки (або фулерени) – це великі молекули, які складаються лише з атомів вуглецю. Прийнято вважати, що ці молекули представляють собою нову форму вуглецю, поряд з відомими – алмазом та графітом.

Головна особливість нанотрубок полягає в тому, що вони мають каркасну форму, яка нагадує замкнену порожню оболонку. Найбільш відомий з фулеренів – це фулерен C₆₀. Молекула фулерена складається з 60 атомів вуглецю, розташованих на сфері з діаметром близько одного нанометра. Атоми вуглецю розташовані на сфері у вершинах п'яти і шестикутників, що нагадує за формою футбольний м'яч (рис. 43). Саме з цього фулерена, відкритого у 1985 році, розпочалася епоха активного дослідження цих дивовижних структур.

У кінці 80-х років біли відкриті нові фулерени, які нагадували довгі циліндри – нанотрубки. У перерізі їх розмір складає декілька нанометрів, у той час, як за довжиною вони можуть досягати гігантських розмірів – майже до міліметра! Атоми вуглецю на поверхні трубки розташовані в вершинах правильних шестикутників (рис. 44).

Нанотрубки мають дивовижні властивості – вони дуже міцні як на розтяг, так й на згин. Якщо у майбутньому вдасться виробити нанотрубки великої довжини, то

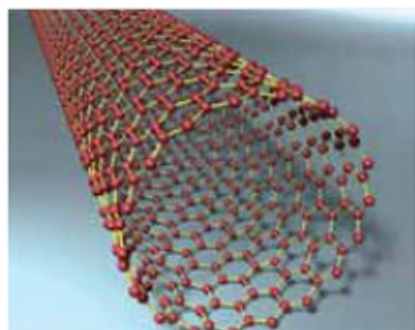


а)

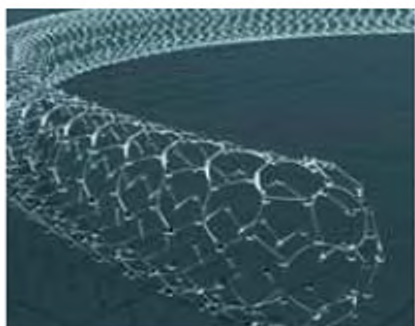


б)

Рис. 43. Фулерени – великі молекули, що складаються з атомів вуглецю:
а) найбільш симетричний та найбільш досліджений фулерен C₆₀;
б) за своєю формою фулерен C₆₀ нагадує форму футбольного м'яча



а)



б)

Рис. 44. Моделі вуглецевих нанотрубок:

- а) вуглецева нанотрубка складається з молекул, які містять надзвичайно велике число атомів (близько 10^6);
б) одне із найважливіших завдань в області нанотехнологій – це отримання вуглецевих нанотрубок «нескінченної» довжини.

тоді такі троси з декількох нанотрубок та діаметром, меншим за товщину людської волосини, зможуть витримувати вантажі з масами у сотні кілограмів (вони знайдуть використання в якості елементів будівель і мостів, окремих конструкцій літальних апаратів тощо).

Ще одне цікаве застосування нанотрубок – створення оперативної пам'яті. При цьому щільність запису інформації може досягти 5 мільярдів біт на квадратний сантиметр (в декілька разів більше, ніж у сьогодишніх мікросхемах пам'ятів).

Атом залишається найважливішим об'єктом наукових досліджень і сучасна фізика покладає на них величезні надії. Україна приділяє значну увагу розвитку нанотехнологій — це дозволить нашій країні стати в один ряд з найбільш конкурентноспроможними державами.

Подумайте і дайте відповідь

1. Як були відкриті рідкі кристали? У чому полягає унікальність рідкокристалічного стану речовини?
2. Яку форму мають молекули рідких кристалів? Як розташовані молекули рідких кристалів завдяки цій формі?
3. У яких технічних пристроях застосовуються рідкі кристали?
4. Що є характерною ознакою полімерів? Який вигляд мають макромолекули полімерів?
5. Наведіть приклади аморфних та кристалічних полімерів.
6. Яке основне призначення полімерних наноконструкцій?
7. Чому нанотехнології є однією з найперспективніших галузей фізичної науки і техніки?
8. Що є основним об'єктом нанотехнологій? Чому?
9. Наведіть приклади практичних досягнень нанотехнологій.
10. Які ви знаєте наноматеріали і для чого вони використовуються?

Розв'яжіть задачі та оцініть результати**Вправа**

1. Користуючись рис. 45, поясніть таку властивість рідких кристалів, як упорядкованість їх внутрішньої будови.
2. За рахунок чого нанотехнології дозволяють одержувати речовини з новими властивостями?
3. У 1986 році компанія IBM – одна з найкрупніших серед постачальників програмного та апаратного забезпечення, виклала за допомогою тунельного скануючого мікроскопа (він дає збільшення у 100 мільйонів разів) свій логотип окремими атомами Ксенону. Користуючись рисунком 46, підрахуйте кількість атомів Ксенону, з яких був викладений логотип. Вважаючи, що літери мали висоту 5 нм, а діаметр атома Ксенону дорівнює 0,216 нм, обчисліть відстань між атомами.



Рис. 45. Логотип компанії в IBM викладений окремими атомами з використанням нанотехнологій

СИСТЕМАТИЗУЄМО ЗНАННЯ З РОЗДІЛУ 1.

► 1. Молекули, атоми та інші мікрочастинки речовини перебувають у неперервному безладному хаотичному русі – *тепловому русі*. Тепловий рух є *особливою формою руху матерії*.

► 2. Експериментальними підтвердженнями теплового руху в газах, рідинах і твердих тілах є явища дифузії та броунівського руху.

► 3. Між атомами та молекулами будь-якої речовини одночасно діють сили взаємного притягання й відштовхування (міжмолекулярна взаємодія). Існування стійких твердих й рідких тіл пов'язане із силами міжмолекулярної взаємодії.

► 4. Температура – це фізична величина, яка характеризує ступінь нагрятості тіла. Температура визначається швидкістю теплового руху мікрочастинок тіла. Температура визначає тепловий стан тіла. Для вимірювання температури використовуються термометри. Для побудови температурної шкали використовують термометричне тіло і реперні точки.

► 5. Існують три агрегатних стани речовини – твердий (кристали та аморфні тіла), рідкий, газоподібний. Четвертим агрегатним станом є плазма. Відмінності тіл у різних агрегатних станах пояснюються відмінностями у розташуванні, характері теплового руху та взаємодії частинок речовини.

► 6. Під час нагрівання твердих тіл, рідин і газів їх об'єми та лінійні розміри збільшуються внаслідок теплового розширення. Процес розширення у різних тіл відбувається по-різному, що пояснюється відмінностями у внутрішній будові тіл.

► 7. Рідкі кристали – це речовини з унікальними властивостями, які подібно до рідин є текучими, а подібно до кристалів – мають упорядковану внутрішню будову. Полімери – це речовини, характерною ознакою яких є наявність у їх складі макромолекул, які являють собою довгі ниткоподібні ланцюги, побудовані з однакових атомів. Нанотехнології – це технології роботи з об'єктами, які мають лінійні розміри у декілька нанометрів.

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДО РОЗДІЛУ 1**Початковий рівень**

1. **Яке з перерахованих нижче явищ є тепловим?**
 А Всесвітнє тяжіння.
 Б Обертання електронів навколо ядра.
 В Провисання проводів ліній електропередач.
 Г Піднімання вантажу за допомогою важеля.
2. **Яка фізична величина визначає тепловий стан тіла?**
 А Тиск. Б Температура. В Густина. Г Швидкість.
3. **Чому дорівнює температура кипіння води за абсолютною шкалою?**
 А 373, 16 К. Б 273,16 К. В 0К. Г – 273, 15 К.

Середній рівень

4. **Як залежить температура тіла від швидкості руху його молекул?**
 А Температура підвищується, якщо швидкість зменшується.
 Б Температура підвищується, якщо швидкість збільшується.
 В Температура знижується, якщо швидкість збільшується.
 Г Температура не залежить від швидкості руху молекул.
5. **Який зв'язок між температурою за абсолютною шкалою та шкалою Цельсія?**

А $T = t + 273, 16.$

В $T = \frac{t}{273} .$

Б $T = t - 273, 16.$

Г $T = 273 t .$

6. **Чим визначається агрегатний стан речовини?**

А Тільки розташуванням молекул.

Б Тільки характером теплового руху молекул.

В Тільки характером взаємодії молекул.

Г Розташуванням, характером руху та взаємодії молекул.

Достатній рівень

7. **На якому фізичному явищі заснований метод інгаляції – введення лікарських засобів до організму людини?**

А Інерції. Б Броунівського руху. В Дифузії. Г Випаровування.

8. Як залежить швидкість броунівського руху від розмірів завислих частинок

- А Збільшується зі збільшенням розмірів частинок.
- Б Збільшується із зменшенням розмірів частинок.
- В Зменшується із зменшенням розмірів частинок.
- Г Не залежить від розмірів завислих частинок.

9. Температура за шкалою Цельсія підвищилась на 20 °С. На скільки градусів підвищилась температура за шкалою Кельвіна?

- А На 32 К.
- Б На 12 К.
- В на 20 К.
- Г на 52 К.

Високий рівень

10. Чому наповнені газом гелієм гумові повітряні кульки з часом загублюють пружність і зморщуються?

- А Тому що у повітрі відбувається броунівських рух завислих частинок.
- Б Тому що матеріал, з якого виготовлені кульки, деформується.
- В Тому що поверхня кульок зазнає дії атмосферного тиску.
- Г Тому що відбувається дифузія гелію крізь оболонки кульок.

11. Учені Інституту хімії високомолекулярних сполук НАН України (м. Київ) займаються одержанням полімерних матеріалів з новими властивостями. Поясніть, що вони для цього роблять. (Відповідь:).

- А Роблять суміші наявних речовин
- Б Роблять розчини наявних речовин
- В Додають до наявних матеріалів хімічні добавки
- Г Розташовують атоми наявних речовин в новому порядку

12. Які довжини при 0°C повинні мати мідна і залізна дротини, щоб різниця їх довжин при довільних температурах залишалась незмінною і дорівнювала 10 см. Коефіцієнт лінійного розширення міді $\alpha_{\text{м}} = 1,7 \times 10^{-5} \text{K}^{-1}$, а коефіцієнт лінійного розширення заліза $\alpha_{\text{з}} = 1,2 \times 10^{-5} \text{K}^{-1}$

- А $l_{\text{м}} = 34 \text{ см}$, $l_{\text{з}} = 44 \text{ см}$;
- Б $l_{\text{м}} = 34 \text{ см}$, $l_{\text{з}} = 24 \text{ см}$;
- В $l_{\text{м}} = 44 \text{ см}$, $l_{\text{з}} = 34 \text{ см}$;
- Г $l_{\text{м}} = 24 \text{ см}$, $l_{\text{з}} = 34 \text{ см}$;

Задачі до розділу 1.

1. Найбільш холодним озером в Україні є високогірне озеро Бребенескул (Чорногірський хребет найвищого гірського масиву Українських Карпат). Навіть спекотним літом вода у ньому прогрівається до максимальної температури 15°C . А якою є максимальна температура Бребенескула за шкалою Фаренгейта? Реомюра?

(Відповідь: 59°F ; 12°R)

2. В Інституті монокристалів (м. Харків) виростили один з найбільших у світі кристалів. Об'єм кристалу 180000 см^3 , а густина $2800\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. Визначте масу кристалу. (Відповідь: 504 кг).

3. Найбільший у світі монокристал золота був знайдений у Венесуелі. Він має об'єм 11284 мм^3 та густину $19300\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$. Визначте масу цього монокристалу. (Відповідь: 217,78 г).

4. Однією з типових аморфних речовин є бурштин (окам'яніла смола стародавніх хвойних дерев). В Україні поклади бурштину знаходяться у багатьох областях, зокрема, у Дніпропетровській, Житомирській, Львівській, Волинській та Івано-Франківській. Один з найбільших шматків бурштину масою 1270 г і об'ємом 1200 см^3 був знайдений у Львівській області. Визначте за цими даними густину бурштину.

(Відповідь: $1058\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$).

5. Завантаження нафтового танкера здійснювалося при температурі 30°C , при цьому в один з відсіків було налито 1600 м^3 нафти. На скільки зменшиться об'єм нафти у цьому відсіку, якщо температура зменшиться до -5°C .

Відповідь: на 54 м^3 .

6. Поясніть, як зміниться число ударів молекул об броунівську частинку, якщо збільшити її масу. (Відповідь: число ударів молекул об броунівську частинку збільшиться, оскільки воно пропорційне до площі її поверхні).

7. Для підвищення міцності сталі її цементують, внаслідок чого одержують твердий загартований шару на поверхні сталевих виробів. Поясніть, на якому фізичному явищі ґрунтується процес цементації сталі та який механізм цього процесу.

(Відповідь: при гартуванні сталевих виробів в суміші з вуглецю та різних солей атоми вуглецю дифундують в поверхневий шар сталі, що підвищує міцність виробу).

9. Чому атоми є основними об'єктами нанотехнологій? (Відповідь: тому що їх можна відокремлювати та розташовувати у новому порядку, що дозволяє одержувати нові речовини з унікальними властивостями).

Частина I

ТЕПЛОВІ ЯВИЩА.

РОЗДІЛ 2. ВНУТРІШНЯ ЕНЕРГІЯ ТІЛА. ТЕПЛОВІ ПРОЦЕСИ

- Як Земля одержує енергію із Всесвіту?
- Чи можна підвищити температуру тіла, не нагріваючи його?
- Чому вітер називають «великим господарем пустелі»?
- Чим пояснюється той факт, що клімат у країнах Західної Європи м'якший, ніж в Україні?
- Чи доцільно опускати металеву ложку у склянку перед наливанням окропу з метою попередження її розтріскування?
- Чому продукція металургійного комбінату «Запоріжсталь» користується попитом не лише в Україні, але й за її межами?
- За яких умов над водоймами утворюються тумани?
- Внаслідок чого вода закипає швидше у закритій посудині, ніж у відкритій?
- Чому у приміщеннях обігрівачі встановлюються біля підлоги, а кондиціонери – під стелею?
- Як взимку на віконному склі утворюються дивовижні візерунки?
- Для чого під час ожеледиці тротуари та автомобільні дороги посипають сілью?
- Чому при сильних морозах для одержання гладкої ковзанки її поливають гарячою водою?



§ 7. ВНУТРІШНЯ ЕНЕРГІЯ ТІЛА І СПОСОБИ ЇЇ ЗМІНЕННЯ

1. Які процеси супроводжують зміни механічної енергії тіл? При вивченні фізики у 7-му класі ви ознайомилися з поняттями повної механічної енергії тіла і двох її видів: кінетичної і потенціальної енергій, які можуть перетворюватись одна на одну. Але виникає запитання: які ще зміни стану тіла, крім зміни його механічного стану, відбуваються при таких перетвореннях? З'ясуємо це на прикладі.

Підніmemo свинцеву кулю на деяку висоту над поверхнею Землі – куля набуває потенціальної енергії (рис. 46). Відпустимо кулю. Під час падіння зменшується висота, а, отже, потенціальна енергія свинцевої кулі перетворюється на кінетичну енергію. Після падіння кулі на плиту, її механічна енергія стає рівною нулю. Але за законом збереження повна механічна енергія кулі не може зникнути безслідно! На що ж перетворилася механічна енергія кулі? Торкнемося кулі і плити у місці падіння кулі – вони нагрілися. Отже, змінилися *теплові стани* свинцевої кулі і свинцевої плити. А тепловий стан тіла, як ви вже знаєте, визначається *швидкістю руху атомів і молекул*. При цьому слід зауважити, що, оскільки частинки речовини рухаються і взаємодіють між собою, то, відповідно, кожна з них теж має *кінетичну і потенціальну енергію*.

З цього випливає *важливий висновок*: при падінні свинцевої кулі на свинцеву плиту одночасно із зміною механічної

Механічна енергія тіла характеризується його координатою і швидкістю руху (механічним станом). Тіло, яке має енергію, може виконувати роботу. Внаслідок виконання роботи енергія тіла змінюється. Кількісною мірою зміни енергії є робота.



Рис. 46. Зменшення механічної енергії кулі супроводжується зміною теплових станів кулі та плити – вони нагріваються

Зміна механічної енергії тіл завжди супроводжується змінами не лише механічних, але й інших станів тіл (нагрівання, охолодження тощо).

Назва «внутрішня енергія» відображає той факт, що ця енергія залежить виключно від внутрішньої будови тіла та процесів, які відбуваються всередині нього.

Внутрішня енергія складається:

– з кінетичної енергії теплового хаотичного руху частинок тіла (атомів, молекул, йонів);

– з потенціальної енергії частинок, обумовленої силами їх міжмолекулярної взаємодії;

– з енергії електронів, які рухаються в атомах навколо ядер.

При дослідженні теплових процесів енергією електронів можна знехтувати.

енергії відбуваються й зміни енергій частинок, які утворюють внутрішню структуру тіл. Отже, змінюється енергія всередині тіла. З'ясуємо, що це за енергія.

► 2. Внутрішня енергія тіла.

Енергія тіла, яка залежить від характеру руху і взаємодії його частинок і визначається лише його тепловим станом, називається внутрішньою енергією.

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

Внутрішня енергія тіла не залежить від того, як тіло опинилося у даному стані. Наприклад, вода в посудині при 20°C має певне значення внутрішньої енергії. При цьому воно буде однаковою незалежно від того, як вода була доведена до такої температури – у процесі нагрівання чи охолодження.

Внутрішня енергія тіла також не залежить від його положення відносно інших тіл. Так, за незмінної температури, металева гиря має однаковою внутрішню енергію у випадках, коли вона підвішена до штатива або покладена на поверхню столу.

Внутрішня енергія тіл, які співударяються або труться, завжди збільшується. У досліді, наведеному на рис. 46, а момент удару свинцевої кулі об свинцеву плиту механічна енергія кулі (її кінетична енергія) перетворюється на внутрішню енергію кулі та плити, про що свідчить їх нагрівання. Таким чином, механічна енергія, яку мала куля на початку досліді, не зникла, а перетворилась на внутрішню енергію кулі та плити. На рис. 47, а, б

зображено приклади взаємодій між тілами, які супроводжуються їх нагріванням, а, отже, перетворенням механічної енергії тіл на внутрішню.

У більшості реальних процесів, які відбуваються в природі і техніці, внутрішня енергія тіл змінюється. Розглянемо два способи зміни внутрішньої енергії тіл – *виконання роботи та теплообмін*.

► **3. Змінення внутрішньої енергії тіл при виконанні роботи.** З'ясуємо питання: внаслідок чого відбувається перетворення механічної енергії тіл на їх внутрішню енергію у прикладах, зображених на рис. 47 а, б? Так, при ударі свинцевої кулі об свинцеву плиту (рис. 46) відбувається непружна деформація кулі та плити. При цьому за рахунок механічної енергії кулі *виконується робота* проти сил пружності та сил тертя. При розпилюванні колоди (рис. 47, б) механічна енергія пили теж витрачається на *виконання роботи* проти сил пружності та сил тертя. З розглянутих прикладів випливає важливий **висновок**: *внутрішня енергія тіла збільшується при виконанні над ним роботи*.

Відповідно, *робота є кількісною мірою зміни внутрішньої енергії тіла*.

$$A = \Delta U,$$

де A – робота, ΔU – зміна внутрішньої енергії тіла.

Виникає *запитання*: якщо при виконанні над тілом роботи збільшується його внутрішня енергія, то чи не можна виконувати механічну роботу за рахунок внутрішньої енергії тіла?

Перевіримо це на досліді. Нехай тов-



а)



б)

Рис. 47. Зменшення механічної енергії тіл, які співударяються або труться, супроводжується збільшенням їх внутрішньої енергії

а) при забиванні цвяха у дерев'яну дошку механічна енергія молотка перетворюється на внутрішню енергію молотка, цвяха та дошки; б) при розпилюванні колоди механічна енергія пили перетворюється на внутрішню енергію пили та колоди.

Досліди показують, що всередині тіла між мікрочастинками, що його утворюють, постійно відбувається обмін енергією: кінетична енергія руху атомів і молекул під час їх зіткнень з іншими атомами і молекулами перетворюється в потенціальну енергію взаємодії частинок, і навпаки. Але за відсутності зовнішніх впливів внутрішня енергія тіла залишається сталою.

При дослідженні теплових процесів важливе значення має не сама внутрішня енергія тіла, а її зміна, оскільки вона дозволяє оцінити роботу, виконану над тілом.



а) б)

Рис. 48. Виконання роботи за рахунок зменшення внутрішньої енергії тіла

стостінна посудина щільно закрита пробкою і з'єднана шлангом з повітряним насосом (рис. 48, а). У посудину до початку досліду вливають невелику кількість води з тим, щоб там утворилася водяна пара.

Після цього у посудину за допомогою повітряного насоса повільно накачують повітря доти, поки з посудини не вилетить пробка (рис. 48, б). У момент вилітання пробки в посудині виникає туман, а це означає, що повітря в посудині у цей час стало значно холоднішим, ніж було на початку досліду, тобто його внутрішня енергія зменшилася.

Як ви думаєте, на що була витрачена внутрішня енергія стисненого повітря? Звичайно, на виконання роботи проти сили тертя пробки об скло горловини посудини та надання пробці кінетичної енергії.

Отже, у наведеному досліді за рахунок зменшення внутрішньої енергії стисненого повітря відбулося виконання механічної роботи, тобто перетворення внутрішньої енергії стисненого повітря у механічну енергію пробки.

Висловіть свою думку

Малі тіла Сонячної системи – метеорити – рухаються в атмосфері з великою швидкістю. Чому під час польоту вони починають світитися?

► **4. Теплообмін.** Внутрішню енергію тіла можна змінити і без виконання роботи. Із власного досвіду ви знаєте, що при опусканні ложки у склянку з окропом вона через деякий час стає дуже гарячою.

Підвищення температури ложки свідчить про збільшення її внутрішньої енергії, хоча робота над ложкою у даному випадку не виконувалася. Якщо ж ви хочете, наприклад, швидко охолодити ложку, то опускаєте її у холодну воду.

Отже, під час контакту двох тіл із різною температурою відбувається передача енергії від більш нагрітого тіла до менш нагрітого. У результаті встановлюється *теплова рівновага*.

Процес зміни внутрішньої енергії тіла без виконання роботи над тілом або виконання роботи самим тілом називається теплообміном (теплопередачею).

Є й інші приклади зміни внутрішньої енергії тіла без виконання роботи: сонячні промені нагрівають поверхню Землі та всі тіла, які на ній знаходяться, тобто збільшують їх внутрішню енергію; батареї водяного опалення у будинках нагрівають повітря, стіни, стелі, підлоги та предмети у приміщеннях, а отже, збільшують їх внутрішню енергію.

Можливі випадки, коли одночасно мають місце і виконання роботи, і теплообмін.

Внутрішня енергія тіл може змінюватись у двох видах процесів:

- 1) при виконанні роботи – перетворенні механічної енергії у внутрішню, і навпаки;
- 2) при теплообміні – передачі енергії від одного тіла до іншого без виконання роботи.

Робота є способом і мірою зміни (збільшення чи зменшення) внутрішньої енергії при перетворенні механічної енергії у внутрішню, або навпаки – внутрішньої енергії у механічну.

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

Найпростіший спосіб змінення внутрішньої енергії тіла без виконання роботи – це приведення його у контакт із більш нагрітим або більш холодним тілом.

Теплопередача завжди здійснюється в одному напрямку: від тіл із більш високою температурою до тіл із більш низькою.

Поглибте свої знання

Чи завжди у процесі теплообміну має місце зміна теплового стану тіла?

У процесі теплообміну не завжди змінюється тепловий стан тіла, тобто його температура. Наприклад, за рахунок теплопередачі під час танення льоду змінюється агрегатний стан речовини (лід із твердого стану переходить у рідкий), але температура при цьому залишається сталою.

Подумайте і дайте відповідь

1. Які стани тіл, крім механічного, можуть змінитися при зміні механічної енергії тіл? Наведіть приклади.
2. З чого складається внутрішня енергія тіла? Який стан тіла визначає внутрішню енергію?
3. Чи залежить внутрішня енергія від розташування тіла відносно інших тіл?
4. Що відбувається із внутрішньою енергією тіл, які співударяються або труться?
5. Як змінюється внутрішня енергія тіла у випадках: над тілом здійснюють роботу? тіло здійснює роботу.
6. Якими двома способами можна змінити внутрішню енергію тіла?
7. Що називають теплообміном або теплопередачею? У якому напрямі відбувається теплообмін під час контакту двох тіл з різними температурами?

Розв'яжіть задачі та оцініть результати

Вправа 7.

1. У Криму на горі Ай-Петрі розташований найбільш високий в Європі водоспад – Учан-Су (в перекладі з кримськотатарської мови – душа, що летить). Цей водоспад вдвічі перебільшує висоту Ніагарського водоспаду і має висоту 98, 5 м. Визначте, на скільки градусів нагрівається вода після падіння у підніжжя водоспаду, якщо на нагрівання води витрачається 60% роботи сили тяжіння.
2. На рисунку 47, а проілюстровано падіння свинцевої кулі на свинцеву плиту з деякої висоти. В момент удару кулі об плиту її механічна (кінетична) енергія перетворюється на внутрішню. Поясніть механізм цього перетворення. Проти яких сил при цьому виконується робота?
3. На рис. 47, б, в наведено процеси, у яких внутрішня енергія тіл змінюється за рахунок зміни механічної енергії. Поясніть, як саме змінюється внутрішня енергія – збільшується чи зменшується? За рахунок чого ці зміни відбуваються?
4. При роботі на токарному верстаті у місце контакту різця токарного верстата з деталлю, що обробляється, подають мастильно-охолоджувальну рідину. Чому це необхідно робити? Які зміни внутрішньої енергії різця та деталі при цьому мають місце?
5. Наведіть і опишіть власні приклади перетворення внутрішньої енергії тіла на механічну енергію. Як при цьому змінюється температура тіла?

§ 8. ВИДИ ТЕПЛООБМІНУ.

Існують три види теплообміну або теплопередачі: *теплопровідність, конвекція, випромінювання*. Розглянемо фізичний механізм цих процесів.

► **1. Теплопровідність.** *Теплопровідність* – це перенесення енергії в речовині від більш нагрітих її частин до менш нагрітих, обумовлений хаотичним тепловим рухом атомів і молекул.

Звернемося до дослідів. Мідну дrottину одним кінцем закріпимо у штативі (рис. 49, а). Знизу до дrottини за допомогою воску прикріпимо дрібні цвяхи. Другий кінець дrottини нагріватимемо на спиртівці. Побачимо, що по мірі нагрівання дrottини цвяхи по черзі (від кінця, що нагрівається) відпадатимуть, оскільки розм'якшується віск, який їх утримує.

Як саме передається енергія дrottиною? При нагріванні дrottини зростає інтенсивність коливного руху атомів кристалічної ґратки міді в місці нагрівання. Внаслідок взаємодії атомів послідовно збільшується швидкість коливального руху сусідніх мікрочастинок. Так поступово підвищується температура кожної наступної частини дrottини, а, отже, внутрішня енергія.

Змінимо схему дослідів (рис. 49, б). Візьмемо дві дrottини – мідну і сталеву, і повторимо дослід. Як видно з рисунка, мідна дrottина нагрівається швидше, ніж сталевана. А, отже, *теплопровідність міді вища ніж теплопровідність сталі*.

Теплопровідність рідин характеризу-

При теплопровідності переміщення самої речовини не відбувається, передається лише енергія.



а)



б)

Рис. 49. Спостереження теплопровідності на досліді з металевими дrottинами: а) при нагріванні дrottини поступово підвищується температура кожної наступної її частини; б) мідна дrottина має більшу теплопровідність, ніж сталевана, що пояснюється відмінностями у їх будові та відстанях між частинками

Серед твердих тіл найвищу теплопровідність мають метали, а з металів найкраще проводять тепло мідь і срібло. Такі тверді тіла, як дерево, цегла, пластмаси, картон проводять тепло значно гірше.

Теплопровідність твердих тіл, рідин і газів залежить, зокрема, від густини речовини та міжмолекулярних відстаней.

Найбільшу теплопровідність мають тверді тіла, найменшу – гази. Малою є теплопровідність води та повітря. Внаслідок малої теплопровідності повітря та інших газів, вони слугують хорошими тепловими ізоляторами.

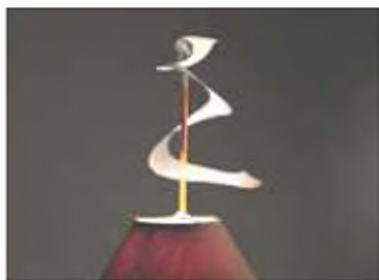


Рис. 50. Внаслідок конвекції теплих потоків повітря від нагрітої лампи розжарення обертається паперова стрічка

ється перенесенням енергії молекулами рідини. Перенесення енергії відбувається при безпосередніх зіткненнях молекул, шляхом передачі коливань від одних частинок до інших. Теплопровідність рідин залежить, зокрема, від їх густини та міжмолекулярної відстані.

У газах механізм теплопровідності пов'язаний з хаотичним тепловим рухом молекул. Молекули з більш нагрітих місць газу при зіткненні під час руху з молекулами сусідніх, менш нагрітих місць, передають їм частину своєї енергії. У процесі теплопровідності різниці температур в газі вирівнюються.

У різних речовин теплопровідність неоднакова. З'ясуємо це на окремих прикладах. Спробуйте тримати металеву турку за ручку у процесі приготування кави – ви майже одразу відчуєте, що вона сильно нагрілася. Проте сірник, який горить, можна тримати доти, поки полум'я не дійде до пальців. Саме через різні значення теплопровідності металеве тіло здається людині холоднішим, ніж пластмасове.

► **2. Конвекція.** *Конвекція – вид теплообміну, обумовлений перенесенням речовини внаслідок переміщення нагрітих потоків рідин або газів.*

Із досвіду відомо, що, тримаючи руку над конфоркою газової плити, де горить газ, або над увімкненою електричною плитою ми відчуваємо теплі струмені повітря, що свідчить про перенесення тепла. Як це відбувається? Повітря, яке стикається з гарячою поверхнею плити, нагрівається і розширюється. Густина розширеного по-

вітря менша від густини холодного, тому шар теплого повітря піднімається вгору під дією виштовхувальної архімедової сили. Так, струмені теплого повітря обертають паперову стрічку (рис. 50), розміщену над настільною лампою.

Механізм конвекції пояснює той факт, що рідини і гази нагрівають, як правило, знизу. Проведемо дослід. Нагріватимемо воду у верхній частині пробірки (рис. 51, а). При цьому конвекція води у пробірці не відбувається: верхні теплі шари не можуть опускатись вниз і перенести енергію, а тому вода знизу залишається холодною. Оскільки вода має малу теплопровідність, то треба було б довго чекати, щоб вода в нижній частині нагрілася. Тому воду в пробірці нагрівають знизу (рис. 51, б). З тих самих причин завжди знизу нагрівається й повітря.

Оскільки конвекція пов'язана з переносом речовини (окремих шарів речовини), то вона може відбуватися лише у рідинах і газах. У твердих тілах конвекція неможлива.

► **3. Теплове випромінювання.** *Теплове випромінювання – вид теплообміну, обумовлений перетворенням частини внутрішньої енергії тіла в енергію випромінювання.* Теплове випромінювання притаманне твердим тілам, рідинам і газам. Його називають ще **променевим теплообміном**.

Істотною відмінністю теплового випромінювання від інших видів теплообміну є те, що воно відбувається між тілами за відсутності в середовищі між ними атомів і молекул.

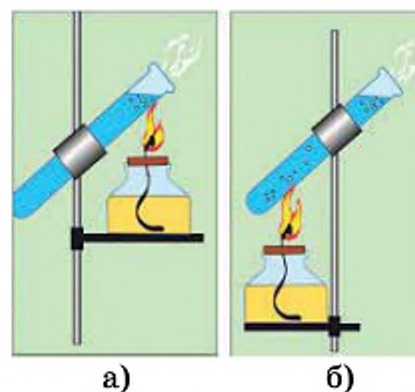


Рис. 51. З урахування малої теплопровідності рідин і газів, їх нагрівають знизу для прискорення конвекції

Різна теплопровідність речовин враховується у побуті, техніці, в будівництві. Зокрема, чайники, каструлі та сковорідки виготовляються з металів, внаслідок чого тепло швидше передається до води або їжі. Проте, ручки цих видів посуду виготовляються з речовин, які погано проводять тепло (пластмаса, деревина). У будівельній галузі використовується речовини, які забезпечують хорошу теплоізоляцію – деревина, цегла, бетон, руберойд, вата, пінопласт, полівінілхлорид.

Теплове випромінювання може відбуватись й у вакуумі. Яскравий приклад тому – теплове випромінювання Сонця, що поширюється крізь космічний простір (вакуум) на відстань близько 150 млн. км (відстань від Сонця до Землі).

Теплове випромінювання має таку назву не тому, що воно пов'язане з перенесенням тепла, а тому що воно відбувається внаслідок хаотичного теплового руху атомів і молекул.

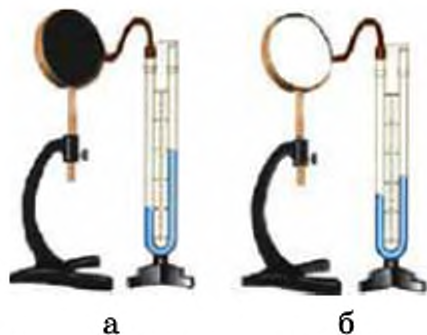


Рис. 52. Демонстраційні теплоприймачі, повернуті до спостерігача різними боками

З тепловим випромінюванням ми зустрічаємось повсякденно – сидючи біля багаття, каміна, гарячої батареї, підносячи руку до увімкненої лампи.

Розглянемо механізм теплообміну шляхом теплового випромінювання. Воно відбувається за рахунок внутрішньої енергії тіла, яке випромінює енергію і одночасно охолоджується. Коли випромінювання поглинається іншим тілом, його внутрішня енергія зростає – тіло нагрівається. Таким чином, *за допомогою теплового випромінювання здійснюється передача енергії від більш нагрітих тіл до менш нагрітих.*

Теплове випромінювання нагрітих тіл можна спостерігати на дослідах із демонстраційним теплоприймачем (термоскопом), який показано на рис. 52. Теплоприймач – це герметично запаятий металевий циліндр, з'єднаний гумовою трубкою з U-подібним рідинним манометром. Один бік теплоприймача є чорним (рис. 52, а), а другий – дзеркальним (рис. 52, б). В U-подібній трубці при відкритих обох колінах рідина (підфарбована вода) встановлюється на однаковому рівні (тому що це сполучені посудини). Якщо перед теплоприймачем із темною поверхнею розмістити посудину з гарячою водою, то за різницею рівнів рідини в манометрі буде спостерігатися зростання тиску (рис. 52, а). На тій же відстані від посудини з гарячою водою розмістимо теплоприймач дзеркальною поверхнею до неї – знову спостерігатимемо зростання тиску, але значно менше, ніж в першо-

му випадку (рис. 52, б). Отже, внаслідок променевого теплообміну між посудиною з гарячою водою і теплоприймачем, останній нагрівається та нагріває наявне в ньому повітря. Тиск повітря у теплоприймачі і трубці стає більшим за атмосферний, що й фіксується рідинним манометром.

Виконаний дослід дозволяє сформулювати ще один важливий висновок: *чорна поверхня поглинає більшу частину теплового випромінювання від нагрітого тіла, ніж дзеркальна.*

Лід теж випромінює тепло, але ж нам здається, що від нього поширюються холодні потоки. Це пояснюється тим, що рука випромінює більше тепла, ніж поглинає від льоду, оскільки температура руки є вищою. З підвищенням температури теплове випромінювання стає більш інтенсивним, оскільки зростає швидкість теплового руху атомів і молекул.

У спекотну погоду краще носити світлий одяг, оскільки він поглинає менше тепла. А у побуті використовують блискучий металевий посуд (чайники, каструлі), у яких вода та їжа охолоджуються значно повільніше.

Теплове випромінювання мають всі тіла при температурах, вищих від абсолютного нуля.

Тіло, яке поглинає більше енергії, випромінює теж більше.

Подумайте і дайте відповідь

1. Які три види теплообміну ви знаєте?
2. Що називають теплопровідністю? Який механізм теплопровідності? У яких випадках слід враховувати теплопровідність тіл?
3. Що таке конвекція? Наведіть приклади конвекції в рідинах і газах. Чи можлива конвекція у твердих тілах?
4. Що називають тепловим випромінюванням (променевим теплообміном)? Чим відрізняється теплове випромінювання від інших видів теплообміну?
6. Який одяг краще одягати влітку – світлий чи темний? З чим це пов'язане?
7. Чому сніг захищає рослини у ґрунті від вимерзання?

Розв'яжіть задачі та оцініть результати

Вправа 7.

1. Користуючись рис. 53, поясніть механізм прогрівання повітря у приміщеннях. За рахунок чого утворюється неперервна циркуляція повітря у кімнаті, яка супроводжується перенесенням енергії і прогріванням усього її об'єму? Чому біля стелі кімнати завжди тепліше?
2. У кухні знаходяться два однакові алюмінієві чайники, які містять однакову кількість води при температурі 90°C . Один з них закопчений, а другий – чистий. Поясніть, у якому з чайників вода швидше охолоне?
3. Які ґрунти за однакових умов швидше нагріваються на сонці – піщані чи чорноземи? Відповідь обґрунтуйте.
4. Чому для захисту від морозів використовується хутряний одяг?
5. Поясніть, чи виконується робота і чи здійснюється теплообмін під час вибуху у космічному просторі?

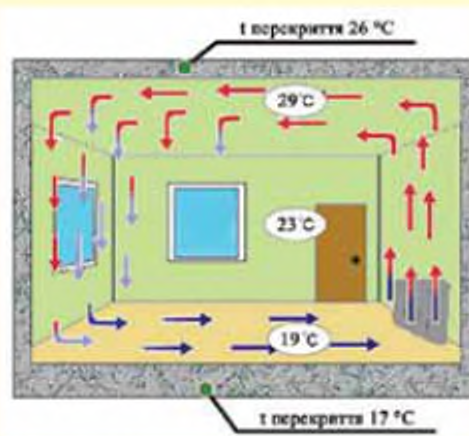


Рис. 53. Конвекційний рух в житловій кімнаті

§ 9. ТЕПЛОБМІН В ПОБУТІ, ТЕХНІЦІ ТА У ПРИРОДІ

► 1. Використання конвекції та теплового випромінювання у побуті та в техніці.

У холодну погоду ми обігріваємо свої помешкання і робочі приміщення. А у спекотну – застосовуємо пристрої для охолодження повітря. Для створення сприятливих умов життя необхідно також використовувати вентиляцію. І нагрівання, і охолодження, і вентиляція повітря у приміщеннях ґрунтуються на явищі *конвекції*.

Обігрівальні установки (печі, плити, радіатори водяного опалення, калорифери) розміщують у приміщеннях знизу, ближче до підлоги. За таких умов теплі шари повітря піднімаються вгору, а внаслідок циркуляції забезпечується рівномірне обігрівання. При цьому батареї водяного опалення та калорифери роблять масивними та ребристими, щоб за допомогою теплообміну вони віддавали у навколишнє повітря більше енергії. На рис. 54 подано спрощену схему водяного опалення у сучасних житлових будинках.

Охолоджувальні установки (кондиціонери) розміщують угорі, ближче до стелі. У цьому випадку холодне повітря опускається донизу, а теплі шари повітря витісняються вгору.

Мешканці великих міст, екологія яких є несприятливою внаслідок зараження повітря вихлопними газами транспортних засобів, викидами промислових підприємств часто замислюються над забезпечен-



Рис. 54. Схема водяного опалення будинку



а)

Рис. 55. Використання вимушеної конвекції:
а) сушіння волосся феном;



б)



в)

б) обігрівання помешкання побутовим електротепловентилятором; в) охолодження повітря за допомогою кондиціонера



а)

Рис. 56. Використання теплового випромінювання в побуті та медицині: а) масляний електричний радіатор-конвектор;

ням своїх помешкань системами контролю клімату, Для цього використовуються так звані *кліматичні системи*, у яких поєднуються функції опалення, кондиціонування та вентиляції. Такі системи забезпечують найбільш сприятливий мікроклімат у квартирі.

У § 8 ми розглянули так звану *природну конвекцію*. Якщо ж нерівномірно нагріту рідину (або газ) механічно перемішувати насосом (вентилятором), то відбудеться *вимушена конвекція*. На рис. 55 показано приклади використання вимушеної конвекції.

У побуті теплове випромінювання широко використовують з метою підвищення якості умов життєзабезпечення людини (рис. 56, а, б, в, г). У медицині теплове випромінювання застосовується в лікувальних цілях (рис. 56, д).

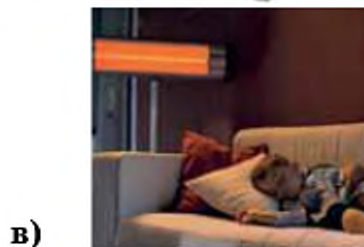
В Україні сьогодні однією з найактуальніших проблем як для великих, так і для малих міст є теплофікація. Зокрема, ставиться запитання щодо заміни сучасних систем теплопостачання на автономні теплові пункти або індивідуальне (поквартирне) опалення. Чи доцільно це? Слід пам'ятати, що існуючі системи централізованого опалення дозволяють покращити стан повітряного середовища міст, забезпечують широкі можливості для використання вторинних енергетичних ресурсів. Система теплофікації в Україні вимагає негайного реконструювання на основі сучасного обладнання та інших матеріалів. Це може стати ключем до розвитку у нашій країні енергозберігаючих технологій

та оновлення всієї системи житлово-комунального господарства. Що ж стосується проблеми енергозбереження, то достатньо зауважити, що на обігрівання площі 100 м^2 витрачається близько 10 кВт теплової енергії за годину, а потужність теплових станцій складає до декілька сотень МВт. Це не так вже і багато. Тому кожний з нас має раціонально та відповідально відноситись до збереження тепла.

► **2. Конвекція та теплове випромінювання у природі.** Конвекційні потоки в атмосфері Землі зумовлюють її надзвичайну рухомість і здійснюють величезний вплив на різні атмосферні явища. Найбільш відоме з них – вітер, потік повітря, який швидко рухається горизонтально до земної поверхні. Вітри – бризи, мусони, пасати, які відомі вам з уроків географії, є типовими прикладами конвекції в атмосфері. Утворення вітру зумовлене різницею тисків між двома повітряними шарами.

Постійно дмуть вітри у пустелях та степових районах. Відоме таке арабське прислів'я: «У Сахарі вітер піднімається й лягає разом із Сонцем». Саме тому вітер називають «великим господарем пустелі». Переміщенням шарів повітря пояснюється також утворення атмосферних вихорів – торнадо (мають діаметр $1\text{--}2\text{ км}$), циклонів, антициклонів (досягають у діаметрі декількох тисяч кілометрів).

Зазначимо, що на рух повітряних мас в атмосфері, в основі якого лежить явище конвекції, впливає добове обертання Землі навколо своєї осі, рельєф місцевості, вплив морських течій та ін. Більш ретельно про



б) електричний камін; в) обігрівач «UFO»; г) високоекологічний радіатор-конвектор «Ера-Нова», створений українськими інженерами (м. Київ); д) апарат теплового випромінювання для інтенсивної терапії.

Явища, пов'язані з конвекційними потоками в атмосфері чинять значний вплив на життя людей: призводять до змін у погоді, до стихійного лиха, створюють несприятливі умови для хворих. Вітровий режим слід враховувати при польоті літаків, особливо під час зльоту і посадки, оскільки під дією вітру літак може загубити орієнтацію у просторі або потрапити у повітряний круговорот, що призведе до аварії.



Рис. 57. Сонячна електростанція «Іванівка» (Україна)

це ви дізнаєтесь при вивченні інших природничих наук. Зокрема, конвекція потоків води в океанах (теплі та холодні океанічні течії) зумовлює особливості клімату різних країн. Так, тепла течія Гольфстрім (Атлантичний океан) впливає на клімат країн Західної Європи, внаслідок чого він є набагато м'якшим, ніж клімат України.

Теплове випромінювання Сонця – основа життя на Землі. Один квадратний метр поверхні Землі за 1 секунду поглинає 1,366 кВт сонячної енергії. Це величезне значення, хоча Земля одержує всього 2 мільярдні долі енергії від загального випромінювання Сонця.

Сьогодні сонячна енергія є альтернативним джерелом енергії. В Україні освоєння цього виду енергії йде швидкими темпами, у різних областях будується багато сонячних електростанцій (рис. 57). В Україні одна з найбільших сонячних електростанцій «Іванівка» знаходиться в Новоукраїнському районі Кіровоградської області. Вона займає площу близько 3 гектарів, а загальна потужність її сонячних панелей складає 1,3 МВт (фермерське господарство Сергія Омеляненка). Сонячні батареї забезпечують можливість тривалої експлуатації літаків та космічних апаратів, життєдіяльність екіпажу на космічному кораблі.

► **3. Чи завжди теплообмін є корисним?** Інколи буває необхідно запобігти теплообміну, наприклад, зберегти їжу або каву і чай гарячими. Для цього використовується спеціальна посудина – *термос*.

На рис. 58 показано будову побутового

термосу для збереження рідини при певній температурі упродовж більш-менш тривалого часу. Термос складається із скляної посудини 1 з подвійними стінками (рис 58, а). Внутрішня поверхня цих стінок покрита блискучим шаром металу, а із простору між стінками викачане повітря. Таку скляну посудину розміщують у захисному футлярі 2, виготовленому з металу, пластмаси або картону. У скляну посудину наливають, наприклад, гарячий чай і закривають пробкою 3. Зверху футляр закривають ковпачком 4, який для міцності загвинчують. Внутрішню скляну посудину упаковують у футляр за допомогою ущільнювальної прокладки 5.

Така будова термосу дозволяє звести до мінімуму теплообмін речовини, яка у ній знаходиться, з оточуючим середовищем.

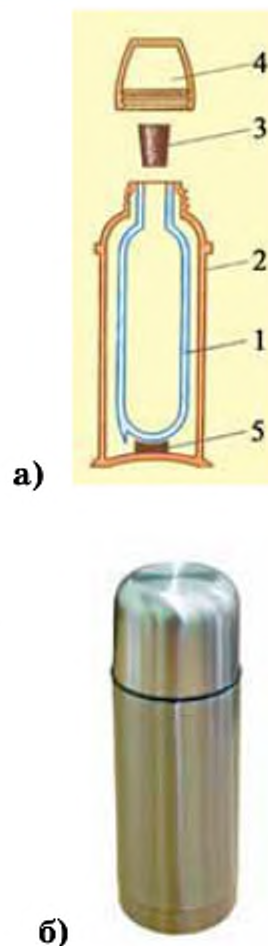


Рис. 58. У термосі відсутність повітря між стінками внутрішньої посудини упереджує перенесення тепла внаслідок конвекції і теплопровідності, а блискучий металевий шар значно зменшує теплове випромінювання: а) схема будови термоса; б) термос для рідких продуктів

Подумайте і дайте відповідь

1. Наведіть приклади того, що шари повітря і води під час нагрівання переміщуються один відносно одного.
2. З яких матеріалів виготовляють посуд? Чому?
3. Що таке вимушена конвекція? Як вона використовується?
4. Яка побутова техніка є джерелом теплового випромінювання? Якого застосування теплове випромінювання знаходить у медицині?
5. Чому нагрівний елемент в електричних плитках і чайниках та інших нагрівниках рідини (або газу) розміщують, як правило, на дні?
6. Чим пояснюється виникнення вітрів? Опишіть, як це відбувається?
7. Який пристрій використовується для збереження температури їжі та напоїв незмінною?

Розв'яжіть задачі та оцініть результати

Вправа 9.

1. Поясніть, за рахунок чого у термосі здійснюється захист від втрат теплоти за рахунок усіх трьох видів теплообміну: теплопровідності, конвекції, променевого теплообміну.
2. Чому кондиціонери у приміщеннях розміщують біля стелі? Поясніть механізм дії кондиціонера.
3. Запропонуйте, як у домашніх умовах можна використати енергію сонячного випромінювання.

Підготуйте повідомлення

Сонце – основне джерело енергії для нашої цивілізації.

ДОМАШНЄ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

Дослідіть теплообмін у вашому помешканні. Як він регулюється? Які його відмінності взимку та влітку? Результати досліджень опишіть у робочому зошиті. Підготуйте повідомлення у формі реферату (презентації).

§ 10. РОЗРАХУНОК КІЛЬКОСТІ ТЕПЛОТИ ПІД ЧАС НАГРІВАННЯ АБО ОХОЛОДЖЕННЯ ТІЛА. ТЕПЛОЄМНІСТЬ

► **1. Кількість теплоти.** З попередніх параграфів ви дізналися, що у процесі теплообміну тіла одержують енергію у вигляді теплоти.

Енергію, передану тілу (або системі тіл) у процесі теплообміну, називають кількістю теплоти і позначають літерою Q .

Якщо позначити внутрішню енергію тіла на початку теплообміну U_1 , в кінці теплообміну – U_2 , а їх зміну – ΔU , то кількість теплоти Q передана (отримана) в процесі теплообміну, дорівнюватиме зміні внутрішньої енергії тіла:

$$Q = \Delta U = U_2 - U_1.$$

Кількість теплоти, як і енергія, вимірюється у джоулях (Дж). На практиці часто використовується позасистемна одиниця кількості теплоти – калорія (кал).

$$1 \text{ Дж} = 4,19 \text{ кал або } 1 \text{ кал} = 0,24 \text{ Дж}.$$

З'ясуємо дослідним шляхом, від яких величин залежить теплообмін між тілами при їх нагріванні і охолодженні, та як оцінюють і розраховують кількість теплоти у теплових процесах.

► **2. Теплоємність.** Поняття кількості теплоти пов'язане з іншою важливою характеристикою теплових процесів – *теплоємністю*. З'ясуємо фізичний зміст цієї величини.

Зрозуміло, що кількість теплоти, яка надається при нагріванні тіла (або віддається при його охолодженні) буде тим більшою, чим більша температура, якої

Мірою енергію, переданої у формі теплоти в процесі теплообміну, є кількість теплоти.

Кількість теплоти, передану тілу у процесі теплообміну, прийнято вважати додатною, а кількість теплоти, що забирається від тіла – від'ємною.

Кількість теплоти Q є мірою зміни внутрішньої енергії тіла в процесі теплообміну і, як побачимо далі, істотно залежить від характеру цього процесу, тобто від того, яким способом тіло переходить із початкового в кінцевий стан. Це означає, що про кількість теплоти можна говорити тільки у зв'язку з певним тепловим процесом. Коли ж тепловий стан тіла не змінюється, то ні про яку кількість теплоти в тілі говорити не можна – у цьому випадку говорять лише про внутрішню енергію тіла.

Теплота і робота є якісно нерівноцінними формами передачі енергії. У формі роботи передається енергія впорядковано руху, внаслідок чого може збільшитись будь-яка енергія тіла. Якщо ж тілу передається енергія у вигляді теплоти, то збільшується енергія хаотичного теплового руху частинок, що призводить до збільшення лише внутрішньої енергії тіла.

Теплота і робота є не видами енергії, а формами її передачі. Вони існують лише у процесі передачі енергії.

Теплоємність залежить від маси тіла, його хімічного складу, теплового стану та виду процесу, в якому тілу передається кількість теплоти. Для нагрівання (охолодження) тіла на один градус за різних умов необхідна різна кількість теплоти.

набуло це тіло в результаті нагрівання. Тому кількість теплоти, отримана тілом під час нагрівання (або віддана під час охолодження), пропорційна до різниці початкової та кінцевої температур $\Delta t = t_2 - t_1$. Отже,

$$Q \sim \Delta t.$$

Тоді при зміні температури тіла на одну й ту саму величину буде виконуватись рівність:

$$Q = C \cdot \Delta t,$$

де C – коефіцієнт пропорційності, який називають теплоємністю тіла.

Теплоємність тіла – це фізична величина, що дорівнює кількості теплоти, яку необхідно надати тілу для підвищення його температури на 1°C .

Одиницею теплоємності є

$$1 \frac{\text{Дж}}{^\circ\text{C}}. \quad [C] = 1 \frac{\text{Дж}}{^\circ\text{C}}.$$

Теплоємність є різною для різних речовин.

► **3. Питома теплоємність.** Як вже було зазначено, теплоємність тіла C залежить від його маси. Дійсно, для нагрівання тіла з більшою масою необхідне надання тілу більшої кількості теплоти. Наприклад, для нагрівання чайника, повністю заповненого водою, потрібно більше теплоти, ніж для чайника, наповненого водою до половини.

Отже, теплоємність тіла C пропорційна до його маси:

$$C \sim m.$$

Досліди показують, що при нагріванні тіл однакової маси, виготовлених з однієї

й тієї самої речовини, в однаковому температурному інтервалі витрачається й однакова кількість теплоти. Тому при дослідженні теплових властивостей речовини зручно розглядати теплоємність *оддиниці маси* цієї речовини. Для цього вводиться поняття питомої теплоємності. *Питомою теплоємністю називається фізична величина, що визначається кількістю теплоти, яку необхідно надати 1 кг речовини для нагрівання його на один градус.*

Питома теплоємність позначається маю літерою c і визначається за формулою:

$$c = \frac{Q}{m \cdot \Delta t}. \quad [c] = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}.$$

Різні речовини мають різну питому теплоємність. Значення теплоємностей різних речовин наводяться у таблицях (див. табл. 1).

Питома теплоємність не є сталою величиною і залежить від умов, за яких відбувається тепловий процес. Тому в таблицях теплоємностей вказуються умови, для яких наведені значення справедливі (температура, тиск).

У таблиці 1 наведено значення питомої теплоємності деяких речовин (при 20°C та нормальному атмосферному тиску).

Кількість теплоти, необхідна для нагрівання тіла, залежить від маси цього тіла: чим більша маса тіла, тим більшу кількість теплоти слід витратити, щоб змінити його температуру на одну й ту саму величину. Відповідно, при охолодженні більш масивне тіло віддаватиме навколишнім тілам більше теплоти, ніж тіло з меншою масою.

Питома теплоємність свинцю дорівнює $140 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$. Це означає, що для нагрівання 1 кг свинцю на 1°C потрібна енергія 140 Дж, а при охолодженні 1 кг свинцю на 1°C виділяється 140 Дж енергії. Тобто, при зміні температури свинцю масою 1 кг на 1°C він поглинає або виділяє кількість теплоти, яка дорівнює 140 Дж.

Питома теплоємність деяких речовин $\left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}} \right)$

Таблиця 1

Золото	130	Графіт	750
Ртуть	125	Скло лабораторне	840
Свинець	120	Цегла	880
Срібло	250	Алюміній	920
Мідь	380	Олія	1700
Цинк	400	Лід	2100
Латунь	380	Газ	2140
Залізо	460	Дерево (дуб)	2400
Сталь	460	Вода	4200

► **4. Формула для обчислення кількості теплоти при нагріванні (охолодженні тіла).** Виникає питання: як обчислити кількість теплоти, отриманої або відданої тілом у даному тепловому процесі? Раніше ми встановили, що кількість теплоти Q пропорційна до маси тіла m , зміни температури при теплообміні Δt та питомої теплоємності c . Узгаляючи ці залежності, можна записати:

$$Q = c \cdot (t_2 - t_1) = c \cdot m \cdot (t_2 - t_1) = c \cdot m \cdot \Delta t$$

Для обчислення кількості теплоти, яка потрібна для нагрівання тіла (або кількості теплоти, яку виділяє тіло під час охолодження), необхідно питому теплоємність речовини помножити на масу тіла та на різницю його кінцевої і початкової температур.

З формули для обчислення кількості теплоти при нагріванні (охолодженні) тіла можна дістати такі формули:

– для обчислення питомої теплоємності речовини $c = \frac{Q}{m(t_2 - t_1)}$;

– для обчислення різниці температур у тепловому процесі:
 $t_2 - t_1 = \frac{Q}{c \cdot m}$;

Питома теплоємність речовини у різних агрегатних станах – рідкому, твердому і газоподібному – різна. Наприклад, питома теплоємність води $4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°C}}$, а питома теплоємність льоду вдвічі менша – $2100 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°C}}$.

► 5. Застосування формули для обчислення кількості теплоти.

Вода має дуже велику теплоємність. Завдяки цьому вода в морях, озерах і річках, нагріваючись влітку, поглинає значну кількість сонячної енергії і зберігає її протягом тривалого часу. Тому біля водних масивів не так спекотно влітку. В холодні пори року вода охолоджується і віддає в навколишній простір значну кількість теплоти, тим самим пом'якшуючи температурні зміни.

Внаслідок великої теплоємності, воду використовують як теплоносії у водяному опаленні, для систем охолодження двигунів, у побуті і медицині.

Приклад. Воду масою 0,8 кг при температурі 25°C змішали з окропом масою 0,4 кг. Температура суміші, що встановилась, дорівнює 50°C. Обчислити кількість теплоти, яку віддає окріп, та кількість теплоти, яку дістала холодна вода у процесі нагрівання.

Дано:

$$\begin{aligned} m_1 &= 0,8 \text{ кг} \\ t_1 &= 25^\circ\text{C} = 298 \text{ К} \\ c &= 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \\ m_2 &= 0,4 \text{ кг} \\ t_2 &= 100^\circ\text{C} = 373 \text{ К} \\ t &= 50^\circ\text{C} = 323 \text{ К} \end{aligned}$$

$$Q_1 = ? \quad Q_2 = ?$$

Розв'язання

Кількість теплоти при охолодженні та нагріванні тіла визначають за формулою $Q = c \cdot m \cdot \Delta t$, де

M – маса тіла;

c – питома теплоємність тіла (в даному прикладі це вода, тому згідно з табличними дани-

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

Δt – різниця між кінцевим і початковим значеннями температури.

Таким чином:

1. Кількість теплоти, яку отримала холодна водою обчислюється за формулою

$$Q_1 = c \cdot m_1 \cdot (t - t_1).$$

2. Кількість теплоти яку віддав окріп, визначається за формулою

$$Q_2 = c \cdot m_2 \cdot (t_2 - t).$$

Перевіримо правильність одиниці шуканої величини за однією з отриманих формул:

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

Обчислення:

$$Q_1 = 4200 \cdot 0,8 \cdot (50 - 25) = 84\,000 \text{ (Дж)} = 84 \text{ (кДж)}$$

$$Q_2 = 4200 \cdot 0,4 \cdot (100 - 50) = 84\,000 \text{ (Дж)} = 84 \text{ (кДж)}$$

Відповідь: $Q_1 = 84 \text{ кДж}$; $Q_2 = 84 \text{ кДж}$.

► 6. Графіки теплових процесів при нагріванні і охолодженні тіл.

Тепловий процес, як неперервну послідовність теплових станів, зручно записувати не лише у вигляді формули, але й зображати за допомогою графіка. Графік теплового процесу будують з урахуванням залежностей між будь-якими двома величинами (параметрами), що характеризують даний тепловий процес. Пригадайте, як при вивченні графіків руху у 7-му класі, ви будували залежності швидкості від часу або шляху від часу.

Як приклад, побудуємо графіки зміни температури з часом у процесах нагрівання та охолодження тіл згідно з умовою попередньої задачі (окропу і води, відповідно). У якості додаткових умов вважатимемо, що з часом теплообмін між ними відбувався рівномірно та протягом часу t_1 (значення часу обрано довільно).

Для побудови графіків скористаємося прямокутною декартовою системою координат (рис. 59). Початок координат сумістимо зі значенням температури 0°C і моментом початку відліку часу t_0 . На горизонтальній осі абсцис відкладемо покази годинника (секундоміра), а на вертикальній осі ординат – покази термометра. Тоді тепловий процес охолодження окропу на графіку зобразиться прямою лінією AC, а тепловий процес нагрівання води – прямою лінією BC, розміщеними під деяким кутом до

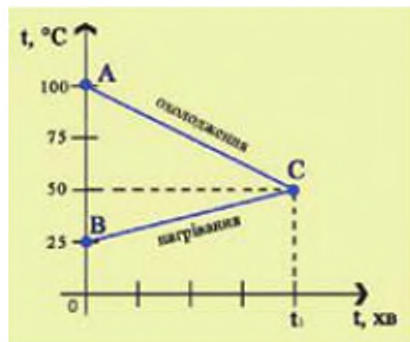


Рис. 59. Графіки теплових процесів нагрівання і охолодження води

осі абсцис. Точка С відповідає часу t_1 – встановленню стану теплової рівноваги суміші при температурі 50°C .

Побудова графіків теплових процесів дозволяє більш повно та різнобічно їх охарактеризувати та зробити певні висновки щодо умов перебігу теплових процесів. За графіками теплових процесів також зручно розв'язувати задачі, оскільки вони дозволяють подати їх наочно.

Подумайте і дайте відповідь

1. Що є мірою енергії, переданої тілу (або відданої тілом) у процесі теплообміну?
2. Яку фізичну величину називають кількістю теплоти? Чи є теплота і робота видами енергії?
3. Що таке теплоємність речовини? Від чого вона залежить? Який її фізичний зміст?
4. Що називається питомою теплоємністю речовини? Яка одиниця її вимірювання? Чи однакова ця величина для різних речовин?
5. Як обчислити кількість теплоти, отриманої або відданої тілом в процесі теплообміну? Запишіть відповідні формули та поясніть їх.
6. Чому теплові процеси зручно зображати у вигляді графіків?
7. Чим пояснюється той факт, що клімат островів значно м'якший та рівніший, ніж клімат материків?

Розв'яжіть задачі та оцініть результати

Вправа 10.

1. Питома теплоємність льоду дорівнює $2100 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}}$. Поясніть фізичний зміст цього значення.
2. Чому у пустелях вдень температура дуже висока, а вночі опускається нижче 0°C ?
- 3*. Чому у системі водяного опалення і системах охолодження двигунів використовують воду?
4. На що витрачається більше енергії: на нагрівання алюмінієвої каструлі чи на нагрівання води, налитої у неї, якщо їх маси однакові?
5. Яка кількість теплоти необхідна для нагрівання води від 15°C до 25°C у басейні, довжина якого 100 м, ширина 6 м і глибина 2 м?
6. Для зміни температури металеві деталі масою 100 г від 20°C до 40°C потрібно 280 Дж енергії. Визначте, з якого металу виготовлено деталь.

§ 11. ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС. РІВНЯННЯ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСУ.

*Тепловий баланс – від французького слова *balance* – терези.*

У загальному випадку, коли між тілами відбувається теплообмін, внутрішня енергія всіх тіл, які нагріваються, зростає настільки, наскільки зменшується внутрішня енергія тіл, що охолоджуються.

Рівняння теплового балансу є проявом закону збереження енергії, сформульованого з урахуванням особливої форми передачі енергії

у вигляді теплообміну. Цей закон є фундаментальним законом фізики. Він встановлений у результаті ґрунтовних експериментальних і теоретичних досліджень у галузі фізики і хімії.

► 1. Рівняння теплового балансу як прояв закону збереження і перетворення енергії. Для практичних цілей дуже часто буває необхідно досліджувати стани різних тіл після встановлення між ними стану теплової рівноваги в теплових процесах. Такий стан називають ще тепловим балансом. *Тепловий баланс – це розподіл кількості теплоти (внутрішньої енергії) між тілами, які брали участь у тепловому процесі.*

Проаналізуємо результати обчислення кількості теплоти, одержані при розв'язуванні задачі у пункті 5 попереднього параграфу (§ 10).

Як видно, кількість теплоти Q_1 , яку отримала холодна вода і кількість теплоти Q_2 , яку віддав окріп, однакові. Це не випадковий результат. Він є проявом загального закону збереження енергії у будь-якому природному процесі.

Закон збереження енергії у теплових процесах можна сформулювати таким чином:

кількість теплоти, яка втрачається одними тілами в процесі теплообміну, дорівнює кількості теплоти, яку набувають інші тіла, що беруть участь у даному процесі.

Цей висновок можна виразити математично:

$$Q_1^- + Q_2^- + Q_3^- + \dots = Q_1^+ + Q_2^+ + Q_3^+ + \dots$$

де індекс «-» означає кількість теплоти, яка віддається тілом, а індекс «+» вказує на те, що цю кількість теплоти тіло отримує.

Наведену рівність називають *рівнянням теплового балансу*.

Складання рівняння теплового балансу покладено в основу розрахунку процесів теплообміну при розв'язуванні багатьох задач та виконанні експериментально-дослідницьких завдань. Щоб виконання таких завдань було успішним, бажано дотримуватися такої послідовності дій:

1. Встановити, які тіла беруть участь у теплообміні.
2. Визначити, якої температури набувають тіла після встановлення стану теплової рівноваги. Якщо за умовою задачі вона не задана, слід позначити її літерою t і переходити до наступної дії.
3. З'ясувати, які з тіл віддають теплоту, а які її отримують. Скласти рівняння теплового балансу в загальному вигляді.
4. Записати формулу кількості теплоти для кожного з тіл, які беруть участь у процесі теплообміну.
5. Здійснити підстановку отриманих формул кількості теплоти для кожного з тіл у рівняння теплового балансу.
6. Розв'язати отримане рівняння теплового балансу відносно шуканої величини і перевірити її одиницю. Зробити аналіз отриманого результату на предмет його достовірності.

► 2. Застосування рівняння теплового балансу для розв'язування задач.

Задача. Обчислити, якою стане температура суміші в стані теплової рівноваги, який встановиться після змішування 200 г окропу при 100°C і 100 г води при температурі 18°C .

Дано:

$$m_1 = 200 \text{ г} = 0,2 \text{ кг}$$

$$m_2 = 100 \text{ г} = 0,1 \text{ кг}$$

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

$$t_2 = 18^{\circ}\text{C}$$

$$t - ?$$

Розв'язання

Складаємо рівняння теплового балансу: $Q_1^- = Q_1^+$,

де

$Q_1^- = c \cdot m_1 \cdot (t_1 - t)$ – кількість теплоти, яку віддає окріп;

$Q_2^+ = c \cdot m_2 \cdot (t - t_2)$ – кількість теплоти, яку отримує вода.

Отже:

$$c \cdot m_1 \cdot (t_1 - t) = c \cdot m_2 \cdot (t - t_2) \Rightarrow m_1 \cdot (t_1 - t) = m_2 \cdot (t - t_2).$$

Розв'язуємо отриману рівність відносно шуканої величини:

$$m_1 \cdot t_1 - m_1 \cdot t = m_2 \cdot t - m_2 \cdot t_2,$$

$$m_1 \cdot t_1 + m_2 \cdot t_2 = m_2 \cdot t + m_1 \cdot t,$$

$$m_1 \cdot t_1 + m_2 \cdot t_2 = t \cdot (m_2 + m_1),$$

звідки

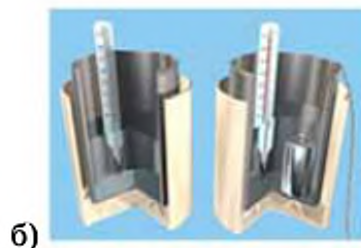
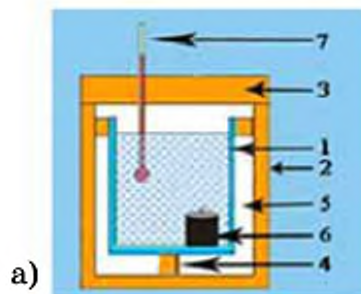
$$t = \frac{m_1 \cdot t_1 + m_2 \cdot t_2}{(m_2 + m_1)}.$$

Перевіримо правильність одиниці шуканої величини:

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

Обчислення: $t = \frac{0,2 \cdot 100 + 0,1 \cdot 18}{0,2 + 0,1} \approx 72,7 ^\circ\text{C}.$

Відповідь: температура суміші дорівнює $72,7^\circ\text{C}.$



► **3. Калориметр.** Рівняння теплового балансу передбачає врахування у теплообмінному процесі змін теплових станів всіх тіл, що беруть у ньому участь. Зрозуміло, що на практиці це зробити важко, оскільки завжди мають місце втрати теплоти у навколишнє середовище. Такі теплові втрати намагаються значно зменшити. Для цього використовують спеціальні прилади (закриті посудини), у яких розміщують тіла, що беруть участь у теплообмінному процесі. Одним з таких приладів є калориметр (рис.60).

Калориметр – від латинського слова *calor* – тепло і грецького слова *metreo* – вимірюю.

Найпростіший калориметр складається з тонкостінного алюмінієвого циліндра 1 і зовнішньої пластмасової посудини 2

з кришкою 3 (рис. 60, а). Завдяки теплоізоляційним прокладкам 4 і повітряного прошарку 5, а також наявності подвійних стінок, обмін теплотою між зовнішнім середовищем і середовищем всередині калориметра значно зменшується. Температуру у стані стану теплової рівноваги між рідиною і досліджуваним тілом 6 всередині калориметра вимірюють термометром 7. Калориметр комплектується також мішалкою для перемішування речовин.

При дослідженні стану теплової рівноваги речовин в калориметрі, можна нехтувати втратами теплоти в навколишнє середовище і використовувати рівняння теплового балансу. Якщо дослід чітко спланувати, швидко виконати та вчасно зафіксувати встановлення стану теплової рівноваги всередині калориметра, результат дослідження буде достовірним. Проте на досліді не можна одержати рівності між відданою та одержаною кількостями теплоти.

Калориметри використовують для дослідження теплових процесів у різних природничих науках: фізики, хімії, біології, екології. Розділ фізики, у якому розглядаються методи калориметричних вимірювань, називається калориметрією.



в)

Рис. 60. Калориметр – прилад для вимірювання кількості теплоти, що виділяється і поглинається у процесі теплообміну:
а) схема будови калориметра; б) калориметр у розрізі; в) лабораторний калориметр

Подумайте і дайте відповідь

1. Що називається тепловим балансом?
2. Проявом якого фундаментального фізичного закону є рівняння теплового балансу?
3. У яких дослідженнях необхідно використовувати рівняння теплового балансу?
4. Запишіть рівняння теплового балансу.
5. Якої послідовності дій слід дотримуватися при застосуванні рівняння теплового балансу до розрахунку процесу теплообміну між тілами?
6. Для чого використовують калориметр? Опишіть його будову.

Розв'яжіть задачі та оцініть результати

Вправа 11.

1. Два учні мають одержати завдання визначити теплоємність твердого тіла. Один учень узяв зібраний калориметр і налив у нього води при кімнатній температурі. Другий учень скористався лише внутрішньою посудиною калориметра і налив туди води такої самої маси. Обидва учні опустили у воду однакові тіла, нагріті до однакової температури. Хто точніше виконав завдання? Чому?
2. Яка питома теплоємність речовини, якщо для нагрівання 10 кг цієї речовини на 20°C слід витратити 184 кДж енергії? Скористайтесь таблицею питомих теплоємностей (таблиця 1) і встановіть, що це за речовина.
3. На скільки градусів підвищиться температура алюмінієвої ложки масою 30 г, якщо на її нагрівання витратиться кількість теплоти, виділена при охолодженні 40 г води від 70°C до 10°C ?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1**Вивчення теплового балансу за умов змішування води різної температури***Мета роботи:*

Експериментально дослідити умови, за яких справджується рівняння теплового балансу; навчитися застосовувати рівняння теплового балансу при дослідженні реального теплообмінного процесу.

Прилади і матеріали: 1) посудина з холодною водою (бажано кімнатної температури); 2) посудина з гарячою водою; 3) мірний циліндр (мензурка); 4) калориметр; 5) термометр; 6) секундомір. Для додаткового завдання: важільні терези.

Порядок виконання роботи

1. Ознайомтеся з будовою калориметра. Уважно прочитайте правила користування цим приладом. Чітко сплануйте експериментаторські дії. Для цього ще раз прочитайте за підручником «Фізика 7» (§ 10) рубрику «Це треба знати» (як виконувати спостереження, досліди та інші експериментальні завдання).

2. Налийте в мензурку холодну воду, виміряйте її об'єм та обчисліть масу m_1 .

3. Перелийте холодну воду в калориметр та виміряйте її температуру t_1 .

4. Виміряйте температуру гарячої води t_2 .

5. Перелийте гарячу воду в калориметр і одночасно з цим увімкніть секундомір. Обережно перемішайте термометром одержану суміш та виміряйте її температуру t після встановлення стану теплової рівноваги. За допомогою секундоміра зафіксуйте час встановлення теплової рівноваги суміші води.

6. Після остигання перелийте воду з калориметра у мензурку, виміряйте її загальний об'єм V та обчисліть загальну масу води за формулою: $m = \rho V$, де ρ – густина води. $\rho = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

7. Обчисліть масу гарячої води: $m_2 = m - m_1$.

8. Результати вимірювань та обчислень запишіть у таблицю 2.

9. Розрахуйте кількість теплоти, яку отримала холодна вода, за формулою: $Q_1^+ = cm_1(t - t_1)$.

10. Розрахуйте кількість теплоти, яку віддала гаряча вода, за формулою: $Q_2^- = cm_2(t_2 - t)$.

11. Результати обчислень Q_1^+ і Q_2^- запишіть у таблицю 2.

Результати вимірювань і обчислень
(до лабораторної роботи №1)

Таблиця 2

Маса холодної води m_1 , г	Початкова температура холодної води t_1 , °C	Маса холодної води m_2 , г	Початкова температура гарячої води t_2 , °C	Температура суміші t , °C	Тривалість теплообміну t , хв

11. Порівняйте одержані значення Q_1^+ і Q_2^- . Запишіть рівняння теплового балансу для досліджуваного процесу.

12. За даними досліду побудуйте графіки теплових процесів: 1) нагрівання холодної води; 2) охолодження гарячої води.

13. Зробіть *висновки* щодо:

- теплових втрат, які необхідно врахувати у досліджуваному процесі;
- експериментаторських умінь, яких ви набули при виконанні лабораторної роботи.

Контрольні запитання

1. Поясняйте, чи можна у даному досліді одержати строгу рівність між кількістю теплоти, яку отримала холодна вода, та кількістю теплоти, що віддала гаряча вода?

2. Чому, на вашу думку, загальний об'єм води після змішування рекомендується вимірювати після остигання води?

Додаткове завдання

За результатами виконаного досліду обчисліть кількість теплоти, витраченої на нагрівання калориметра. Масу калориметра визначте за допомогою важільних терезів.

Питома теплоємність алюмінію $920 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$.

Перевірте, чи задовольняє одержане значення рівнянню теплового балансу.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2**Визначення питомої теплоємності речовини***Мета роботи*

Визначити питому теплоємність речовини твердого тіла способом змішування; порівняти одержаний результат з табличними значеннями питомих теплоємностей речовин і назвати досліджувану речовину.

Прилади і матеріали: 1) металеве тіло; 2) міцна нитка; 3) калориметр; 4) посудина з холодною водою; 5) посудина з гарячою водою; 6) мензурка; 7) терези з набором гир; 8) термометр.

Теоретичні відомості

Питому теплоємність твердого тіла c можна визначити *способом змішування*. Суть цього методу полягає в тому, що досліджуване тіло, нагріте до певної температури в нагрівнику, швидко опускають в холодну воду. Між тілами відбувається теплообмін і встановлюється стан теплової рівноваги. При цьому *кількість теплоти, яку віддає досліджуване тіло внаслідок охолодження, дорівнює кількості теплоти, яку одержують оточуючі тіла*.

Складемо рівняння теплового балансу для описаного процесу.

Кількість теплоти Q , яку віддає тіло при остиганні:

$$Q = cm(t - t_0),$$

де c – шукана теплоємність;

m – маса досліджуваного тіла;

t_0 – початкова температура тіла;

t – кінцева температура тіла.

Кількість теплоти Q_1 , яку одержує вода:

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

де c_1 – питома теплоємність води;

m_1 – маса води;

t_1 – початкова температура води;

t – кінцева температура води.

Кількість теплоти Q_2 , яку одержує калориметр:

$$Q_2 = c_2 m_2 (t - t_1),$$

де c_2 – теплоємність алюмінію;

m_2 – маса внутрішньої посудини калориметра;

t_1 – початкова температура калориметра (вона дорівнює темпера-

турі холодної води, яка знаходиться в калориметрі);

t – кінцева температура калориметра (вона дорівнює кінцевій температурі води калориметрі).

Тоді

$$Q = Q_1 + Q_2 \text{ або} \\ cm(t - t_0) = c_1m_1(t - t_1) + c_2m_2(t - t_1)$$

З рівняння теплового балансу одержимо:

$$c = \frac{(c_1m_1 + c_2m_2)(t - t_1)}{m(t - t_0)}$$

Порядок виконання роботи

1. Виміряйте масу досліджуваного металевого тіла m за допомогою терезів.

2. Закріпіть металеве тіло на нитці і опустіть його в посудину з гарячою водою.

3. Виміряйте масу внутрішньої посудини калориметра m_2 за допомогою терезів.

4. Налийте у мензурку холодну воду та визначте її об'єм V_1 і масу m_1 (маса холодної води має бути такою, щоб після її переливання в калориметр металеве тіло могло повністю зануритись у воду).

$$m_1 = \rho_1 V_1; \rho = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

5. Перелийте холодну воду в калориметр і виміряйте її температуру t_1 .

6. Виміряйте температуру гарячої води в посудині, де знаходиться досліджуване тіло. Це буде початкова температура тіла t_0 .

7. Швидко опустіть в калориметр з холодною водою металеве тіло, що нагріте в гарячій воді.

8. Виміряйте температуру води в калориметрі після того, як встановиться стан теплової рівноваги між водою та зануреним у неї тілом. Це буде кінцева температура тіла t .

9. Результати вимірювань і обчислень запишіть у таблицю 3.

10. Визначте питому теплоємність металевого тіла за формулою

$$c = \frac{(c_1m_1 + c_2m_2)(t - t_1)}{m(t - t_0)}$$

$$\text{де } c_1 = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot c_2 = 920 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}.$$

11. Результати вимірювань і обчислень запишіть у таблицю 3.

Таблиця 3

Об'єм води в калориметрі V_1 , м^3	Маса води в калориметрі m_1 , кг	Маса металевого тіла m , кг	Маса калориметра m_2 , кг	Початкова температура води в калориметрі t_1 , $^\circ\text{C}$	Початкова температура металевого тіла t_0 , $^\circ\text{C}$	Кінцева температура металевого тіла t , $^\circ\text{C}$	Питома теплоємність металу c , $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$

12. Порівняйте одержаний результат з табличними значеннями питомих теплоємностей речовин і назвіть речовину, з якої виготовлене досліджуване металеве тіло.

13. Зробіть висновки щодо:

- похибок вимірювання, які найбільш суттєво вплинули на одержане значення питомої теплоємності, та можливостей їх зменшення;
- експериментаторських умінь і навичок, яких ви набули під час виконання роботи.

Контрольні запитання

1. Які теплові втрати не враховані у даному методі визначення питомої теплоємності речовини?
2. Чи співпадає одержане вами у досліді значення питомої теплоємності речовини з табличним значенням? Якщо ні, то чому?

Додаткове завдання

Користуючись результатами експерименту, оцініть, на який процес витрачається більша кількість теплоти: на нагрівання води чи на нагрівання калориметра?

§ 12. ПЛАВЛЕННЯ ТІЛ. ТЕМПЕРАТУРА ПЛАВЛЕННЯ. ПИТОМА ТЕПЛОТА ПЛАВЛЕННЯ. РОЗРАХУНОК КІЛЬКОСТІ ТЕПЛОТИ ПІД ЧАС ПЛАВЛЕННЯ АБО КРИСТАЛІЗАЦІЇ ТІЛ.



Рис. 61. Види агрегатних перетворень речовини

Для життєдіяльності людини процеси переходу речовини з одного агрегатного стану в інший є дуже важливими. Завдяки цим процесам у металургії отримують метали та їх сплави; щоб прокласти підземний тунель або стримати раптовий зсув ґрунту його заморожують разом з наявними у ньому ґрунтовими водами; пару, отриману з води, використовують на теплових електростанціях.

► 1. Зміна агрегатних станів речовини. З § 4 ви дізналися, що речовини можуть переходити з одного стану в інший. Такі переходи називаються агрегатними перетвореннями.

Можливі різні види агрегатних перетворень речовини з одного агрегатного стану в інший (рис. 61). Зміна агрегатного стану речовини супроводжується зміною розміщення, характеру руху та взаємодії частинок, з яких ця речовина утворена.

Для успішного використання агрегатних перетворень в практичній діяльності необхідно знати, за яких умов вони відбуваються та як пояснюються з точки зору внутрішньої будови речовини.

В Україні одним з найпотужніших металургійних комбінатів є «Запоріжсталь», продукція якого широко відома у світі. Високоякісна українська сталь користується попитом у виробників труб, побутової та сільськогосподарської техніки, на підприємствах автомобільного транспорту.

► 2. Плавлення і кристалізація. Вам відомо, що тверді тіла зберігають своїх об'єм і форму. Але при нагріванні твердого кристалічного тіла збільшується його температура, а, отже, й швидкість і розмах коливань частинок, які утворюють кристалічну ґратку твердого тіла. Це спричиняє збільшення відстаней між час-

тинками, послаблення міжмолекулярних зв'язків, і, як кінцевий результат – руйнування кристалічної ґратки. Тіло стає рідким, тобто відбувається процес плавлення.

Плавлення – це процес переходу твердо-го кристалічного тіла в рідкий стан, який супроводжується поглинанням теплоти.

Оберненим до плавлення є процес кристалізації.

Кристалізація – це процес перетворення речовини з рідкого стану у твердий.

Кристалізація відбувається при зниженні температури тіла. Відповідно, зменшуються швидкість й розмах коливань частинок, відбувається їх зближення і збільшення сил міжмолекулярної взаємодії – тіло переходить у твердий стан.

Висловіть свою думку

Чому під час снігопаду стає тепліше, а під час танення льоду – холодніше?

► **3. Температура плавлення.** Процес плавлення кристалічних тіл відбувається при певній температурі, яка називається температурою плавлення. Температури плавлення різних речовин визначаються дослідним шляхом і наводяться у таблицях (див. табл. 4).

З табл. 4 видно, що температури плавлення різних речовин знаходяться у широких межах. Якщо, наприклад, олово ($t_{\text{пл.}} = 232^{\circ}\text{C}$), свинець ($t_{\text{пл.}} = 327^{\circ}\text{C}$) або цинк ($t_{\text{пл.}} = 420^{\circ}\text{C}$) можна розплавити на відкритому вогні, то для розплавлення заліза ($t_{\text{пл.}} = 1539^{\circ}\text{C}$) або вольфраму ($t_{\text{пл.}} = 3387^{\circ}\text{C}$) необхідні спеціальні плавильні печі, в яких досягають потрібних температур плавлення.

Процес плавлення супроводжується поглинанням теплоти та збільшенням внутрішньої енергії тіла.

У процесі плавлення густина більшості речовин зменшується.

Процес кристалізації супроводжується виділенням теплоти та зменшенням внутрішньої енергії тіла. Кількість теплоти, яка виділяється у процесі кристалізації, передається оточуючим тілам.

Кількість теплоти, яка поглинається у процесі плавлення або виділяється у процесі кристалізації дорівнює зміні внутрішньої енергії тіл.

Як відомо, вода кристалізується, а лід тане при одній і тій самій температурі (0°C). Досліди показують, що й інші речовини також плавляться й тверднуть при одній і тій самій характерній для них температурі.

У сумішей температура плавлення є нижчою, ніж у чистих речовин. Саме тому тротуари та автомобільні дороги взимку посипають сіллю. Температура замерзання суміші солі з льодом стає нижчою, тротуар покривається шаром рідкої суміші, що дозволяє збільшити силу зчеплення з ним взуття (або шин з автомобільною дорогою).

Досліди показують, що під час кристалізації речовини виділяється така сама кількість теплоти, яка поглинається нею під час плавлення. Це означає, що питома теплота плавлення дорівнює питомій теплоті кристалізації.

Слід розрізняти процеси кристалізації та *тверднення*. Процес тверднення характерний для *аморфних тіл*. Аморфні тіла не мають певної температури плавлення: вони не плавляться, а поступового розм'якшуються. З твердого стану відбувається поступовий переходять аморфних тіл до м'якого, а далі – до густої рідини. При зворотному процесі аморфні тіла з м'якого стану поступово переходять до твердого – це і є процес тверднення. Така поведінка аморфних тіл пояснюється тим, що навіть у твердому стані вони не мають строгої періодичності у розташуванні частинок, які можуть переміщуватися одна відносно одної.

► **4. Питома теплота плавлення.** Оскільки кристалічні речовини відрізняються внутрішньою будовою та характером руху і взаємодії частинок, то на їх плавлення витрачається, відповідно, й різна кількість теплоти. Тому для характеристики енергетичних затрат, необхідних для переходу речовини із твердого стану в рідкий вводиться фізична величина, яка називається *питомою теплотою плавлення*.

Питомою теплотою плавлення називають кількість теплоти, яку потрібно надати 1 кг речовини для перетворення її з твердого стану в рідкий при температурі плавлення.

Питому теплоту плавлення позначають літерою λ . Одиницею питомої теплоти плавлення є $1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$; $[\lambda] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$

Для визначення кількості теплоти Q ,

необхідної для плавлення речовини при температурі її плавлення, треба питому теплоту плавлення λ помножити на масу речовини m :

$$Q = \lambda \cdot m.$$

За цією ж формулою визначають і кількість теплоти, яка виділяється під час тверднення речовини.

**Температура плавлення і питома теплота плавлення деяких речовин
(за нормального атмосферного тиску)**

Таблиця 4

Назва речовини	$t_{пл}$		$\lambda, \text{Дж/кг}$	Назва речовини	$t_{пл}$		$\lambda, \text{Дж/кг}$
	$^{\circ}\text{C}$	K			$^{\circ}\text{C}$	K	
Водень	-259	14	$0,59 \cdot 10^5$	Цинк	420	693	$1,12 \cdot 10^5$
Кисень	-219	54	$0,14 \cdot 10^5$	Золото	1064	1337	$0,67 \cdot 10^5$
Спирт	-114	159	$1,1 \cdot 10^5$	Мідь	1085	1358	$2,1 \cdot 10^5$
Ртуть	-39	234	$0,12 \cdot 10^5$	Сталь	1500	1773	$0,84 \cdot 10^5$
Лід	0	273	$3,4 \cdot 10^5$	Залізо	1539	1812	$2,7 \cdot 10^5$
Олово	232	405	$0,59 \cdot 10^5$	Платина	1772	2045	$1,18 \cdot 10^5$
Свинець	327	600	$0,25 \cdot 10^5$	Вольфрам	3387	3660	$0,25 \cdot 10^5$

► **5. Графіки зміни агрегатних станів речовини.** У процесі плавлення (як і у процесі кристалізації) температура речовини з часом не змінюється. Тому в системі координат «температура-час» графіком відповідного теплового процесу буде пряма лінія, яка паралельна до осі часу, а на ось температур проектується у точку, що відповідає температурі плавлення речовини.

На рис. 62, а зображено графіки теплових процесів нагрівання, охолодження, плавлення і кристалізації (льоду і води залежно від температури).

Розглянемо його окремі ділянки:

AB – нагрівання льоду від температури -40°C до температури плавлення 0°C ; **BC** – плавлення льоду при 0°C ; **CD** – нагрівання води від 0°C до 40°C ; **DE** – охолодження води від 40°C до 0°C ; **EF** – кристалізація води при 0°C ; **FK** – охолодження льоду від 0°C до -40°C .

У процесі плавлення тіло одночасно існує і в твердому, і в рідкому станах. Температура тіла не змінюється, а кількість теплоти, яка до нього підводиться, витрачається на руйнування кристалічної ґратки.

За графіками можна порівнювати температури плавлення (кристалізації) речовин та досліджувати перебіг теплових процесів шляхом аналізу різних ділянок на графіках.

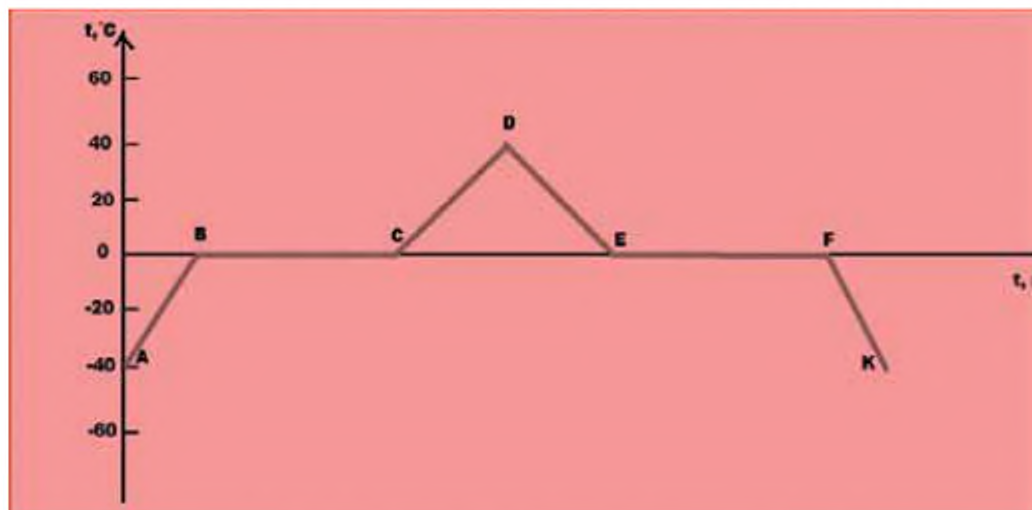


Рис. 62, а. Графік зміни агрегатного стану оксиду Гідрогену (лід – вода – лід)

Подумайте і дайте відповідь

1. Які види агрегатних перетворень речовини ви знаєте? Чому вони важливі у життєдіяльності людини?
2. Що називають плавленням речовини? Як змінюється внутрішня енергія тіла у процесі плавлення?
3. Що називають твердненням речовини? Як змінюється внутрішня енергія тіла у процесі тверднення?
4. Що таке температура плавлення речовини?
5. Який механізм плавлення аморфних тіл? Чи мають вони певну температуру плавлення?

6. Поглинається чи виділяється теплота у процес плавлення? тверднення?
7. Що називають питомою теплотою плавлення речовини?
8. За якою формулою обчислюють кількість теплоти, необхідної для розплавлення даної маси речовини при температурі плавлення?
9. Зобразіть графіки процесів плавлення і тверднення.

Розв'яжіть задачі та оцініть результати

Вправа 12.

1. Які зміни внутрішньої енергії відбуваються у процесі плавлення 1 кг льоду і 2. Обчисліть, як зміниться внутрішня енергія 1 кг міді внаслідок її тверднення.
2. Яку кількість теплоти слід витратити, щоб розплавити 3 кг заліза, взятого при температурі плавлення?
- 4*. Лід масою 5 кг знаходиться при температурі $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Визначте кількість теплоти, яка необхідна для перетворення льоду на рідину.

5. На рисунку 62, б зображено графіки зміни температури з часом для двох тіл однакової маси. За графіком визначте, у якого з тіл температура плавлення вища? Яке тіло має більшу питому теплоту плавлення?
- 6.* Відомо, що водойми взимку не промерзають до дна, що рятує від загибелі риб. Дайте пояснення цьому факту.

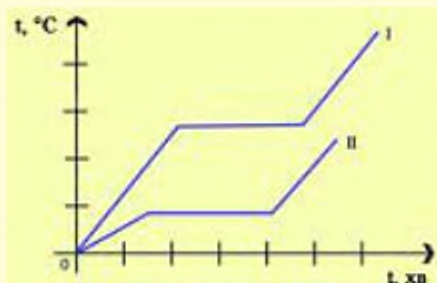


Рис. 62 б.

Графіки процесів нагрівання і плавлення до задачі 5

§ 13. ПАРООУТВОРЕННЯ І КОНДЕНСАЦІЯ.

У природі постійно відбувається кругообіг води, зумовлений процесами пароутворення і конденсації.

Мірою пароутворення є швидкість пароутворення – кількість рідини, яка переходить в пару за одиницю часу з одиниці площі поверхні тіла.

Усі рідини без винятку випаровуються. За однакової температури випаровування різних рідин відбувається по-різному: швидко або повільно. Випаровування має місце й у твердих тіл, але у них воно відбувається набагато повільніше, ніж у рідин.

► **1. Взаємні перетворення рідин і газів.** Пароутворення. У природі і в технічних пристроях відбувається величезна кількість процесів, обумовлених взаємним перетворенням рідин і газів: рідини переходять у пари (випаровування), з парів утворюються крапельки рідини (конденсація). Особливого значення для життя на Землі мають взаємні перетворення води і водяної пари. Водяна пара утворюється над усіма водними просторами Землі, а також на суші; вода безперервно випаровується з поверхні різних тіл, що призводить до утворення водяної пари, а внаслідок конденсації водяної пари осаджується на тілах у вигляді крапель.

Пароутворенням називається процес переходу речовини з рідкого стану в газоподібний.

Сукупність молекул, які вилітають з рідини при пароутворенні, називають паром даної рідини. Утворення пари відбувається не лише у рідин, але й у твердих тіл. Деякі тверді тіла здатні до сублімації – вони можуть переходити з твердого стану в газоподібний, минаючи рідкий стан. Одним з поширених прикладів сублімації є зникнення снігу без його танення під дією холодного сухого вітру. Широко відомі також приклади сублімації при кімнатних температурах нафталіну, камфори, йоду, нашатирю. Цим і пояснюється різкий запах, властивий багатьом твердим тілам.

Процесу сублімації відповідає оберне-

ний процес десублімації – перехід речовини з газоподібного стану в твердий.

► 2. Випаровування. Процеси випаровування ми часто спостерігаємо в побуті. Так, якщо налити воду у склянку та залишити її відкритою, то з часом рівень рідини зменшиться. Якщо невелику кількість рідини вранці пролити на підлогу, то ввечері її не прийдеється витирати – вона випариться.

Пароутворення, яке відбувається при будь-якій температурі з вільної поверхні рідини, називають випаровуванням.

Розглянемо механізм процесу випаровування. Молекули рідини рухаються зі швидкостями, як більшими, так і меншими від середньої швидкості молекул, яка визначається температурою. Окрема молекула, яка має швидкість більшу, ніж інші молекули, опинившись біля поверхні рідини може подолати притягання сусідніх молекул та вилетіти за її межі (рис. 63, а).

Під час випаровування рідини у відкритій посудині більшість молекул пари поступово розсіюється у просторі під дією конвекційних потоків і назад у рідину не повертається. Тому маса рідини, яка переходить у пару, весь час збільшується, і рідина з часом може повністю випаритися. Саме тому під час приготування їжі каструлю закривають кришкою.

Випаровування у природі досягає величезних масштабів. Зокрема, з поверхонь океанів, морів і річок щорічно в атмосферу Землі випаровується біля $4,25 \cdot 10^{14}$ тонн води! Випаровування забезпечує життєдіяльність людського організму, життя рос-

Розрізняють два види пароутворення – випаровування і кипіння.

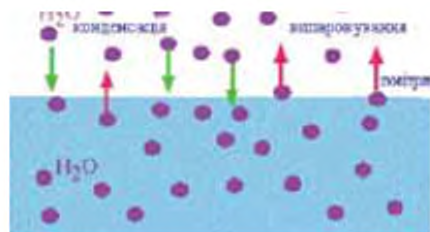


Рис. 63, а. Під час випаровування з поверхні рідини вилітають молекули з найбільшою енергією; у процесі конденсації молекули, які загубили свою енергію, повертаються в рідину

При випаровуванні з поверхні рідини вилітають молекули, які мають найбільшу швидкість і кінетичну енергію теплового хаотичного руху, тому в результаті випаровування рідина охолоджується.

У процесі переходу з рідкого стану в газоподібний збільшуються відстані між молекулами речовини, а, отже, її об'єм, а густина зменшується.

Спостереження показують, швидкість випаровування залежить від температури: чим вища температура рідини, тим більшою є кількість молекул з великими швидкостями, а, отже, тим швидше рідина випаровується. Швидкість випаровування залежить також від площі вільної поверхні рідини: чим вона більша, тим більшою є швидкість випаровування.

Якщо процес випаровування відбувається у закритій посудині, то через деякий час зменшення кількості рідини припиниться, хоча перехід швидких молекул в пару триватиме. У таких умовах процес пароутворення буде супроводжуватись оберненим процесом конденсації.

лин і тварин.

Внаслідок випаровування у повітрі завжди знаходиться певна кількість водяної пари. Цю кількість характеризують вологістю повітря. Чим більше водяної пари у повітрі, тим більшою є вологість повітря. Для людини не є корисним як сильно вологе, так і сильно сухе повітря. Зокрема, у тропічних та субтропічних областях Землі місцеві мешканці часто страждають на захворювання дихальної системи, зокрема, на астму.

► **3. Конденсація.** Досліди показують, що одночасно з вилітанням молекул із рідини має місце й зворотній перехід молекул – в рідину. Як це відбувається? Деяка кількість молекул, які після випаровування не віддаляються від поверхні рідини і продовжують рухатись поблизу неї, втрачають частину своєї енергії, а тому повертаються в рідину або осідають на стінках посудини (рис. 63, а).

Перетворення пари на рідину називається конденсацією.

Через деякий час в закритій посудині між рідиною і парою встановиться стан динамічної рівноваги між процесами пароутворення і конденсації: швидкість конденсації стане рівною швидкості пароутворення. У стані динамічної рівноваги кількість рідини і пари, яка знаходиться над її поверхнею, перестають змінюватись.

У процесах конденсації велику роль відіграють так звані центри конденсації (частинки пилу, продуктів згоряння, диму, кристалів солей). Особливий вплив на процес конденсації здійснюють аерозо-

лі, які використовуються повсюдно як в побуті, так і в техніці. Центри конденсації забезпечують стійкість крапель, які утворюються.

Внаслідок конденсації запотівають холодні поверхні, зокрема, віконне скло (рис. 63, б).

Конденсацією пари пояснюється утворення роси, туману та хмар при охолодженні повітря. Зокрема, при утворенні туману холодне повітря дотикається до теплої поверхні Землі, пара води конденсується і виділяється у вигляді крапель, які збираються у приземному шарі.

Утворення дивовижних візерунків на склі у морозну погоду пояснюється як процесом конденсації, так і процесом твердження. Теплі пари води, які знаходяться у повітрі, осідають на холодному склі, конденсуються і замерзають, перетворюючись на кристали льоду.

Висловіть свою думку

Коли ви приймаєте ванну, у ванній кімнаті запотівають скло і дзеркала. З яким фізичним процесом це пов'язане?

► **4. Кипіння.** Розглянемо механізм переходу рідини в пару при кипінні. Для цього спостерігатимемо за зміною стану води в посудині, яка нагрівається (рис. 64).

У процесі нагрівання рідини всередині її об'єму утворюються бульбашки – вони наповнені парою. При збільшенні температури тиск пари в бульбашці зростає. Бульбашки збільшуються в об'ємі і під дією сили Архімеда починають спливати. На цьому етапі кипіння ще не відбуваєть-

Швидкість конденсації визначається числом молекул, які за одиницю часу переходять з пари у рідину через одиницю її поверхні.



Рис. 63, б. Водяна пара біля поверхні холодного скла охолоджується, конденсується і осідає на склі у вигляді крапель.

Розраховано, що внаслідок конденсації близько четвертої частини води, що випаровується в атмосферу Землі, повертається на сушу у вигляді опадів: дощів, роси, снігу.



(а)



(б)

Рис. 64. У процесі кипіння бульбашки пари всередині рідини збільшуються в об'ємі, піднімаються вгору (а) і лопаються, викидаючи пару (б)

На відміну від випаровування, яке відбувається при будь-якій температурі, кипіння можливе лише при певній для кожної рідини температурі. Наприклад, для води це 100°C , для рослинної олії – 300°C .

ся, але ми чуємо шум. Чому? Справа в тому, що бульбашки піднімаються у верхні шари води, які ще не прогрілися (це пояснюється особливостями механізму конвекції в рідинах). Оскільки температура рідини у верхньому шарі менша, ніж у нижніх шарах, пара у бульбашках починає конденсуватись, а тому їх об'єм зменшується і вони стискаються («схлопуються»), не доходячи до поверхні води. Це і зумовлює шум, який ми чуємо. Коли ж вода прогріється по усьому об'єму, бульбашки піднімаються безпосередньо на поверхню і лопаються, викидаючи пару – відбувається кипіння.

Кипінням називається процес інтенсивного пароутворення не лише з вільної поверхні рідини, але й з усього її об'єму всередину бульбашок пари, які при цьому утворюються.

Температуру, при якій рідина кипить, називають температурою кипіння. Значення температури кипіння для різних речовин наводяться у таблицях (див. табл. 5).

Для початку процесу кипіння необхідно, щоб всередину рідини були так звані *центри пароутворення* (пилінки, бульбашки розчинених газів тощо). Саме на них і утворюються бульбашки пари. Якщо центрів пароутворення в рідині немає, то її можна перегріти до температури, вищої, ніж температура кипіння при даному тиску (таку рідину називають *перегрітою*). Утворення перегрітої рідини на глибині під землею пояснює дію гейзера – природного фонтану.

ПОГЛИБТЕ СВОЇ ЗНАННЯ

Чому температура кипіння залежить від зовнішнього тиску?

При переході з рідини в пару швидкі молекули повинні виконати роботу по подоланню сил міжмолекулярного зчеплення в рідині та проти зовнішнього тиску повітря і пари. Ця робота здійснюється за рахунок зменшення кінетичної енергії теплового руху молекул, а тому рідина охолоджується. Якщо зменшити зовнішній тиск, то на виконання молекулами роботи буде витрачатись менше енергії. У випадку, коли зовнішній тиск на рідину зростає – зростає і робота, яку необхідно виконати молекулам для виходу з рідини, а тому кипіння стає можливим при температурі, вищій $100\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Як утворюється гейзер? На глибині під землею (сотні й тисячі метрів) тиск досягає кількох атмосфер, а тому вода нагрівається значно вище від $100\text{ }^{\circ}\text{C}$. Коли знизу утворюються бульбашки пари, то частина води витікає, тиск знижується і пароутворення перегрітої рідини відбувається так інтенсивно, що та вода, яка залишилася, викидається на велику висоту (рис. 65, а).

В Україні відомий гейзер «Гарячий ключ» знаходиться у Голоприсланському районі Херсонської області і має глибину 1527 м (рис. 65, б). Його вода має великий вміст мінералів, а тому вважається цілющою.



а)



б)

Рис. 65. Гейзери – унікальні і корисні природні фонтани: а) гейзер викидає гарячу воду з вузької вертикальної свердловини у землі; б) на місці гейзера «Гарячий ключ» на Херсонщині виритий басейн, яким із задоволенням користуються не лише люди із хворобами (опорно-рухомого апарату, дихальної системи, судин, шкіри), але й туристи.

Фізичне знання в техніці

Що таке автоклав і для чого він використовується. Підвищення температури кипіння рідини внаслідок збільшення тиску на неї використовують в автоклавах (рис. 65, в, г).

Автоклав – це міцний металевий котел із кришкою, що герметично кріпиться до корпусу котла. У кришку автоклава вмонтовано манометр і запобіжний клапан за допомогою яких встановлюється значення тиску, до якого треба довести пару в котлі.



в)



г)

Рис. 65. Автоклави в медицині і побуті: в) медичний автоклав для стерилізації інструментів; г) побутовий автоклав для консервації м'ясних і овочевих продуктів.

Подумайте і дайте відповідь

1. Які взаємні перетворення рідин і газів ви знаєте. Що називають пароутворенням?
2. Який процес називають випаровуванням? Який механізм випаровування? Від чого залежить швидкість випаровування?
3. Чи можуть випаровуватись тверді тіла? Що таке сублимація? десублимація?
4. Що таке конденсація? Як визначити швидкість конденсації?
5. Який стан називають станом динамічної рівноваги? За яких умов він встановлюється?
6. Що називають кипінням? Поясніть, як відбувається процес кипіння.
7. Що таке температура кипіння? Як вона залежить від зовнішнього тиску?
- 8*. Поясніть залежність температури кипіння від зовнішнього тиску.

Розв'яжіть задачі та оцініть результати

Вправа 13.

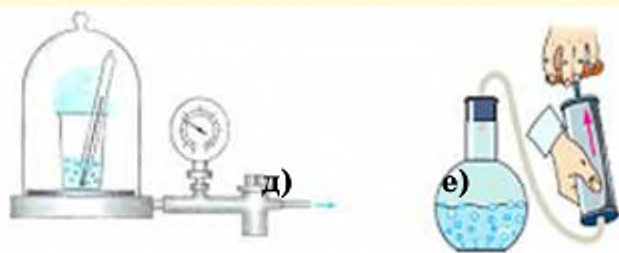
1. Дайте пояснення таким дослідним фактам: а) рідини випаровуються швидше під час нагрівання; б) рідина у посудині з вузьким отвором випаровується повільніше, ніж у посудині з широким отвором.
2. Кастрюля-скороварка – це герметично закрита посудина, з якої пара може виходити лише через запобіжний клапан. Чому в такій кастрюлі вода закипає швидше?
3. Чи можна зварити картоплю високо в горах?
4. Чому мокра білизна висихає швидше у вітряну погоду, ніж у безвітряну?

5*. Кипіння води при зниженому тиску можна спостерігати в таких дослідах:

а) вода в посудині знаходиться під прозорим ковпаком, який герметично з'єднаний з основою. За допомогою насоса з під нього відкачують повітря (рис. 65, д);

б) вода знаходиться в герметично закритій колбі, з якої відкачують повітря (рис. 65, е).

Поясніть механізм кипіння у наведених прикладах.



§ 14. ПИТОМА ТЕПЛОТА ПАРООУТВОРЕННЯ (КОНДЕНСАЦІЇ). РОЗРАХУНОК КІЛЬКОСТІ ТЕПЛОТИ ПІД ЧАС ПАРООУТВОРЕННЯ (КОНДЕНСАЦІЇ).

Досліди показують, що чим вища температура рідини, тим менше енергії потрібно витратити на процес пароутворення. Дійсно, чим вища температура рідини, тим більшою є енергія руху молекул. У такому випадку молекулам необхідно надати меншої енергії для того, щоб вони могли залишити рідину. Отже, чим вища температура рідини, тим менше енергії витрачається на її випаровування. При температурі кипіння ця кількість теплоти є найменшою.

► 1. **Питома теплота пароутворення.** Експериментально встановлено, що після початку кипіння рідини її температура перестав змінюватися і залишається сталою протягом усього часу кипіння, незважаючи на те, що теплоту ззовні рідина одержує. На що вона витрачається? Зрозуміло, що перехід рідини в пару супроводжується збільшенням відстаней між молекулами та подоланням міжмолекулярних сил. Саме на це і витрачається теплота, яка підводиться до рідини під час кипіння. Цей процес продовжується доти, доки вся рідина не перетвориться на пару (не википить). З цього випливає, що для перетворення рідини на пару у процесі кипіння необхідно підводити до неї певну кількість теплоти (енергію).

Кількість теплоти, яку необхідно надати речовині масою 1 кг для перетворення її з рідкого стану у газоподібний при температурі кипіння, називається питомою теплотою пароутворення.

Питому теплоту пароутворення позначають літерою r .

Питома теплота пароутворення залежить від виду речовини та умов, за яких цей процес відбувається.

За всіх інших однакових умов, різним речовинам для пароутворення потрібна різна кількість теплоти, оскільки різними є міжмолекулярні сили, які необхідно по-

долати молекулам при виході з поверхні рідини.

У таблиці 5 подано значення питомої теплоти пароутворення деяких речовин при їх температурах кипіння і нормальному атмосферному тиску. Значення питомої теплоти пароутворення є досить значними. Це відіграє виключно важливу роль в природі, оскільки процеси пароутворення відбуваються в природі у величезних масштабах.

► **2. Формула для обчислення питомої теплоти пароутворення.** З таблиці 5 видно, що для випаровування 1 кг води ($t_k = 100^\circ\text{C}$) потрібно витратити 2257 кДж енергії. Відповідно, якщо необхідно випарити не 1 кг води, а 10 кг води, то ця величина збільшиться у 10 разів і дорівнюватиме 22570 кДж.

Таким чином, щоб обчислити кількість теплоти, яку необхідно надати речовині масою m для перетворення її з рідкого стану у газоподібний при температурі кипіння, треба питому теплоту пароутворення помножити на масу речовини:

$$Q = r \cdot m.$$

З формули випливає, що *одиноцею питомої теплоти пароутворення є*

$$1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} [\text{r}] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

► **3. Графіки процесів нагрівання і кипіння.** У процесі кипіння температура речовини з часом не змінюється. Тому в системі координат «температура-час» графіком відповідного теплового процесу буде пряма лінія, яка паралельна до осі часу, а

Фізичний зміст питомої теплоти пароутворення полягає в тому, що вона показує, на скільки збільшується внутрішня енергія речовини масою 1 кг при перетворенні її з рідкого стану у газоподібний при температурі кипіння.

Кількість теплоти, яку надають рідині під час пароутворення, витрачається не лише на збільшення її внутрішньої енергії, але й на виконання роботи проти сил зовнішнього тиску.

Отже, під час пароутворення за зниженого атмосферного тиску потрібно витратити менше енергії, ніж при високому атмосферному тиску.

ЧАСТИНА I. ТЕПЛОВІ ЯВИЩА

на ось температур проектується у точку, що відповідає температурі кипіння речовини.

На рис. 66 зображено графік теплового процесу нагрівання і кипіння води. Розглянемо його окремі ділянки:

AB – нагрівання води від 0°C до 100°C (температура кипіння води при нормальному атмосферному тиску);

BC – кипіння води.

За графіком можна порівнювати температури кипіння різних речовин та досліджувати перебіг теплових процесів.

Температура кипіння і питома теплота пароутворення

Таблиця 5

Назва речовини	$t_{\text{к}}^{\circ}\text{C}$	L , кДж/кг	Назва речовини	$t_{\text{к}}^{\circ}\text{C}$	L , кДж/кг
Ефір	34,6	355,0	Срібло	2212	2177
Спирт	78,3	906,0	Золото	2803	1758
Вода	100	2257,0	Платина	4530	2512
Ртуть	357	293,1	Вольфрам	5660	4960

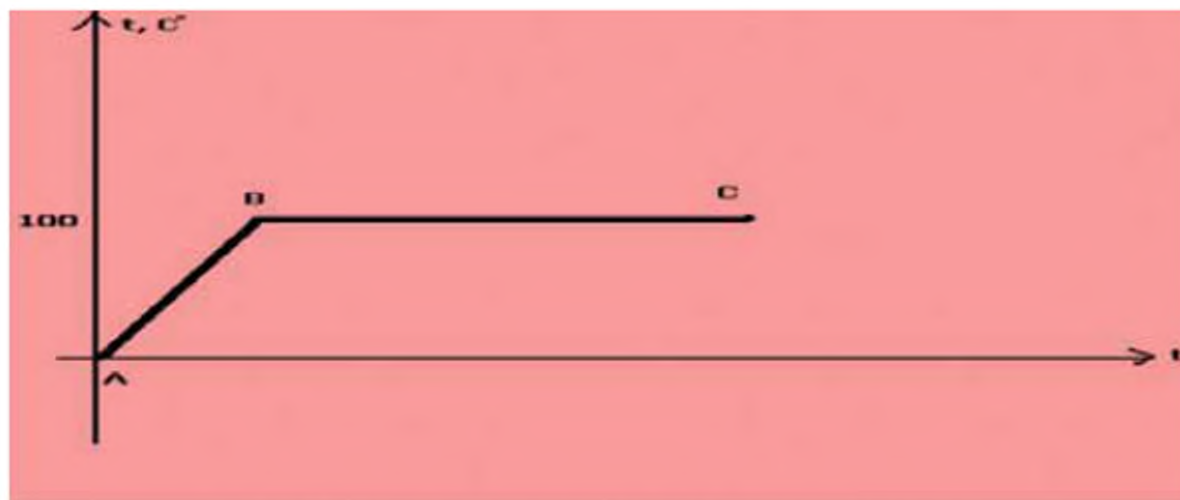


Рис. 66. Графік процесу нагрівання і кипіння води

ПОГЛИБТЕ СВОЇ ЗНАННЯ

Як отримують дистильовану воду? Якщо провести дослід з випаровування і конденсації водного розчину цукру, а потім спробувати на смак воду, що утворилася внаслідок конденсації пари, то, як не дивно, але цукру в конденсованій воді ми не виявимо! Виконавши подібний дослід з водним розчином кухонної солі, отримаємо подібний результат: в конденсованій воді сіль відсутня. Отже, випаровуванням і конденсацією водних розчинів, можна виділити з води тверді речовини, які в ній розчинені. Такий процес отримав назву *перегонки або дистиляції*. Очищену в такий спосіб від солей та інших домішок воду називають *дистильованою водою*.

Процес дистиляції дозволяє розділяти і суміші рідин. При дистиляції сумішей рідин в першу чергу дистилюється рідина, що має нижчу температуру кипіння і меншу питому теплоту пароутворення, потім рідина з більш високою температурою кипіння і більшою питомою теплотою пароутворення. Описаний процес розділення сумішей рідин називають дробовою або шротовою перегонкою. За такою схемою отримують, наприклад, різні продукти перегонки нафти: бензин, лігроїн, гас, солярку, мазут, а з останнього — різні оливи (мастильні речовини).

Фізичне знання в техніці

Градирні. Градирні називають ще охолоджувальними баштами. Вони призначені для охолодження великої кількості води спрямованим потоком атмосферного повітря. У градирню вода спадає у вигляді дрібних крапель або тонкої плівки, частково випаровується в атмосферу та охолоджується. Охолоджена таким чином вода використовується за іншим призначенням (наприклад, для швидкого охолодження пари, що поступає з турбінного блоку електростанції).



Рис. 67. Градирні на харківській теплоелектроцентралі (ТЕЦ), яка забезпечує гаряче водопостачання і опалення житлових та промислових об'єктів

Подумайте і дайте відповідь

1. На що витрачається кількість теплоти, яка підводиться до речовини у процесі кипіння?
2. У якому випадку на процес пароутворення витрачається менша кількість теплоти: а) чим менша температура речовини; б) чим більша температура речовини.
3. У якому випадку на процес пароутворення витрачається більша кількість теплоти: а) при зниженому атмосферному тиску; б) при підвищеному атмосферному тиску.
4. Від чого залежить кількість теплоти, яка необхідна для пароутворення?
5. Чому питому теплоту пароутворення одночасно вважають і питомою теплотою конденсації?
6. Запишіть формулу, за якою обчислюють кількість теплоти, що витрачається на пароутворення (або виділяється при конденсації пари).

Розв'яжіть задачі та оцініть результати**Вправа 14.**

1. Поясніть, чому під час дощу стає прохолодніше.
2. У субтропічних та тропічних областях Землі кількість водяної пари в атмосфері більша, ніж в областях з помірним кліматом. У яких з цих областей важче переноситься спека? Відповідь обґрунтуйте.
3. Визначте, яку кількість теплоти треба витратити, щоб перетворити на пару 200 г спирту.
4. Обчисліть, скільки теплоти виділиться при конденсації 200 г водяної пари з температурою 100°C та при охолодження одержаної води до 20°C .
5. У посудину, яка містить 400 г води при температурі 17°C , впускають 10 г пари при температурі 100°C , яка перетворюється на воду. Визначте кінцеву температуру води. Теплоємність посудини та втратами тепла можна знехтувати.

СИСТЕМАТИЗУЄМО ЗНАННЯ З РОЗДІЛУ 2.

- ▶ 1. Енергія тіла, яка залежить від характеру руху і взаємодії його частинок і визначається лише тепловим станом тіла, називається внутрішньою енергією. Внутрішня енергія складається з кінетичної і потенціальної енергії частинок тіла.
- ▶ 2. Розрізняють два способи змінення внутрішньої енергії тіла: виконання механічної роботи і теплообмін (теплопередача). Існують три види теплообміну: теплопровідність, конвекція, випромінювання. У всіх теплових процесах справджується закон збереження і перетворення енергії.
- ▶ 3. Мірою енергії, переданої у формі теплоті в процесі теплообміну, є кількість теплоти Q . Кількість теплоти, яку тіло поглинає при нагріванні або віддає при охолодженні, визначається за формулою: $Q = c \cdot m \cdot (t_2 - t_1)$, де c – питома теплоємність речовини.
- ▶ 4. Проявом закону збереження енергії у теплових процесах є рівняння теплового балансу: $Q_1^- + Q_2^- + Q_3^- + \dots = Q_1^+ + Q_2^+ + Q_3^+ + \dots$.
- ▶ 5. Тепловий процес зручно зображати за допомогою графіка. Графік теплового процесу будують з урахуванням залежностей між будь-якими двома величинами (параметрами), що характеризують даний тепловий процес.

Б У склянці з цукром, оскільки на розчинення цукру витрачається енергія.

В У обох склянках температура чаю буде однакова, оскільки швидкість охолодження чаю залежить лише від розміру його вільної поверхні.

Г У склянці без цукру, оскільки чай охолоне за рахунок нагрівання стінок склянки.

5. Який ґрунт прогріється на сонці швидше – вологий чи сухий? Чому?

А Сухий, оскільки вся енергія витрачається на нагрівання ґрунту.

Б Вологий, оскільки при випаровуванні води виділяється енергія.

В Вологий, оскільки його теплопровідність більша, ніж у сухого ґрунту.

Г Сухий, оскільки його теплопровідність більша, ніж волого ґрунту.

6. За якою формулою обчислюється зміна внутрішньої енергії тіла у процесі теплопередачі?

А $Q = U$. Б $Q = \Delta U$. В $Q = \Delta U - U$. Г $Q = \Delta U + U$.

Достатній рівень

7. Як легше зігрітись – під ковдрою у підковдрі чи без неї?

А Під ковдрою без підковдри, тому що у цьому випадку зменшується теплообмін між тілом людини і повітрям у кімнаті.

Б Під ковдрою без підковдри, тому що у цьому випадку ковдра більш щільно прилягає до тіла людини.

В Під ковдрою у підковдрі, тому що шар повітря між ковдрою і підковдрою зменшує товщину ізоляційного прошарку між тілом людини і повітрям у кімнаті.

Г Під ковдрою у підковдрі, тому що шар повітря між ковдрою і підковдрою збільшує товщину ізоляційного прошарку між тілом людини і повітрям у кімнаті.

8. Крапля води, яка потрапляє на розжарену сковорідку, починає на ній підстрибувати. Як пояснити це явище.

А Розжарена сковорідка нагріває поверхню краплі, яка починає випаровуватись, внаслідок чого підстрибує.

Б Розжарена сковорідка нагріває поверхню краплі, внаслідок чого навколо неї утворюється оболонка пари, яка підкидує краплю вгору.

В Це відбувається внаслідок різниці температур сковорідки і краплі.

Г Це відбувається внаслідок зменшення маси краплі.

9. Для нагрівання 100 г свинцю від 15⁰С до 35⁰С необхідно 260 Дж. Визначте питому теплоємність свинцю.

- а) $130 \frac{\text{Н}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$ б) $130 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$ в) $130 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ г) $130 \frac{\text{Дж}}{\text{град}}$.

Високий рівень

10. Яке значення для організму людини має виділення поту?

А Виділення поту і його випаровування сприяє виведенню з організму шкідливих речовин.

Б Виділення поту і його випаровування сприяє виведенню з організму зайвої рідини.

В Виділення поту і його випаровування запобігає переохолодженню організму.

Г Виділення поту і його випаровування запобігає перегріву організму.

11. Поясніть, чому у пустелях вдень дуже спекотно, а вночі температура опускається нижче 0⁰С?

А Тому що пісок має велику питому теплоємність, тому він швидко нагрівається і швидко охолоджується.

Б Тому що пісок має малу питому теплоємність, тому він швидко нагрівається і швидко охолоджується.

В Тому що повітря має велику питому теплоємність, тому воно швидко нагрівається і швидко охолоджується.

Г Тому що повітря має малу питому теплоємність, тому воно швидко нагрівається і швидко охолоджується.

12. Яку кількість теплоти споживає за добу житловий будинок, якщо за цей час в опалювальну систему будинку поступає 1600 м³ води при температурі 90⁰С, яка виходить з будинку при температурі 50⁰С.

А $2,69 \times 10^8$ Дж. Б $2,69 \times 10^{11}$ Дж. В $2,69 \times 10^{11}$ Дж. Г $2,69 \times 10^8$ Дж.

ЗАДАЧІ ДО РОЗДІЛУ 2

1. Найвищий у Закарпатті водоспад Труфанець має висоту 36 м. Визначте, на скільки градусів підвищиться температура води у водоспаді при її падінні, якщо на нагрівання води витрачається 60% роботи сили тяжіння (Відповідь: на $0,05\text{ }^{\circ}\text{C}$).

2. Поясніть, у якому чайнику вода швидше нагріється – у новому чи старому? (Відповідь: на стінках старого чайника є шар накипу, який погіршує теплопровідність стінок чайника, тому вода швидше закипить у новому чайнику).

3. Перед тим, як наливати до склянки крутого окропу, у склянку рекомендують опускати чайну ложку. Чому? (Відповідь: тому що завдяки високій теплопровідності металева чайна ложка поглинає певну кількість теплоти, що сприяє більш рівномірному прогріванню стінок склянки, а, отже, попереджає її псування).

4. Поясніть, чому чавун плавиться при більш низькій температурі, ніж залізо. (Відповідь: при плавленні впорядковане розташування атомів речовини перетворюється на неупорядковане. Атоми вуглецю у чавуні порушують впорядкованість побудови ґратки кристалів заліза, тому їх наявність полегшує перехід чавуна з твердого стану на рідкий, отже, температура плавлення чавуну знижується).

5. Чому, виходячи з води після купання, ви відчуваєте холод? (Відповідь: тому що вода випаровується і охолоджує ваше тіло).

6. Розрахуйте, скільки літрів води при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ і $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ треба змішати, щоб одержати 300 л води при температурі $40\text{ }^{\circ}\text{C}$. (Відповідь: 225 л і 75 л відповідно).

7. У посудину, ізольовану від притоку теплоти ззовні, налито 500 г води при $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. У неї кидають шматочки льоду при $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Визначте, скільки льоду можна кинути у посудину, щоб він повністю розтанув. Теплоємністю посудини можна знехтувати. (Відповідь: 118 г).

8*. Вода поступає в радіатори водяного опалення при $68\text{ }^{\circ}\text{C}$, а виходить з них при $40\text{ }^{\circ}\text{C}$. До якої температури прогріється повітря в кімнаті об'ємом 90 м^3 , якщо початкова температура в кімнаті $6\text{ }^{\circ}\text{C}$, а через радіатори пройде 40 л води? Втрати тепла через стіни, вікна та підлогу складають 50% (Відповідь: приблизно на $20\text{ }^{\circ}\text{C}$).

Частина I

ТЕПЛОВІ ЯВИЩА.

РОЗДІЛ 3. ТЕПЛОВА ЕНЕРГІЯ. ТЕПЛОКОРИСТУВАННЯ

- Чому зусилля енергетиків у всіх країнах світу спрямовані на удосконалення теплових електростанцій, підвищення їх надійності, ефективності та екологічної безпеки?
- Чим зумовлена величезна роль палива у розвитку сучасної цивілізації?
- Які види палива сьогодні є основними в Україні і в світі?
- Чому для економіки України важливе значення мають шахти Донбасу?
- Для чого людству альтернативні джерела енергії?
- Як одержують і де використовують мазут та дизельне паливо?
- Чому полум'я свічки жовтогаряче, а газової горілки – синє?
- Що таке чадний газ і чому він небезпечний для людини?
- Який вплив здійснюють теплові двигуни на навколишнє середовище?
- Чому проблеми теплової енергетики та теплокористування є нині такими глобальними ?



§ 15. ГОРІННЯ ПАЛИВА. ТЕПЛОТА ЗГОРЯННЯ ПАЛИВА

1. Яке значення палива для сучасної цивілізації? Паливо – джерело енергії, яке використовується практично у всіх галузях діяльності людини. Сьогодні ми вже не уявляємо свого життя без електричного освітлення, електропоїздів, побутових і промислових холодильників, телевізорів і комп'ютерів, систем опалення і вентиляції, а також величезної кількості іншого обладнання. Все це працює за рахунок електричної енергії, яка одержується на електростанціях при перетворенні теплової енергії згоряння палива. А Електрична енергія, яка виділяється при згорянні палива використовується також у більшості технологічних процесів (плавлення, зварювання), у сільському господарстві (доїння корів, робота елеваторів, інкубаторів). Автомашини усіх марок працюють на двигунах внутрішнього згоряння, де спалюється паливо.

Сьогодні в Україні, як і у всьому світі, основними видами палива є нафта, природний газ і вугілля. Нафта забезпечує 40% виробництва енергії, вугілля – 26%, природний газ – 24%. Щоденно у світі споживається близько 75000000 барелей нафти. Але запаси палива на нашій планеті не безмежні і традиційні джерела енергії вичерпуються. Крім того, їх використання створює багато проблем, які, в першу чергу зводяться до забруднення повітря та створення парникового ефекту. Тому

Основні види палива:

- а) природний газ,*
- б) нафта,*
- в) вугілля.*



а.



б.



в

людство шукає альтернативні джерела енергії. До штучних альтернативних джерел енергії можна віднести: горючі рідини, спирти та їх суміші, рідке біологічне паливо, газ, одержаний при переробці твердого палива (кам'яне і буре вугілля, горючі сланці, торф, природні бітуми).

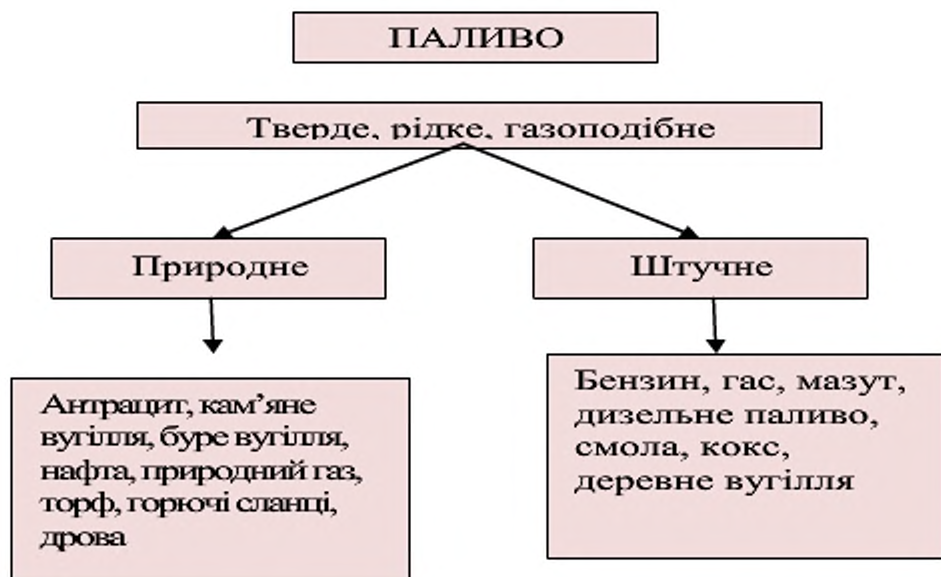


Рис. 68, а. Види природного та штучного палива

2. Як виділяється енергія під час горіння палива? Спосіб отримання енергії внаслідок згорання палива є одним з найстаріших та найбільш вживаним у сучасному житті.

Розглянемо процес горіння природного газу – метану. У процес горіння молекули метану CH_4 взаємодіють з молекулами Оксигену O_2 , внаслідок чого відбувається хімічна реакція окислення. Продуктами реакції є молекула вуглекислого газу CO_2 та дві молекули води H_2O (рис. 68, б). У таких реакціях відбувається розрив зв'язків між атомами в одних молекулах і утворення нових молекул з атомів. На розрив молекул енергія витрачається, а при утворенні молекул – виділяється, при цьому ці енергії не є рівними. Зокрема, у процесі горіння метану енергія, яка виділяється є більшою, ніж та, що витрачається,

тому ця реакція йде з виділенням енергії.

У процесі хімічної реакції окислення атоми Карбону з'єднуються з атомами Оксигену і утворюються молекули оксиду Карбону і води, що супроводжується вивільненням хімічної енергії та перетворенням її на теплоту.

Теплоту, яка виділяється у процесі згорання палива, називають **теплотою згорання палива**.

Головною умовою здійснення процесу горіння є наявність пальної речовини, окислювача та джерела запалювання.

Для початку процесу горіння необхідна **початкова енергія**, яка розпочне процес горіння. Найчастіше за все – це нагрівання пальної речовини або внесення у неї іншої речовини, яка є розжареною (або горить). Так, для запалювання газової горілки ви підносите до неї сірник або електричну запальничку.

У процесі горіння (тобто хімічних реакцій окислення) виділяється значна кількість теплоти. Ця теплота поглинається молекулами навколишнього середовища, внаслідок чого енергія теплового руху молекул прогресуюче зростає. Тому під час горіння температура середовища швидко підвищується до декількох тисяч градусів і часто супроводжується утворенням полум'я.

3. Питома теплота згорання палива. Різні види палива мають неоднакову внутрішню будову (зокрема, різним є вміст вуглецю у різних видах палива). Тому під час згорання однакової маси палива різних видів виділяється різна кількість теплоти.

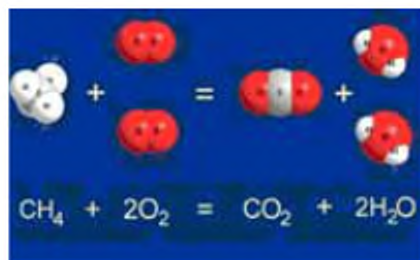


Рис. 68, б.

Горіння – це фізико-хімічний процес з'єднання молекул кисню з речовиною, який є швидкоплинним, самопідтримуваним і супроводжується виділенням теплоти і світла.

У повітрі міститься близько 21% кисню. Якщо вміст кисню знизується до 14–18%, то горіння для більшості речовин стає неможливим. Лише водень, етилен, ацетилен горять при вмісті кисню у повітрі близько 10%.

Горіння супроводжується утворенням шкідливих для людини речовин – вуглекислого газу CO_2 та чадного газу CO .

Фізичну величину, що показує, яка кількість теплоти виділяється при повному згорянні палива масою 1 кг, називають *питомою теплою згоряння палива*. Питому теплоту згоряння палива позначають літерою q .

Таким чином, щоб обчислити кількість теплоти, яка виділяється при повному згорянні пальної речовини масою m , треба питому теплоту згоряння палива помножити на масу речовини:

$$Q = q \cdot m.$$

Одиницею питомої теплоти згоряння палива

$$1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot [q] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$

Значення питомої теплоти згоряння різних видів палива визначається дослідним шляхом і наводиться у таблицях (див. табл. 6).

Питома теплота згоряння деяких видів палива

Таблиця 6.

Назва палива	$q, \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	Назва палива	$q, \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$
Дрова сухі	$1,23 \cdot 10^7$	Природний газ	$4,56 \cdot 10^7$
Торф	$1,4 \cdot 10^7$	Пропан	$8,4 \cdot 10^7$
Кам'яне вугілля	$3,03 \cdot 10^7$	Нафта	$4,4 \cdot 10^7$
Спирт	$2,7 \cdot 10^7$	Бензин	$4,6 \cdot 10^7$
Антрацит	$3,0 \cdot 10^7$	Гас	$4,6 \cdot 10^7$
Деревне вугілля	$3,4 \cdot 10^7$	Мазут	$4,2 \cdot 10^7$
Дизельне паливо	$4,2 \cdot 10^7$	Гідроген	$12 \cdot 10^7$

Визначимо за допомогою таблиці значення питомої теплоти згоряння кам'яного вугілля:

$$q = 2,7 \cdot 10^7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$

Це означає, що внаслідок повного згоряння 1 кг кам'яного вугілля виділяється $2,7 \cdot 10^7$ Дж енергії. Найбільшу (з наведених у табл. 6) питому теплоту згоряння має водень:

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

Отже, водень є майже в чотири рази енергетично ефективнішим паливом, ніж кам'яне вугілля, і втричі — ніж нафта і нафтопродукти (бензин, гас, мазут тощо).

Сьогодні інженери-конструктори багатьох країн світу працюють над проектами теплових двигунів, у яких би окислювався Гідроген (двигуни на водневому паливі). Використання цього виду палива вигідне не лише економічно, а й з точки зору екології. Внаслідок згоряння водню утворюється чиста вода, а не шкідливі для організму людини вуглекислий і, особливо, чадний газ.

4. Тяга. Для підтримання горіння необхідний приплив повітря, багатого на кисень, без якого горіння припиняється. Для цього створюють додатковий приплив повітря — *тягу*. Цей метод заснований на використанні явища конвекції і полягає у застосуванні системи «топка – труба» (рис. 69, а). Під час горіння палива у топці повітря в ній і в трубі нагрівається, його густина зменшується і воно піднімається вгору. Тиск повітря в топці й трубі стає меншим від тиску зовнішнього повітря, а тому на місце теплого повітря через піддувало надходить холодне повітря — так створюється *тяга*. Чим вищою є витяжна



а)



б)

Рис. 69, а, б. Для збільшення припливу повітря та забезпечення умов горіння створюють тягу: в) над топками котельних установок фабрик, заводів, електростанцій встановлюють труби (на фото витяжна труба Київського заводу по спаленню сміття); г) схема створення тяги у каміні;

труба, тим більша тяга. На рис. 69, б показано схему створення тяги у каміні.

5. Застосування формули питомої теплоти згоряння палива для розв'язування задач. Знаючи питому теплоту згоряння палива, можна обчислити кількість теплоти Q , яка виділилась від згоряння будь-якої маси t палива:

$$Q = q \cdot t.$$

Застосовуючи одержану формулу, можна розрахувати потребу в паливі даного виду:

Задача. В опалювальному котлі спалили 5 т торфу. Якою масою кам'яного вугілля можна було б замінити торф, що згорів?

Дано:

$$m_T = 5\text{ т} = 5 \cdot 10^3 \text{ кг}$$

$m_{\text{к.в.}} = ?$

Розв'язання

Масу кам'яного вугілля визначаємо за формулою:

$$m_{\text{к.в.}} = Q_{\text{к.в.}}$$

За умовою задачі внаслідок згоряння кам'яного вугілля має виділитись така сама кількість теплоти, як і при згорянні торфу:

$$Q_{\text{к.в.}} = Q_T = q_T \cdot m_T, \text{ а } Q_{\text{к.в.}} = q_{\text{к.в.}} \cdot m_{\text{к.в.}}$$

Тоді $q_T m_T = q_{\text{к.в.}} \cdot m_{\text{к.в.}}$, звідки $m_{\text{к.в.}} = \frac{q_T m_T}{q_{\text{к.в.}}}$

З таблиці 6 знаходимо значення питомої теплоти згоряння торфу q_T і кам'яного вугілля $q_{\text{к.в.}}$:

$$q_T = 1,4 \cdot 10^7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}; \quad q_{\text{к.в.}} = 2,7 \cdot 10^7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

Перевіримо правильність одиниці шуканої величини за розрахунковою формулою:

$$[m] = \frac{\frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot \text{кг}}{\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}} = \text{кг}$$

Обчислення:

$$[m] = \frac{1,4 \cdot 10^7 \cdot 5 \cdot 10^3}{2,7 \cdot 10^7} \approx 2,6 \cdot 10^3 \text{ (кг)}$$

Відповідь: $m_{\text{к.в.}} \approx 2,6 \cdot 10^3 \text{ (кг)}$.

ПОГЛИБТЕ СВОЇ ЗНАННЯ

Що таке чадний газ і чому він є небезпечним для людини? У процесі горіння відбувається також реакція об'єднання одного атома Карбону з одним атомом Оксигену, внаслідок чого утворюється молекула так званого *чадного газу* CO: $C + O = CO$. Чадний газ – це небезпечна отрута, яка не має запаху. Його попадання в організм людини блокує процеси транспортування кисню та унеможливорює клітинне дихання. Основним джерелом чадного газу в атмосфері є лісові пожежі та викиди промислових підприємств, вихлопні газі автотранспорту. Утворюється чадний газ внаслідок неповного згоряння різних видів палива.

Від теорії до практики**Що таке мазут та дизельне пальне і де вони використовуються?**

Мазут та дизельне пальне є продуктами переробки нафти. Мазут застосовується у якості палива для котельних установок та промислових печей. Дизельне пальне (або солярка) використовується для залізничного, вантажного та водного транспорту, у сільськогосподарській техніці. Але для автомобільних двигунів треба використовувати високоякісне дизельне пальне, яке значно відрізняється від солярки.

Розширте науковий кругозір**Чому полум'я свічки жовтогаряче, а газової горілки – голубе?**

Відповідь на це запитання ви знайдете на рис. 70.



Рис. 70. Колір полум'я залежить від того, які речовини у ньому згоряють: а) газова горілка світиться голубим кольором, тому що у полум'ї газової горілки присутній чадний газ CO; б) жовтогарячий колір верхівки полум'я свічки обумовлений світінням частинок сажі, які піднімаються вгору потоком гарячого повітря (сажа – це мікрочастинки, які містять Карбон, що не встиг згоріти).

Подумайте і дайте відповідь

1. Чому паливо має величезне значення для сучасної цивілізації? Назвіть основні види палива.
2. На прикладі горіння метану поясніть, як у цьому процесі виділяється енергія.
3. Дайте означення процесу горіння. Які умови та основні характеристики процесу горіння?
4. Що називають теплотою згорання палива? питомою теплотою згорання палива? Яка одиниця питомої теплоти згорання палива?
5. Для чого у процесі горіння необхідно створювати і підтримувати тягу?
6. Запишіть формулу, за якою визначають кількість теплоти, що виділяється під час згорання палива.
7. Чому водень є найбільш економічно вигідним видом палива?

Розв'яжіть задачі та оцініть результати

Вправа 15.

1. Яка кількість теплоти виділяється при згоранні 1 кг сухих дров? природного газу?
- 2*. Яка енергія виділяється при повному згоранні паливної суміші, що складається з бензину об'ємом 1,5 л і спирту об'ємом 0,5 л? Густина бензину

$$0,7 \cdot 10^3 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}, \text{ густина спирту — } 0,8 \cdot 10^3 \frac{\text{кДж}}{\text{м}^3}.$$

3. Яку масу природного газу слід спалити, щоб нагріти 20 кг води від 14 °С до 50 °С, якщо вся теплота, що виділиться внаслідок згорання газу, витратиться на нагрівання води?
4. Якщо паливо згоряє в повітрі, то значна частина енергії, що виділяється, йде на нагрівання газів (переважно азоту), які не беруть участі в горінні. Коли буде досягнуто вищої температури полум'я – коли один і той самий газовий паливник горить у повітрі чи у кисні? Відповідь обґрунтуйте.

§ 16. ТЕПЛОВІ ДВИГУНИ. ПАРОВА МАШИНА

1. Що таке тепловий двигун.

Наймовірно великі обсяги теплової енергії, яку отримують нині (і ще більше зможуть отримувати у майбутньому), потрібно вміти перетворювати її в інші види енергії (механічну, електричну) з метою практичного застосування. Одним з таких застосувань є виконання за рахунок теплової енергії механічної роботи, зокрема, приведення у рух тих або інших механізмів, здійснення виробничих процесів та інше.

Тепловим двигуном називають пристрій, який здійснює механічну роботу за рахунок теплової енергії (енергії палива).

У теплових двигунах використовується властивість теплового розширення тіл.

► 2. Як можна виконати корисну роботу за рахунок енергії палива?

Щоб відповісти на це запитання, виконаємо дослід. Наллємо у пробірку невелику кількість води, щільно закриємо її пробкою і будемо нагрівати воду до кипіння за допомогою спиртівки (рис. 71, а). Зрозуміло, що у процесі нагрівання води у пробірці утвориться пара води. Внутрішня енергія пари буде збільшуватись і вона розширюватиметься, за рахунок чого підвищиться тиск. Як показує дослід, під тиском стисненої пари пробка вилетить з пробірки і підніметься вгору (рис. 71, б). Це означає, що за рахунок енергії палива можна виконати корисну роботу: привести

Для перетворення теплової енергії у механічну роботу використовують пристрої, у яких це перетворення здійснюється. Такі пристрої називають тепловими двигунами.

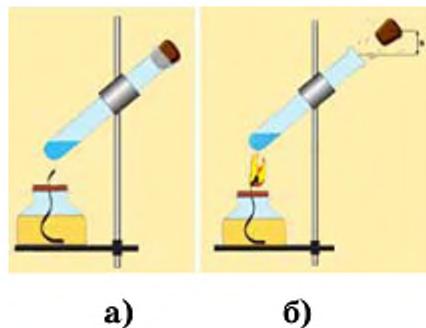


Рис. 71. а, б. За рахунок енергії палива пара води нагрівається (а) і виконує роботу по переміщенню пробки за рахунок своєї внутрішньої енергії (б)

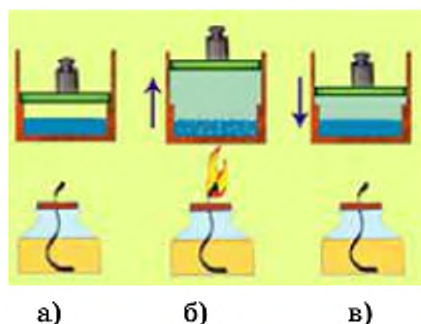


Рис. 72, а, б, в. Принцип дії теплового двигуна поршневого типу: стиснена пара нагрівається за рахунок енергії палива і виконує роботу над поршнем за рахунок зміни своєї внутрішньої енергії

пробку у рух та підняти її на деяку висоту.

Якщо ми замінимо в досліді пробірку на міцний металевий циліндр, а пробку – на щільно підігнаний поршень, який може рухатися всередині циліндра під дією сили тиску стисненої пари, то ми отримаємо пристрій, який і є *тепловим двигуном* (рис. 71, б). Дійсно, такий пристрій здійснює рух поршня (і вантажу на ньому), тобто виконує механічну роботу за рахунок енергії палива.

У тепловому двигуні енергія палива переходить у внутрішню енергію стисненої пари, яка розширюється, здійснює тиск на поршень і рухає його. Звичайно, в корисну роботу (піднімання поршня з вантажем) перетворюється не вся теплова енергія, яка виділяється при згорянні палива, а лише її частина.

Повернемося до дослідів (рис. 72). Якщо спиртівку прибрати і припинити нагрівання води, то пара почне остигати і з часом поршень опускатиметься (рис. 72, в). Проте він не зможе швидко повернутися у своє вихідне положення (рис. 72, а), оскільки температура пари навіть після остигання не одразу знизиться до початкового значення (адже частина теплової енергії перетворилася на внутрішню енергію поршня і стінок, які, в свою чергу обмінюватимуться енергією з паром). Тому для швидкого повернення поршня (і всього пристрою) у вихідний стан, його треба спеціально охолоджувати.

3. Принцип дії теплового двигуна. Розглянутий дослід дозволяє зрозуміти принцип дії теплового двигуна. Будь-який те-

пловий двигун, незалежно від його конструктивних особливостей, складається з трьох основних частини: робочого тіла, нагрівника і холодильника (рис. 73).

Робоче тіло – газ або пара – при розширенні виконує роботу, одержуючи від нагрівника деяку кількість теплоти Q_n . Температура нагрівника T_n при цьому залишається сталою за рахунок згоряння палива. При стисненні робоче тіло передає деяку кількість теплоти $Q_{хол}$ холодильнику – тілу зі сталою температурою $T_{хол}$, яка є нижчою за температуру нагрівника T_n .

Цілком очевидно, що для виконання корисної роботи ($A > 0$), необхідно, щоб температура нагрівника була вищою за температуру холодильника:

$$A = T_n - T_{хол} > 0,$$

отже,

$$A = Q_n - Q_{хол} > 0.$$

Холодильником може слугувати оточуюче середовище (наприклад, у двигунах внутрішнього згоряння).

У тепловому двигуні на механічну роботу перетворюється лише частина енергії, яку робоче тіло отримує від нагрівника: частина енергії передається холодильнику, а частина витрачається на виконання роботи проти сил тертя та на інші процеси.

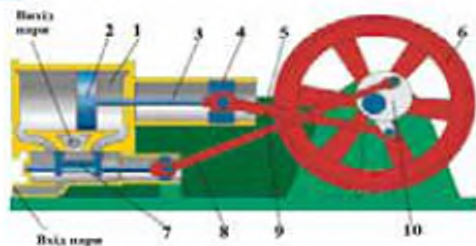
Газ у тепловому двигуні не може розширюватись необмежено, оскільки пристрій має скінчені розміри. Тому теплові двигуни конструюються таким чином, щоб після розширення газ стискувався до початкового об'єму. А це означає, що тепловий двигун працює циклічно: протягом циклу



Рис. 73. Принцип дії теплового двигуна: робоче тіло отримує енергію від нагрівника, здійснює роботу і повертається у вихідний стан, віддаючи деяку кількість теплоти у холодильник



а)



б)

Рис. 74. Винахід парової машини надав потужного поштовху розвитку техніки на межі XVII і XVIII століть: а) схема парової машини; б) парова машина Уатта

після розширення відбувається стиснення газу.

Реальні теплові двигуни працюють по *розімкненому циклу*: після розширення газ викидається з пристрою, і стискується нова порція газу.

Умова виконання двигуном корисної роботи: температура газу при його стисненні має бути нижчою, ніж при розширенні. Тоді тиск газу при стисненні буде менший, ніж при розширенні, що і забезпечить виконання корисної роботи.

Теплові двигуни ще називають тепловими машинами, оскільки в них здійснюється перетворення теплової енергії у механічну енергію за рахунок виконання роботи. Але конструкція теплової машини передбачає наявність крім теплового двигуна ще й з'єданого з ним передавального механізму, який буде передавати дію на тіло, що приводиться у рух.

4. Парова машина. Перша універсальна парова машина (рис. 73, а) була побудована у 1784 р. англійським винахідником Джеймом Уаттом (1736 – 1819 рр.). Ознайомимося з конструкцією та принципом дії теплової машини (рис. 73, б). Деталі пристрою закріплені на станині 5. Основною частиною парової машини є циліндр 1 з поршнем 2, який рухається під дією пари. Водяна пара утворюється, нагрівається і стискується в окремому котлі за рахунок енергії палива і впускається у парову машину (вхід пари). За допомогою паророзподільного механізму, основною частиною якого є перемикач-золотник 7 (який перемикається за допомогою важеля

8), водяна пара регульовано подається всередину циліндра то з одного, то з іншого боків поршня. Внаслідок цього з різних боків поршня створюється різниця тисків, поршень зі штоком 3 під дією пари рухається туди й назад і діє на колінчастий вал 10 через кривошипно-шатунний механізм (4, 8, 9), що обертає маховик (колесо) 6 або виконує іншу механічну роботу.

Відпрацьований пар найпростіше за все випускати в атмосферу (вихід пари), але це не вигідно, оскільки пара ще має запас теплової енергії. Для підвищення ефективності теплової машини Уатт використав так званий конденсатор – посудину, яка охолоджувалася водою. Відпрацьована пара випускалася у конденсатор, охолоджувалася, конденсувалася (перетворювалася на воду) і подавалася назад в паровий котел. Таким чином працювала замкнена система «котел – парова машина», у якій хімічна енергія палива перетворювалася спочатку на теплову енергію водяної пари, а потім – на механічну енергію обертання вала.

Із створенням першої універсальної парової машини Уатта, почався перехід до машинного способу виробництва. Парові двигуни ставили на візки (для перевезення артилерійських гармат, людей, різноманітних вантажів тощо) і морські судна, залучали до виконання механічних робіт на металургійних заводах, шахтах, ткацьких фабриках. Поява і успішний розвиток залізничного транспорту теж обумовлені застосуванням парової машини – паровоза. З парових машин почина-



а)



б)



в)



г)

Рис. 75. З парових машин починалося автомобілебудування, а також розвиток морського та річкового транспорту:

лося автомобілебудування (рис. 75, а, б, в), а також розвиток морського та річкового транспорту (рис. 75, г). Теплові двигуни відіграли визначальну в історії людства і зберігають своє величезне значення і сьогодні. Значною перевагою парових машин є можливість використання практично будь-якого палива. Про те, що винайдення парової машини стало початком небаченого до того технічного прогресу, свідчить надпис на пам'ятнику Уатту: «Збільшив владу людини над природою».

а) найстаріша у світі парова машина – «паровий віз» (розвивав швидкість $4 \frac{\text{км}}{\text{год}}$); б) паровий омнібус (працював на двох парових двигунах і розвивав швидкість $40 \frac{\text{км}}{\text{год}}$); в) перший легковий автомобіль класу «люкс», який працює і сьогодні (досягає швидкості $60 \frac{\text{км}}{\text{год}}$); г) найстаріший у світі діючий пароплав «Skibladner» (перевозить туристів, пошту і вантажі по озеру Мьйоса у Норвегії).

5. Коефіцієнт корисної дії теплового двигуна. Головним показником ефективності роботи теплового двигуна є співвідношення між кількістю теплоти, що передається робочому тілу, та тією її частиною, яка витрачається на виконання корисної роботи. Для оцінки цього співвідношення вводиться фізична величина, яка називається *коефіцієнтом корисної дії теплового двигуна* (ККД теплового двигуна). ККД позначають літерою η і визначають за формулою:

$$\eta = \frac{A}{Q_n} \cdot 100\%$$

де A – корисна робота, яку виконує тепловий двигун;

Q_n – кількість теплоти, отриманої робочим тілом від нагрівника в результаті згоряння палива.

Оскільки A менше за Q , то ККД теплового двигуна завжди менше 100% (або менше одиниці). Треба зазначити, що ККД перших парових машин дорівнював лише декільком відсоткам, зокрема, ККД парової машини Уатта складав 3–4%. У процесі удосконалення теплових машин їх ККД поступово підвищувався. Нинішні теплові двигуни мають ККД 34–44% і більше.

Незважаючи на високий рівень розвитку сучасної техніки, ККД теплових двигунів не досягають великих значень. З чим це пов'язане? Справа в тому, що повне перетворення теплової енергії в механічну неможливе, оскільки завжди мають місце певні витрати, зумовлені

такими факторами:

- не повним згорянням палива;
- тертям між конструктивними елементами парового двигуна;
- розсіюванням теплової енергії;
- охолодженням двигуна;
- вихлопними газами.

Підготуйте повідомлення

Історія винайдення і удосконалення парових машин. Вплив парових машин на розвиток науково-технічного прогресу.

Із історії фізики: вчені і факти



Джеймс Уатт
(1736 – 1819)

Джеймс Уатт – видатний англійський інженер і винахідник. Свою винахідницьку діяльність розпочав з роботи механіком у майстерні по виготовленню і ремонту точних приладів. З 1769 року займався удосконаленням теплових двигунів. У 1774 році побудував теплову машину, яка майже вдвічі перебільшувала ефективність наявних на той час теплових машин, зокрема, Томаса Ньюкомена (1663 – 1729 рр.). У 1774 році отримав патент на універсальний тепловий двигун. Звдяки його економічності, цей двигун набув повсюдного використання. Уатт увів поняття «кінська сила», щоб показати, роботу скількох коней здатні замінити його парові машини.

Подумайте і дайте відповідь

1. Поясніть механізм виконання механічної роботи за рахунок енергії палива.
2. Що називають тепловою машиною? тепловим двигуном?
3. З яких основних частин складається будь-який тепловий двигун, незалежно від його конструктивних особливостей?
4. Поясніть принцип дії теплового двигуна. Чим зумовлена циклічна робота двигуна?
5. Що є умовою виконання двигуном корисної роботи?
6. За якою формулою визначається коефіцієнт корисної дії теплового двигуна? Чому він завжди менший за одиницю?
7. Назвіть ім'я винахідника парової машини.

Розв'яжіть задачі та оцініть результати

Вправа 16.

1. Чому температура охолоджувача має бути нижчою за температуру нагрівника?
2. Доведіть, що потужність поршневих теплових двигунів залежить від максимального тиску газу в циліндрі і діаметра поршня.
3. Використавши 1 т кам'яного вугілля парова машина виконала роботу $10,8 \cdot 10^6$ кДж. Визначте ККД парової машини.
4. Скільки дров треба спалити, щоб парова машина виконала ту саму роботу й при тому самому ККД, що й за умовою попередньої задачі?
5. Парова машина потужністю 14,7 кВт споживає за годину роботи 8,1 кг палива з питомою теплотою згоряння $3,4 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$. Температура парового

котла 200°C , а холодильника 58°C . Визначте ККД цієї парової машини. На якому паливі працювала машина?

§ 17. ДВИГУН ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

1. Двигун внутрішнього згоряння – один з найпоширеніших теплових двигунів. Уперше двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ), який випускався серійно, був побудований у 1859 р. французьким механіком Жаном Ленуаром (1822–1900 рр.). Свою назву цей двигун отримав тому, що паливо в ньому спалюється не ззовні, а всередині циліндра двигуна. З часом ідея спалювання палива безпосередньо всередині циліндра з поршнем знайшла своє втілення у винайденні *чотирьохтактного двигуна внутрішнього згоряння*. Такий двигун був сконструйований німецьким винахідником Ніколаусом Отто (1832–1891рр.) у 1878 р. Двигун внутрішнього згоряння такого типу став найбільш поширеним у світі тепловим двигуном (рис. 76, а, б).

Двигуни внутрішнього згоряння встановлюють на автомобілях і літаках, мотоциклах, річкових і морських судах, тракторах тощо. У світі нараховуються сотні мільйонів таких двигунів. Існують два типи двигунів внутрішнього згоряння – карбюраторний (бензиновий) та дизельний.

2. Принцип дії чотиритактного двигуна внутрішнього згоряння. Основною частиною двигуна внутрішнього згоряння є один або декілька циліндрів, у яких відбувається згоряння палива.

Всередині циліндра рухається поршень, забезпечений металевим стержнем, який з'єднує поршень з шатуном (рис. 76). Ша-



а)



б)

Рис. 76. Двигуни внутрішнього згоряння широко використовуються в різних транспортних засобах, зокрема, в автомобілях: а) зовнішній вигляд двигуна внутрішнього згоряння; б) двигун внутрішнього згоряння розміщується зазвичай у передній частині автомобіля під капотом, у деяких автомобілях передбачено розміщення двигуна у задній частині (вентилятор призначений для охолодження двигуна)

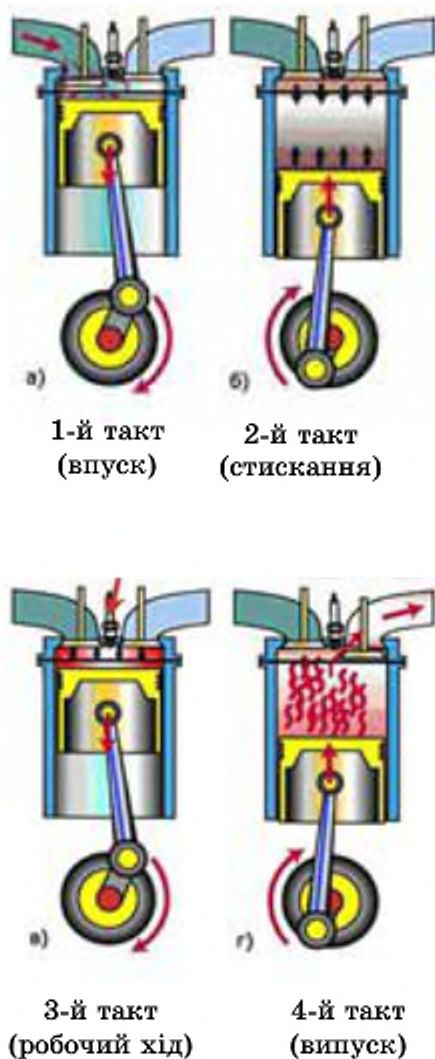


Рис. 77. Схема чотиритактного циклу роботи двигуна внутрішнього згорання

тун передає рух поршня на колінчастий вал. Верхня частина циліндра з'єднана з двома клапанами. Через один з них – впускний – подається паливна суміш, через другий – випускний – видаляються продукти згорання. Між клапанами розміщена свічка – пристрій для запалення паливної суміші через електричну іскру.

Найбільшого поширення у техніці набув чотиритактний двигун внутрішнього згорання. Його робота – це неперервна сукупність так званих робочих циклів, які послідовно і неперервно слідуєть один за одним. Кожний робочий цикл складається із чотирьох взаємозв'язаних техніко-технологічних процесів (тактів).

1-й такт – впуск суміші. Впускний клапан відкривається. Поршень, рухаючись вниз, всмоктує паливну суміш (рис. 77, а).

2-й такт – стискування суміші. Впускний клапан закривається. Поршень, рухаючись вгору, стискає паливну суміш, яка при цьому нагрівається (рис. 77, б).

3-й такт – робочий хід. Суміш запалюється від електричною іскрою від свічки. Сила тиску газів (розжарених продуктів згорання) рухає поршень вниз. Рух поршня передається на колінчастий вал, вал обертається і виконується корисна робота. У процесі виконання роботи і розширення продукти згорання охолоджуються і тиск в циліндрі знижується майже до атмосферного (рис. 76, в).

4-й такт – випуск (вихлоп). Відкривається випускний клапан. Відпрацьовані продукти згоряння через глушник викидаються в атмосферу. Поршень повертається у вихідний стан (рис. 76, г).

Цілком очевидно, що з чотирьох тактів роботи теплового двигуна внутрішнього згоряння лише один (третій) такт є робочим, тому колінчастий вал обертається нерівномірно. З урахуванням цього, одноциліндровий двигун забезпечують масивним маховиком (він запасав енергію), за рахунок якого колінчастий вал рухається впродовж решта тактів. Одноциліндрові двигуни встановлюються в основному на мотоциклах. На автомобілях, тракторах, судах встановлюють два, чотири, шість або вісім циліндрів (є навіть десяти-, і дванадцятициліндрові двигуни). У багатоциліндровому двигуні (рис. 78, д, е) робочих ходів буде стільки, скільки є циліндрів, і вони не співпадають один з одним. Внаслідок цього обертання колінчастого валу є більш рівномірним (плавним).

Двигуни внутрішнього згоряння мають значні переваги порівняно з паровими машинами: їх ККД є майже в 10 разів вищим від ККД парової машини, а потужність в сотні разів перевищує потужність навіть найбільш потужних парових машин.



г)



д)

Рис. 78. У багатоциліндровому двигуні забезпечується майже постійну дія на передавальний механізм (наприклад, на карданний вал, що через спеціальні пристрої передає рух від двигуна до коробки передач та до коліс автомобіля): д) шестициліндровий дизельний двигун – один з найкращих двигунів BMW; е) восьмициліндровий двигун, встановлюється на гоночних автомобілях

Подумайте і дайте відповідь

1. Які двигуни називають двигунами внутрішнього згорання?
2. Що є основною частиною двигуна внутрішнього згорання?
3. Поясніть принцип дії двигуна внутрішнього згорання.
4. Назвіть основні такти робочого циклу двигуна внутрішнього згорання.
5. З якою метою двигун внутрішнього згорання забезпечується маховиком?
6. Які переваги багатоциліндрових двигунів внутрішнього згорання?

Розв'яжіть задачі та оцініть результати

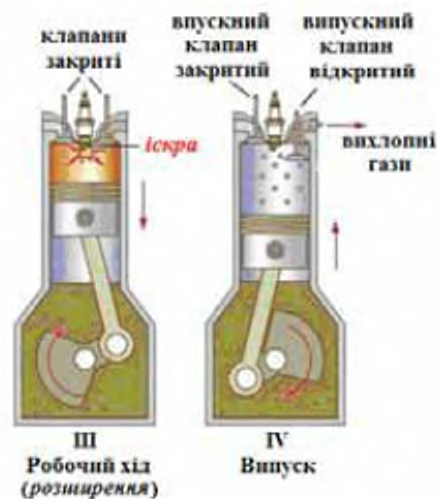
Вправа 17.

1. Коефіцієнт корисної дії теплового двигуна дорівнює 32%. Поясніть, що означає це число. Яка робота теплового двигуна є корисною?
2. Чому при згорянні паливної суміші тиск у циліндрі двигуна сильно зростає?
3. Чи можна використовувати двигун внутрішнього згорання на підводному човні, який перебуває у підводному режимі плавання?
4. Яку роботу можна виконати, якщо у двигуні з ККД 20% витратити 0,5 кг бензину?
5. Двигун внутрішнього згорання витрачає за 1 год 25,3 кг нафти. ККД двигуна 25%. Визначте потужність двигуна.

§ 18. ВИДИ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

1. Карбюраторні (бензинові) та дизельні двигуни. Залежно від способу приготування та запалення паливної суміші, чотиритактні двигуни внутрішнього згоряння поділяють на два види: *карбюраторні* (бензинові) та *дизельні*. Схема чотиритактного циклу роботи карбюраторного (а) та дизельного (б) двигунів подана на рис. 79.

Карбюраторний (бензиновий) двигун працює на суміші палива і повітря. Свою назву він отримав від наявного в ньому пристрою – карбюратора. *Карбюратор – від французького слова carburation – утворення суміші. У якості палива в таких двигунах можна використовувати спирт, зріджений газ пропан-бутан, гас. Але найбільш поширеними видами палива для карбюраторних двигунів є бензин і газ.* В карбюраторі бензин (або інше паливо) змішується з повітрям, яке захоплюється з атмосфери. Готова до спалення суміш подається безпосередньо у циліндр через впускний клапан (такт–впуск). На початку руху поршня вгору, впускний клапан закривається і надалі відбувається стиснення паливної суміші (такт–стиск). Максимально стиснена суміш (у верхньому крайньому положення поршня) запалюється *електричної іскрою*, яку в цей момент утворюють за допомогою окремого пристрою. Відбувається запалення і згоряння палива, а газоподібні продукти згоряння, розширюючись, штовхають поршень вниз (такт–робочий хід). При подальшому русі



(а)

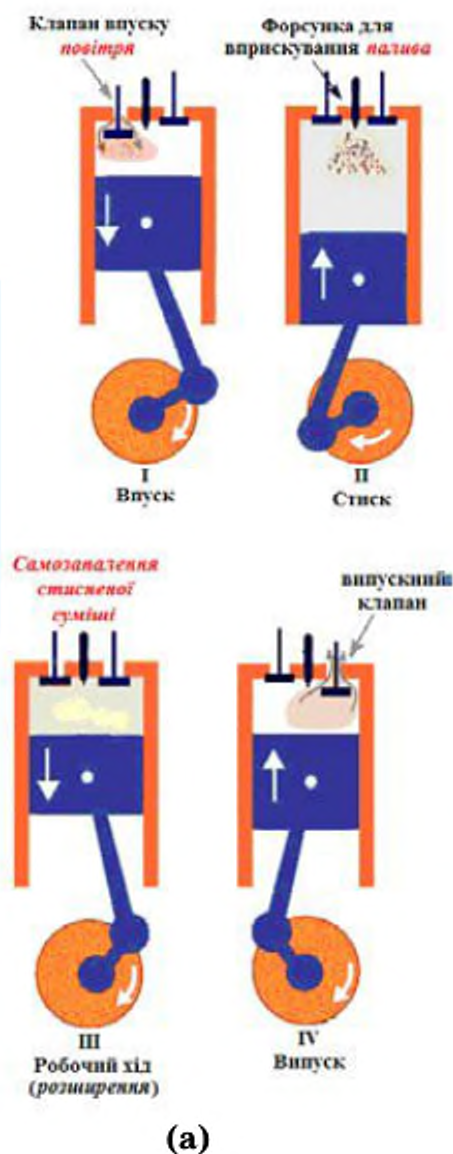


Рис. 79. Схема чотирьохтактного циклу роботи карбюраторного (а) та дизельного (б) двигунів

поршня вгору відкривається випускний клапан і відпрацьований газ виштовхується з циліндра (такт-випуск). При досягненні поршнем крайнього верхнього положення випускний клапан закривається і двигун готовий до початку нового циклу (впуск — стиск — робочий хід — випуск). Карбюраторні двигуни встановлюються в основному на транспортних засобах: легкових автомобілях, мотоциклах, катерах, моторних човнах. Карбюраторні двигуни мають ККД від 21% до 28%.

Перший дизельний двигун був побудований у 1897 р. німецьким ученим Рудольфом Дизелем (1858 – 1913 рр.), на честь якого він і одержав свою назву. Дизельний двигун може працювати на гасі, мазуті, солярці. У дизельному двигуні приготування і запалення паливної суміші здійснюється іншим чином, оскільки у ньому відсутній карбюратор. Захоплене з атмосфери повітря подається в циліндр (такт – впуск) та стискається (такт-стиск). І лише в момент максимального стиснення повітря (при крайньому верхньому положенні поршня) у нього вприскують паливо (солярку), яке змішується зі стисненим повітрям і самоzapalюється. Далі здійснюється робочий хід поршня вниз (такт – робочий хід), а за ним – виштовхування відпрацьованих продуктів згоряння поршнем при його русі вгору (такт – випуск).

У попередні роки дизельні двигуни використовувалися в основному для залізничного транспорту, вантажного автотранспорту, військової та сільськогосподарської техніки. Останнім часом набув

поширення й легковий дизельний автотранспорт, для якого у якості палива використовується солярка.

ККД дизельних двигунів лежить в межах від 29% до 44%.

2. Що таке об'єм двигуна? Це одна з найважливіших характеристик автомобіля. Об'єм двигуна визначається сумою об'ємів усіх його циліндрів і вимірюється зазвичай у літрах. Чим більший об'єм двигуна, тим більше палива у нього вміщується, а, отже, більшими є витрати палива. Але одночасно з цим більшою є потужність двигуна, тому що більша кількість палива при згорянні виділяє більше енергії. Відповідно, у цьому випадку автомобіль може розвивати більшу швидкість. Але вихлопних газів з такого двигуна виходить теж більше – отже, погіршується екологічна ситуація. За об'ємом двигуна автомобілі розділяються на малолітражні (1,2 л – 1,7 л); середньолітражні (1,8 л – 3,5 л); великолітражні (понад 3,5 л).

Фізичне знання в техніці

Як удосконалюють двигуни внутрішнього згорання? За більш ніж 100-річну історію використання на автомобілях двигунів внутрішнього згорання вони не зазнали особливих змін. Але поряд з перевагами такі двигуни мають і багато недоліків. Крім того, постійні паливні кризи у світі змушують автомобільні компанії шукати альтернативні види палива. Тому спроби удосконалення двигунів внутрішнього згорання не припиняються і сьогодні. Які з ідей є найбільш цікавими? Зокрема, ідея про використання Гідрогену у якості пального. Порівняно з іншими видами палива, Гідроген має багато переваг – це висока теплота згорання, хороша запалюваність, нешкідливість відпрацьованих газів. У двигунів на Гідрогені значно покращуються експлуатаційні умови (зокрема, межі температур), забезпечується повнота згорання палива, підвищується ККД.

Подумайте і дайте відповідь

1. У чому полягає відмінність між карбюраторними (бензиновими) та дизельними двигунами?
2. У яких двигунів внутрішнього згорання ККД є більшим: карбюраторних або дизельних? Як це можна пояснити?
3. Де використовуються карбюраторні двигуни? дизельні двигуни?
4. Як визначається об'єм двигуна автомобіля?

Розв'яжіть задачі та оцініть результати

Вправа 18.

1. Що спільного і в чому полягає відмінність у роботі карбюраторного і дизельного двигунів внутрішнього згорання?
2. Поясніть, як впливає неповне згорання палива у двигуні внутрішнього згорання на його ККД? на оточуюче середовище?
3. Чому норми витрат бензину для міських автобусів, які часто зупиняються, збільшені порівняно із звичайними нормами для такого виду транспортних засобів?
4. Двигун потужністю 7355 Вт споживає за годину 2,8 кг бензину. Визначте коефіцієнт корисної дії цього двигуна.
5. Визначте середню потужність, яку розвиває двигун автомобіля, якщо на подолання шляху 10 км він витрачає 1,5 кг бензину при середній швидкості $30 \frac{\text{км}}{\text{год}}$.

Домашні експериментальні завдання

1. Ознайомтеся із зовнішнім виглядом та розташуванням в автомобілі (будь-якому) двигуна внутрішнього згорання. Дізнайтеся, який це двигун: карбюраторний чи дизельний. Скільки циліндрів він має? На якому пальному працює? Який об'єм двигуна автомобіля? У робочому зошиті виконайте рисунок розташування двигуна під капотом автомобіля та запишіть характеристики двигуна.
2. Встановіть, скільки пального за годину споживає двигун, який ви досліджуєте. Користуючись відомостями про технічні характеристики автомобіля, визначте потужність двигуна. Розрахуйте ККД двигуна. Результати досліджень опишіть у робочому зошиті. Зробіть висновки щодо економічної ефективності досліджуваного двигуна.

§ 19. ПАРОВА ТУРБІНА. ГАЗОТУРБІННИЙ ТЕПЛОВИЙ ДВИГУН

1. Турбіни – основний рушійний елемент на сучасних теплових електростанціях. У розглянутих вище теплових машинах (паровій машині, карбюраторному і дизельному двигунах) поршень приводиться у рух за рахунок тиску на нього пальної суміші, який створюється внаслідок її згоряння і розширення. Проте є теплові двигуни іншого типу, які перетворюють теплову енергію у механічну і виконують роботу без поршня. До таких теплових двигунів відносять *теплові турбіни*. *Турбіна* – від латинського слова *turbo* – *вихор, обертання з великою швидкістю*).

Турбінами називають теплові двигуни, у яких приведення механізмів у рух здійснюється за рахунок сили струменя рідини, пари або газу. Залежно від робочого тіла розрізняють парові (пара) та газові (газ) турбіни.

Розглянемо такий дослід (рис. 80, а). У закритій посудині нагрівають воду. За рахунок енергії палива внутрішня енергія води зростає і вона кипить та випаровується. Пара, вириваючись з трубки у кришці посудини, за рахунок своєї внутрішньої енергії здійснює дію на лопатки колеса і приводить його у рух.

Цей дослід показує, як можна виконати роботу по обертанню колеса за рахунок енергії згоряння палива. Залежно від робочого тіла (пари або газу) розрізняють *парові і газові турбіни*. На сучасних теплових



Рис. 80, а. Модель дії турбіни: енергія палива перетворюється на механічний (обертальний) рух колеса



Рис. 80, б. Будова та принцип дії парової турбіни



а)



б)

Рис. 81. Сучасні парові турбіни використовуються у різних галузях промисловості: у багатоступінчатих турбінах розширення пари відбувається у ряді послідовно розташованих ступенів: б) монтаж парової турбіни

електростанціях турбіни набули широкого використання, оскільки вони є економічними і розвивають значні потужності.

2. Парова турбіна. Парова турбіна (рис. 80, б) складається із залізного циліндра, всередині якого знаходиться вал $\bar{5}$ із закріпленим на ньому масивним диском – робочим колесом $\bar{4}$. На колесі закріплені лопатки $\bar{2}$ (вони призначені для переміщення потоків пари або газу). Нагріта і стиснена пара (утворена в спеціальному паровому котлі) витікає із сопла $\bar{1}$, в якому вона розширюється. Під час розширення пари її об'єм збільшується, а внутрішня енергія зменшується і йде на збільшення кінетичної енергії струмини пари. Тому струмина пари з великою швидкістю вдаряється в лопатки диска турбіни, передає їм свою енергію, за рахунок чого турбіна починає обертатися.

У сучасних турбінах застосовують не один, а кілька дисків з лопатками, закріпленими на спільному валу (рис. 81, а, б). Пара послідовно проходить через лопатки всіх дисків, віддаючи кожному з них частину своєї енергії. Диски об'єднують у групи (ступені). Відпрацьована у першому ступені турбіни пара через паропровід та сопло спрямовується на лопатки дисків наступного ступеня турбіни і т. д.

Відпрацьовану на парових турбінах гарячу пароводяну суміш використовують для виконання окремих виробничих потреб, опалювання житлових приміщень, охолоджують і повертають у парові котли для утворення наступної порції робочої пари.

3. Газотурбінний тепловий двигун. Газова турбіна працює на тому самому принципі, що й теплова, але має певні конструктивні особливості (рис. 81, а). Зокрема, газова турбіна забезпечена компресором, який слугує для підвищення тиску повітря і складається з декількох ступенів, які приводяться у рух турбіною компресора. Газотурбінний двигун – це різновид двигуна внутрішнього згорання, у якому енергія нагрітого і стисненого повітря перетворюється на механічну роботу обертання вала, який приводить у дію певний механізм.

Як працює газотурбінний двигун? Компресор усмоктує повітря з атмосфери, стискає його і нагнітає у камеру згорання, куди подається й паливо. За рахунок цього у камері згорання утворюється паливна суміш, яка виділяє енергію у процесі згорання. Далі струмина вихідних газів під великим тиском поступає на лопатки робочої турбіни і починає їх обертати. Робоча турбіна з'єднана з привідним валом, який приводить у рух певний механізм.

Частина енергії, отриманої від згорання паливної суміші витрачається на стиснення повітря для наступної подачі у компресор, а інша йде на привідний вал (це і є корисна робота газотурбінного двигуна). Перевагою газотурбінного двигуна є те, що для нього не потрібно створювати потужних парових котлів і паропроводів, оскільки паливна суміш утворюється в самому двигуні — у камері згорання. Крім того, гази, які відпрацювали в турбіні, випускаються в атмосферу, а, отже, не потрібні пристрої для охолодження.

Парові турбіни є незамінними тепловими двигунами на теплових електростанціях, на транспортних і технологічних машинах великої потужності (морських суднах та ін.). Сучасні багатоступінчасті турбіни розвивають потужність від 5 кВт до 100 МВт і, відповідно, мають ККД від 20% до 87%. У якості палива для парових турбін використовують вугілля та мазут.

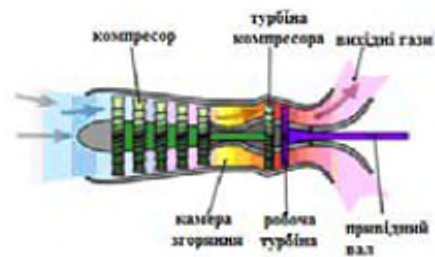


Рис. 82. а) схема газотурбінного двигуна:



б)



в)



г)

Рис. 82. Газотурбінні двигуни перевершують за своїми технічними показниками традиційні теплові двигуни, вони є високотехнологічними і надійними, а також працюють у будь-яких кліматичних умовах: а) схема газотурбінного двигуна; б) авіаційний газотурбінний двигун; в) монтаж промислової газотурбінної установки; г) газотурбінний

Паливом для газотурбінного двигуна може бути газ, бензин, мазут, природний газ, дизельне паливо, спирт, дрібне вугілля. Газотурбінні теплові двигуни знаходять широкого застосування на морських судах, залізничних потягах, гвинтокрилах, у танках і літаках (рис. 82, б), у різних галузях промисловості (рис. 82, в, г).

Промислові газотурбінні двигуни розвивають потужність від 2, 5 МВт до 110 МВт. Їх експлуатація показала, що ККД таких двигунів при ефективному використанні теплової енергії і удосконаленні основних елементів конструкції досягає 42% – 45%.

Сьогодні газотурбінні двигуни успішно використовуються в автомобільній промисловості. Основна причина, яка стримує виготовлення автомобільних газотурбінних двигунів полягає у необхідності штучно обмежувати температуру газів, які поступають на лопатки турбіни. Це пов'язане із нездатністю матеріалів, з яких виготовляється двигун (нікель, сталь, кераміка), витримувати великі тиски і температури. Тому сьогодні зусилля інженерів спрямовані на знаходження шляхів ефективного відведення тепла від газової турбіни з подальшим його використанням.

Закінчуючи ознайомленнями з такими видами теплових двигунів, як парові і газові турбіни, слід відзначити, що без них сьогодні важко уявити майже всі галузі промисловості і народного господарства. Вони широко використовуються в енергетиці (ТЕЦ, ТЕС, ДРЕС), в металургії, у

целюлозно-паперовій промисловості. Особлива їх роль у сфері житлово-комунального господарства (ЖКГ) – у котельних, а також на підприємствах, які мають дешеву паливну сировину (відходи деревини, лузга підсолнухів). Газові турбіни застосовуються також на нафтових та газових родовищах для одержання електричної енергії та гарячої води за рахунок використання газів, які відпрацювали у турбіні.

двигун українського Науково-промислового комплексу газотурбобудування «Зоря – Машпроект» (м. Миколаїв).

Подумайте і дайте відповідь

1. Які теплові двигуни називають турбінами?
2. Поясніть механізм перетворення теплової енергії на механічну в паровій турбіні.
3. Що таке газотурбінний тепловий двигун?
4. Які переваги газотурбінного двигуна порівняно з паровою турбіною? Де використовують газотурбінні парові двигуни?

Розв'яжіть задачі та оцініть результати

Вправа 19.

1. Яким видом енергії є енергія пари, яка діє на лопатки турбіни?
2. Поясніть, для чого парові (газові) турбіни виготовляють багатоступінчатиими.
3. Для збільшення потужності парових турбін необхідно підвищувати температуру пари та її тиск. Яка енергія молекул пари (кінетична або потенціальна) переважно збільшується при підвищенні температури? при підвищенні тиску?
4. Чим відрізняються між собою процеси перетворення внутрішньої енергії палива на механічну енергію у поршневих та турбінних теплових двигунах?
5. У паровій турбіні для одержання пари з температурою 250 °С спалюють дизельне паливо масою 0,35 кг. При цьому пара виконує роботу 1 кВт·год. Температура холодильника 30 °С. Обчисліть ККД турбіни.

§ 20. ТЕПЛОВІ ДВИГУНИ ТА ЇХ ВПЛИВ НА ЗАБРУДНЕННЯ ОТОЧУЮЧОГО СЕРЕДОВИЩА

Наближений вміст шкідливих речовин в атмосфері великих міст України складає:

- CO (чадний газ) – 45%,
- SO₂ – 18%,
- C₂₀ H₁₂ – 15%,
- NO – 10% ,
- пил – 12%.

Для спалювання 1 кг твердого палива у зону горіння подається до 25 кг атмосферного повітря!

Найбільша небезпека полягає у тому, що шкідливі речовини не зникають безслідно, вони розсіюються у повітрі і переносяться його рухомими потоками на значні відстані, внаслідок чого збільшуються площі забруднених зон.

1. Сучасний стан атмосфери у великих містах України. Оточуюче середовище – основа життя людини. В Україні основне забруднення атмосфери створюють ряд галузей промисловості, теплоенергетика та автотранспорт, при цьому на долю теплоенергетики приходить 30% від загального забруднення, автотранспорту – 40%. Найбільш поширені токсичні речовини, які забруднюють атмосферу – це тверді частинки (пил, зола), оксид карбону CO, діоксид сірки SO₂ (сірчаний газ), оксиди азоту NO, N₂O, NO₂, N₂O₃, бензопірен C₂₀H₁₂.

Сучасний стан атмосфери у великих містах України є загрозливим, що пов'язане з високими темпами зростання промислового виробництва, вироблення і споживання електричної енергії, випуску та використання транспортних засобів. Очевидно, що енергетичні ресурси та енергія, яка з них виробляється, є основою сучасної цивілізації. Без енергетики у людства немає майбутнього. Але сучасна енергетика наносить відчутну шкоду оточуючому середовищу та погіршує умови життя і роботи людей.

Найбільш інтенсивно впливають на біосферу паливно-енергетичний комплекс (рис. 81, а), окремі об'єкти теплоенергетики (теплоелектроцентралі, котельні) та будь-які виробництва, робота яких пов'язана із спалюванням палива (вугілля,

нафти, природного газу). Крім того, використання вугілля супроводжується задіянням великих ділянок землі для його видобування і розміщення відходів, так званих «териконів» (рис. 81, б). У склад димових газів від згоряння палива входять діоксид карбону, вуглекислий газ, сірчаний газ, оксиди азоту, бензопірен, окисли металів, сполуки фтору, газоподібні продукти неповного згоряння палива. Попадання таких речовин у повітряне середовище наносить шкоди усій біосфері. Кожного з нас безпосередньо стосується проблема забруднення повітря від котелень, якими опалюються житлові будинки. Що ми одержуємо через димові труби котелень? Той самий набір: золу, пил, вуглекислий газ, сірчаний газ, чадний газ. І це відбувається кожного дня!

Ще одною нашою загальною бідю є нові технології утилізації сміття. Уже зараз його масово спалюють у котельнях, особливо у Києві та інших великих містах. Викиди чадного газу, важких металів та інших канцерогенних речовин (це речовини, які викликають захворювання на рак) при спалюванні побутового сміття значно перебільшують викиди від спалювання палива, що абсолютно неприпустимо у місцях масового проживання людей!

До яких наслідків призводить забруднення навколишнього середовища? Скорочуються території проживання живих істот; внаслідок забруднення атмосфери утворюється парниковий ефект (підвищується температура середовища); забруднення однієї території на нашій планеті



а)



б)



в)



г)

Рис. 83. Неперервна діяльність людини в напрямі розвитку різних благ цивілізації приводить до забруднення навколишнього середовища – атмосфери, гідросфери, літосфери і біосфери: а) викиди в атмосферу теплових електростанцій наносить непоправної шкоди усій екосистемі Землі; б) насипи відходів від згоряння палива – терикони – забруднюють прилеглі території; в) викиди від автотранспорту чинять вплив на пішоходів, мешканців найближчих до автошляхів будинків, рослини; г) при спалюванні авіаційного палива літаки викидають в атмосферу вуглекислий газ, ацетилен, метан, бензол та інші шкідливі речовини

призводить до забруднення сусідніх внаслідок міграції забруднень через повітря та ґрунтові води.

2. Транспортні засоби – серйозна загроза для екологічного стану середовища. Відомо, що автомобіль – не розкіш, а засіб пересування. Без автомобілів існування людства неможливо. Але саме автомобільний транспорт сьогодні став найбільш несприятливим екологічним фактором в охороні здоров'я людини та природного середовища у містах. Внесок автомобілів у забруднення оточуючого середовища складає 60 – 90%.

За оцінками фахівців, щорічні автомобільні викиди в Україні досягають 40 млн. т, серед яких 2, 5 млн. т оксиду карбону, близько 1 млн. т оксидів азоту, 20 млн. т вуглекислого газу, 10 млн. т чадного газу. Концентрації шкідливих речовин у більшості великих міст України перебільшують припустимі норми.

Сьогодні йде боротьба з автомобільною небезпекою. Конструюються фільтри, розробляються нові види палива, які містять меншу кількість свинцю. Але це пов'язане з технічними проблемами. І, навіть, якщо усунути викиди в атмосферу свинцю, все одно залишаться чадний і угарний газ, бензопірен, оксиди азоту тощо. А крім наземного транспорту є ще й водний та авіаційний, які теж працюють на двигунах внутрішнього згоряння і вносять свій негативний внесок у погіршення екологічного стану середовища (рис. 81, г).

3. Які фактори навколишнього середовища особливо небезпечні для здоров'я

людини? Шкідливу дію на організм чинить *свинець* і його сполуки. У крові людини свинець знижує активність ферментів, порушує обмінні процеси в організмі. Дуже токсичною речовиною є *ртуть*. При отруєнні парами ртуті спостерігаються розлади центральної нервової системи. *Сірчаний газ* особливо шкідливий для рослин. Зокрема, саме він викликає пожовтіння та знебарвлення листя дерев. У людини цей газ подразнює дихальні шляхи і може призвести до бронхіту.

Оксид карбону або чадний газ – найбільш небезпечна отрута. Він утворюється при неповному згорянні деревини, природного палива, при спалювання твердих відходів. Чадний газ знижує здатність еритроцитів крові до транспортування кисню.

Оксид азоту окислюється в атмосфері до червоно-бурого кольору, який дуже добре помітний у великих містах. Ця речовина особливо шкідлива для людей, які страждають на емфізему легенів та серцево-судинні захворювання.

Найбільш токсичною речовиною є *бензопірен*. Він має здатність накопичуватися в організмі людини, що може призвести до виникнення пухлин.

Збільшення концентрації в атмосфері *вуглекислого газу* є однією з причин глобального потепління, що пов'язане з парниковим ефектом.

Отже, у наш час однією з найважливіших проблем людства є зменшення забруднення атмосферного повітря токсичними речовинами, які виділяються об'єктами теплоенергетики та автомобільним транспортом. Тому необхідно рішуче боротися за збереження екології тієї місцевості, де ви мешкаєте.

Для охорони оточуючого середовища і збереження здоров'я людини широко використовуються різні очищувальні фільтри, які перешкоджають викиданню в атмосферу шкідливих речовин. Удосконалюються конструкції теплових двигунів, підвищується якість палива у напрямі зменшення кількості шкідливих речовин, які воно дає при згорянні. Активно розробляються альтернативні джерела енергії, які використовують вітер, сонячну енергію. Вже налагоджено випуск електромобілів, а також автомобілів, які працюють на сонячній енергії.

Подумайте і дайте відповідь

1. У чому полягає причина забруднення оточуючого середовища при роботі теплових двигунів?
2. До яких наслідків призводить забруднення атмосфери?
3. Які речовини є особливо шкідливими для людини?

Розв'яжіть задачі та оцініть результати

Вправа 20.

1. Поясніть, які напрями удосконалення теплових двигунів можуть забезпечити позитивний ефект.
2. При згорянні 1 кг природного газу утворюється 2,75 кг вуглекислого газу, а при згорянні 1 кг кам'яного вугілля – 2,34 кг. При цьому для виділення однієї й тієї самої кількості теплоти кам'яного вугілля витрачається в 1,5 рази більше, ніж природного газу. Обчисліть, при згорянні якого палива утвориться більше вуглекислого газу і в скільки разів. Вважайте, що кількість теплоти в обох процесах виділяється однакова.
3. Вміст токсичних викидів у відпрацьованих газах карбюраторного і дизельного двигунів є різний. Зокрема, доля чадного газу при згорянні 1000 л одного й того самого палива у карбюраторного двигуна становить 8%, а у дизельного 0,5%. Обчисліть масу чадного газу, яку викидають карбюраторний та дизельний двигуни. У скільки разів вміст токсичної речовини CO більший у викидах карбюраторного двигуна порівняно з дизельним? Густина чадного газу $1,25 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Домашнє експериментальне завдання

Проведіть спостереження за екологічним станом місцевості, де ви мешкаєте. Визначте шкідливі фактори, які спричиняють екологічні проблеми. Які шляхи подолання цих проблем ви можете назвати? Результати спостережень опишіть у робочому зошиті. Зробіть висновки щодо впливу діяльності людини на оточуюче середовище.

Підготуйте повідомлення

Екологічний стан місцевості, де я мешкаю: проблеми і шляхи їх розв'язання

СИСТЕМАТИЗУЙТЕ ЗНАННЯ З РОЗДІЛУ 3.

► Отримання і використання теплової енергії є одним із найголовніших шляхів життєзабезпечення кожної людини та людської цивілізації в цілому. Сьогодні в Україні основними вилами палива є нафта, природний газ і вугілля.

► Горіння – це фізико-хімічний процес з'єднання молекул кисню з речовиною (хімічна реакція окислення). Кількість теплоти, яка вивільнюється при згорянні палива, визначають за формулою. Важливою характеристикою процесу горіння є питома теплота згорання палива.

► Для перетворення теплової енергії у механічну роботу використовують теплові двигуни. У тепловому двигуні внутрішня енергія газоподібних продуктів згорання палива перетворюється на механічну енергію, яка приводить у рух механізм.

► ККД теплового двигуна обчислюється за формулою:

$$\eta = \frac{A}{Q_{\text{н}}} \cdot 100\%$$

де A – корисна робота, яку виконує тепловий двигун; $Q_{\text{н}}$ – кількість теплоти, отриманої робочим тілом від нагрівника в результаті згорання палива.

► Конструкція теплової машини передбачає наявність теплового двигуна та з'єданого з ним передавального механізму. *Перша універсальна парова машина* була побудована у 1784 р. англійським винахідником Джеймом Уаттом. Винайдення парової машини стало початком переходу до машинного способу виробництва.

► Найбільшого поширення у техніці набув *чотиритактний двигун внутрішнього згорання*. Залежно від способу приготування та запалення паливної суміші, чотиритактні двигуни внутрішнього згорання поділяють на два види: *карбюраторні* (бензинові) та *дизельні*.

► Основним рушійним елементом на сучасних теплових електростанціях є *турбіни*. У турбінах приведення механізмів у рух здійснюється за рахунок сили струменя рідини, пари або газу. Залежно від робочого тіла розрізняють парові (пара) та газові (газ) турбіни.

► Повсюдне використання теплових двигунів спричинює забруднення атмосфери, тому необхідно рішуче боротися за збереження екології тієї місцевості, де ви мешкаєте. В умовах паливної кризи *необхідно*

дбати про збереження тепла, що сприятиме економії палива та матеріальних ресурсів.

НАВЧАЛЬНИЙ ПРОЕКТ

Унікальні фізичні властивості води

Мета проекту

Обґрунтувати необхідність дослідження властивостей води як речовини, що відіграє виключно важливу роль у житті на Землі. Охарактеризувати воду як об'єкт дослідження і пояснити, у чому полягає його складність. Експериментально дослідити деякі фізичні властивості води. Усвідомити основну екологічну проблему сучасності – зменшення кількості води на Землі та зниження її якості. Ознайомитись із внеском українських учених у дослідження властивостей води.

Знання з яких навчальних предметів будуть необхідні при роботі над проектом?

1. Фізика.
2. Природознавство.
3. Хімія.
4. Географія.
5. Біологія.
5. Трудове навчання.

Орієнтовні напрями роботи

над проектом

Теоретична частина

проекту:

1. Вода – одна з найбільш поширених у природі сполук (оксид водню). Склад гідросфери Землі. Сучасні уявлення про світовий кругообіг води у природі та його величезне значення. Вплив діяльності людини на порушення кругообігу води у природі.

2. Роль води у геологічній історії Землі, у формуванні її рельєфу, погоди та клімату. Вода у міжзоряному просторі, на планетах та інших небесних тілах Сонячної системи. Чому дослідження води на кометі Чурюмова-Герасименко спростовує гіпотезу про те, що вода на Землю була занесена з комети?

3. Вміст води в організмі людини в цілому та в окремих його тканинах. Роль води у реакціях обміну речовин. Водний баланс в організмі людини як основа його функціонування. Вода – основний компонент більшості рослинних клітин і тканин.

4. Складність води як предмету дослідження. Основна проблема дослідження води – встановлення взаємозв'язку між структурою і властивостями води. Фізичні властивості води та їх особливості. Чому і сьогодні наука ще далека від повного розуміння природи багатьох явищ, що відбуваються з водою?

5. Забруднення водних ресурсів – головна екологічна проблема сьогодні. Вплив техногенних чинників на склад природних вод. Чим визначається якість води та як вона перевіряється? Показники якості питної води. Що таке артезіанська вода? Фільтрація води та інші способи її очищення.

6. Стрімкі темпи споживання води на Землі. Скороченні кількості води та зниження її якості. Пошук шляхів раціонального використання вод та їх охорони – важлива проблема сучасності.

7. Внесок учених Інституту колоїдної хімії та хімії води імені А.В. Думанського Національної академії наук України у дослідження структури і властивостей води, створення нових ефективних методів очищення природних і стічних вод від забруднень, розробку нових методів оцінки якості води.

Експериментальна частина проекту:

1. Користуючись географічним картами областей України, довідниками, мережею Інтернет, оцініть наближено, який відсоток від загальної площі нашої країни складають її водні ресурси. Зробіть висновок щодо необхідності збереження і охорони запасів води.

2. Запропонуйте і реалізуйте метод дослідження теплопровідності води. Зробіть висновок: теплопровідність води низька, висока. У яких випадках це важливо знати?

3. Перевірте дослідним шляхом особливості зміни об'єму води при переході її у твердий стан (для сталої маси води). Зробіть висновки щодо незвичайної властивості, яку при цьому виявляє вода.

4. Підтвердіть або спростуйте за допомогою досліду твердження про те, що гаряча вода на морозі замерзає швидше, ніж холодна.

5. Дослідним шляхом перевірте, які тверді речовини розчиняються у воді, а які не розчиняються. Зробіть висновки щодо властивостей води як розчинника.

6. Розробіть метод визначення густини води. Використовуючи роз-

роблений метод, визначте з точністю до тисячної долі густину різних видів води: кип'яченої, водопровідної, газованої, солоної, дощової (або талої), ґрунтової (з річки або ставка). Зробіть висновок щодо впливу домішків на густину води.

7. Дослідіть та опишіть кругообіг води у вашому місті (районі, районному центрі, селі). Яка у вашому місті система водозабору та підготовки води до використання? Яка система очищення забрудненої води? Виконайте схему кругообігу води у вашому місті. Зробіть висновок щодо ефективності охоронно-природних заходів, які вживаються місцевою адміністрацією.

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДО РОЗДІЛУ 3

Початковий рівень

1. Яка з наведених нижче одиниць є одиницею питомою теплоти плавлення?

- А $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$. Б $\frac{\text{Дж}}{\text{К}}$. В $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$. Г $\frac{\text{Дж} \cdot \text{кг}}{\text{К}}$.

2. Яке з видів палива є природним?

- А Бензин. Б Нафта. В Мазут. Г Смола.

3. У тепловому двигуні відношення $\frac{A}{Q_{\text{н}}} = 0,25$. Визначте коефіцієнт корисної дії двигуна у %.

- А 2,5%. Б 5%. В 50%. Г 25%.

Середній рівень

4. Яке паливо при згорянні виділить більшу кількість теплоти: торф, дрова, кам'яне вугілля, нафта?

- А Нафта. Б Кам'яне вугілля. В рова. Г Торф.

5. Чи може ККД теплового двигуна дорівнювати 100% ?

А Може, якщо тертя між конструктивними елементами звести до нуля.

Б Може, якщо використати більшу кількість палива.

В Не може, тому що двигун має скінченні розміри.

Г Не може, тому що мають місце втрати, зумовлені різними факторами.

6. При повному згорянні сухих дров виділилося 50000 кДж енергії. Яка маса дров згоріла?

А 40 кг. Б 4 кг. В 400 кг. Г 4000 кг.

Достатній рівень

7. Що називають питомою теплотою згорання палива?

А Кількість теплоти, що виділяється при повному згорянні палива.

Б Кількість теплоти, що виділяється при частковому згорянні палива.

В Кількість теплоти, що виділяється при згорянні палива об'ємом 1 м³.

Г Кількість теплоти, що виділяється при згорянні палива масою 1 кг.

8. Скільки робочих ходів (тактів) відбувається у чотирициліндровому двигуні внутрішнього згорання за час одного обороту колінчастого валу?

А 1. Б 4. В 2. Г 8.

9. Обчисліть ККД двигуна автомобіля потужністю 36, 8 Вт, що витрачає 12 кг бензину за 1 год.

А 24%. Б 20%. В 34%. Г 30%.

Високий рівень

10. Яку функцію у газотурбінному двигуні виконує компресор?

А Він слугує для утворення паливної суміші.

Б Він слугує для підвищення температури повітря.

В Він слугує для зниження тиску повітря.

Г Він слугує для підвищення тиску повітря.

11. Теплова машина має ККД $\eta = 20\%$. Скільки теплоти (у Дж) вона віддасть холодильнику, виконавши роботу $A=1225$ Дж?

А 4900 Дж. Б 6125 Дж. В 490 Дж. Г 612, 5 Дж.

12. При згорянні 20 г вугілля, яке містить 10% домішків, що не горять, виділяється 66 г вуглекислого газу. Скільки вуглекислого газу виділиться за добу у повітря котельною, якщо там згоряє 2 т вугілля з таким самим вмістом домішків, що не горять?

А 6, 23 кг. Б 623 кг. В 6, 23 т. Г 623 т.

ЗАДАЧІ ДО РОЗДІЛУ 3

1. Автобус «Богдан» виробництва української автомобільної корпорації розвиває корисну потужність 72 кВт. При цьому він витрачає 32 л дизельного палива за 1,5 години руху. Обчисліть ККД автобуса «Богдан». Густина дизельного палива $860 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.
(Відповідь: 34%).

2. Новий хетчбек «Віда» виробництва Запорізького автомобільного заводу розвиває корисну потужність 12 кВт і витрачає на 100 км 9,9 л бензину при середній швидкості $60 \frac{\text{км}}{\text{год}}$. Густина бензину $700 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.
Визначте ККД двигуна автомобіля. (Відповідь: 23%)

3. Потужність Запорізької державної районної теплової електростанції (ДРЕС) 3600 МВт. Яку енергію споживає ця теплова електростанція за добу, якщо її ККД 60 %?
(Відповідь: 518, 4 · 10¹² Дж).

4. У бак автомобіля налито 150 кг бензину. Визначте відстань, яку може проїхати на цьому запасі палива автомобіль із середньою швидкістю $54 \frac{\text{км}}{\text{год}}$, якщо потужність двигуна 36 кВт, а ККД 18%.
(Відповідь: 517 км).

5. Для роботи двигуна, ККД якого 18% виділено 4800 кг нафти. Визначте, на скільки днів вистачить цього запасу, якщо потужність двигуна 25 10³ Вт. Вважайте, що робочий день триває 8 годин.
(Відповідь: 55 днів).

6. Сьогодні автомобільна галузь України виробляє вантажні автомобілі переважно з дизельними двигунами. Поясніть, чому саме дизельним двигунам надається перевага? (Відповідь: дизельні двигуни порівняно з карбюраторними мають більшу потужність і ККД, вони витрачають менше палива, а вихлопні гази від них менш токсичні).

7. До якого типу двигунів відноситься вогнепальна зброя? Поясніть принцип дії вогнепальної зброї. (Відповідь: до двигунів внутрішнього згорання).

8. Які енергетичні витрати найбільше впливають на значення ККД теплових двигунів? (Відповідь: відведення значної кількості теплоти у холодильник).

ЧАСТИНА II

ЕЛЕКТРИЧНІ ЯВИЩА ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ

Розділ 4. ЕЛЕКТРИЧНІ ЯВИЩА

- Електричні взаємодії навколо нас
- Як заряджаються хмари?
- Чи заряджаються тіла на відстані?
- Найменший заряд – який він?
- Чи можуть заряди зникнути?
- Атмосферна електрика – це небезпечно
- Чи проводить людина електричні заряди?
- Електричне поле – яке воно?
- Чи має електричне поле енергію?
- Для чого французький фізик Кулон зробив свої терези?
- Один кулон – це багато чи мало?
- Закон Кулона та його роль в електростатиці



§21. ЕЛЕКТРИЧНІ ЯВИЩА. ЕЛЕКТРИЗАЦІЯ ТІЛ. ЕЛЕКТРИЧНИЙ ЗАРЯД.

Два роди електричних зарядів

► 1. Які явища відносяться до електричних? У попередніх розділах курсу фізики ми говорили про явища, які безпосередньо сприймаються нашими органами чуття – про рух, теплоту, звук, світло. Вивчення цих явищ пов'язане з багатьма труднощами, але їх існування не можна ставити під сумнів. Тепер ми переходимо до явищ, які не є такими очевидними – електричних і магнітних. Ці явища на перший погляд абсолютно різні, але вони нерозривно пов'язані між собою і є складовими одного класу фізичних явищ – електромагнітних.

Електромагнітною є взаємодія між ядрами та електронами в атомах, між-атомна взаємодія в молекулах, міжмолекулярна взаємодія. До електромагнітної природи відносяться сили пружності, тертя, сила наших м'язів; ними визначаються хімічні перетворення. Електромагнітні явища відіграють істотну роль у космосі: випромінювання електромагнітної енергії Сонцем і зірками впливає на земні процеси.

Отже, знайомство з електромагнітним явищами ми починаємо з вивчення найпростіших – електричних явищ. Електричні явища розглядаються в електростатиці.

Електростатика – це розділ фізики, в якому вивчаються властивості та взаємодії нерухомих електрично заряджених

Учення про електрику і магнетизм охоплює величезну сукупність явищ мега-, макро- і мікросвіту, які відбуваються внаслідок електромагнітної взаємодії.

Без електромагнітних явищ не можна уявити сучасне життя: це електричне освітлення, зв'язок, радіотехнічні і електротехнічні пристрої, електродвигуни, комп'ютери.

Електричні і магнітні явища були відкриті вже декілька тисяч років тому, проте пояснення їх виявилось досить складним. Лише в середині ХІХ століття з'явилась теорія, яка пояснила і передбачила безліч нових явищ і фактів.

Внаслідок різноманітності і багатства проявів електромагнітних явищ їх дослідження є важливим інструментом пізнання законів природи.

Цікаво, що ще давньогрецький філософ Фалес Мілетський за 600 років до нашої ери описав здатність янтарю, потертого об вовну, притягувати легкі предмети. До речі, як свідчать історичні трактати, цю здатність янтарю помітили ткалі під час своєї роботи, оскільки веретена в давнину виготовлялись з янтарю.

*Електрика – від грецького слова *elektron* – смола, янтар, від якого надалі утворились слова «електричний», «електризація» тощо.*

тіл або частинок, які мають електричний заряд.

► **2. Прояви електричних явищ.** Електризація тіл. Навколо нас завжди відбувається багато цікавих явищ, над якими ми навіть не замислюємось. А от у стародавні часи люди дуже уважно спостерігали за оточуючим світом і намагались пояснити все, що в ньому відбувалось.

Отже, пригадаємо і спробуємо пояснити найпростіші електричні явища, які всім вам добре відомі: якщо в суху погоду ви знімаєте одяг, то чуєте легке потріскування, а у темряві навіть бачите іскри; якщо розчісуєте сухе волосся пластмасовим гребінцем, то волосся притягується до гребінця.

Візьміть звичайне скло і потріть його листом паперу (або шовковою тканиною). Ви побачите, що скло набуде властивостей притягувати до себе дрібні папірці, пушинки, соломинки, нитки, навіть тонкі струмені води. Такі властивості внаслідок тертя набувають й інші речовини, зокрема ебоніт, потертий об вовну (або хутро). А наприкінці XVI століття англійський лікар і учений Уільям Гільберт описав понад 20 речовин, які мають аналогічні властивості. Саме Гільберт уперше ввів термін «електрика».

Отже, явище виникнення в натертих тіл властивості щодо притягання інших тіл називається електризацією, а самі натерті тіла – наелектризованими або зарядженими.

► **3. Що відбувається між наелектризованими тілами?** Перевіримо, чи взаємо-

діють між собою наелектризовані тіла. З металевої фольги зробимо невеликий легкий циліндрик і підвісимо його до лапки штатива на шовковій нитці. Доторкнемось до циліндрика скляною паличкою, потертою об папір (або шовк). Ми побачимо, як циліндрик відштовхнеться від палички, відхилиться на деякий кут і залишиться у такому положенні (рис. 84 а). Очевидно, що циліндрик після взаємодії з паличкою теж став наелектризованим (зарядженим), причому зарядився він однаково з паличкою. Якщо тепер ми натremo ебонітову паличку об вовну (або хутро) і піднесемо її до циліндрика так, щоб між ними не було безпосереднього контакту, то циліндрик притягнеться до палички (рис. 84 б).

Ці досліди свідчать про те, що скляна і ебонітова палички зарядились по-різному. Саме тому різним виявився і характер взаємодії заряджених тіл – в першому досліді вони відштовхувались, а в другому – притягувались. Очевидно, що під час виконання цих дослідів ми використали два види електризації тіл – через тертя і через дотик.

Якщо продовжити досліди і доторкнутись до циліндрика ебонітовою паличкою, то циліндрик повернеться у вертикальне положення. А це означає, що він більше не є зарядженим. З цього можна зробити висновок: тіла, що заряджені по-різному, при доторканні гублять ті властивості, яких вони набули в результаті електризації.

Отже, ми з'ясували, що між наелектризованими тілами відбувається взаємодія.



Рис. 84 а. Циліндрик відштовхується від палички, відхиляється на деякий кут і залишається у такому положенні.



Рис. 84 б. Циліндрик притягується до палички

Атмосферна електрика зумовлена тим, що в атмосфері завжди знаходяться заряди. Зокрема, у хмарах є позитивні і негативні заряди, що знаходяться в різних частинах хмари. Саме внаслідок атмосферної електрики виникає блискавка.

Така взаємодія називається електричною.

► 4. У чому полягає причина електричних явищ? Причина всіх розглянутих вище явищ полягає в тому, що в природі існують два роди електричних зарядів, які мають протилежні знаки: позитивні (+) та негативні (-). Всі наелектризовані тіла мають певний позитивний або негативний заряд. *Набутий тілами внаслідок електризації електричний заряд називається статичною електрикою.* Статична електрика утворюється не лише на Землі, але й в атмосфері (атмосферна електрика).

За величиною заряд може бути більшим або меншим. Це можна перевірити експериментально: якщо у розглянутому вище досліді зарядити кульку від скляної (або ебонітової) палички двічі, то кулька відхилиться на більший кут. Це означає,

що заряд визначається як знаком, так і числовим значенням.

Отже, електричний заряд – це фізична величина, яка визначає властивості заряджених тіл брати участь в електричній взаємодії і має додатне або від’ємне значення. Заряд позначається літерою q .

За одиницю електричного заряду прийнятий кулон (1 Кл). Ця одиниця названа на честь французького фізика Шарля Огюста Кулона, який встановив основний кількісний закон взаємодії електрично заряджених тіл.

Тіла, які мають електричні заряди *одного знаку* (однойменні) *взаємно відштовхуються*, а тіла, які мають заряди протилежного знаку (різнойменні) – *взаємно притягуються*. При взаємодії заряди протилежного знаку *компенсуються* (або *нейтралізуються*). Так було закладене підґрунтя учення про електрику.

Відмітимо ще одну дуже важливу особливість електричного заряду: заряд визначає електричні властивості тіла, а тому він не може існувати сам по собі і завжди *пов’язаний з тілами* (аналогічно до маси). *Заряд – це одна з фундаментальних властивостей матерії.*

ПОГЛИБТЕ СВОЇ ЗНАННЯ

Симетрія в природі. Причина існування такої універсальної властивості природи як наявність двох родів електричних зарядів невідома. Вважають, що це протилежні прояви однієї якості, так само, як «праве» і «ліве». В цьому виявляється фундаментальна властивість матерії – властивість симетрії.

В природі найчастіше спостерігається взаємна компенсація електричних зарядів на макроскопічних тілах, внаслідок чого тіла стають електрично нейтральними і не беруть участь в електричних взаємодіях. Наш Всесвіт – добре зрівноважена система позитивних і негативних зарядів.

Електрофорна машина. Цікаві і наочні досліді із статичної електрики можна виконати за допомогою електрофорної машини, яка є в кожному фізичному кабінеті (рис. 85). Електрофорна машина, в якій використовується електризація тертям, складається з двох дисків із скла, ебоніту або органічного скла, вільно насаджених на горизонтальну вісь. За допомогою рукоятки 2 диски приводяться в обертальний рух у протилежних напрямках. Під час обертання диски труться об щіточки, за рахунок чого на кульках електрофорної машини накопичуються заряди. Коли їх стає достатньо, між кульками проскакує електрична іскра.



Рис. 85. Електрофорна машина

Із історії фізики: вчені і факти

Електростатична машина **Отто фон Геріке**. У XVII – на початку XVIII століття проводились численні досліді з наелектризованими тілами. Важливим етапом в розвитку вчення про електрику були досліді німецького ученого Отто фон Геріке (1602 – 1686). Він побудував першу електростатичну машину, яка являла собою кулю із сірки, насажену на металеву вісь (рис. 86).



Рис. 86. Електростатична машина

Кулю можна було обертати. Якщо при цьому до неї прикладалась долоня, то це спричиняло електризацію кулі і проскакування іскор. Наелектризована куля притягувала шматочки золота, срібла, паперу. Геріке експериментально показав, що крім електричного притягання існує і електричне відштовхування.

Від теорії до практики

Атмосферна електризація і літаки. В авіаційній промисловості необхідно враховувати вплив атмосферної електрики при експлуатації літаків, оскільки в процесі польоту з великою швидкістю корпус літака зазнає сильної електризації внаслідок тертя об повітря. Дослідженнями цього питання займаються спеціалісти лабораторій атмосферної електрики та геофізичних обсерваторій.

Розширте науковий кругозір

Янтар – закам'яніла смола. В давнину на Землі було дуже багато покладів янтарю. Тому з нього виготовлялись прикраси, предмети побуту та деякі знаряддя для праці.

Янтар – це викопна смола особливого виду сосни третинного періоду. Колір янтарю може бути медово-жовтим, бурим, червоно-бурим, чорним, білим. Інколи в шматках янтарю зустрічаються комахи, які в свій час зав'язли у смолі і закам'яніли в ній.

Сьогодні янтар застосовується для виготовлення прикрас, лаків в хімічній промисловості тощо. Україна багата на поклади бурштину. Перші розробки бурштину в Україні відомі біля Києва (район Міжгір'я та Вишгорода), а також на Рівненщині та Волині (Клесівське родовище). Сьогодні у Клесівському родовищі добувається щорічно більше 100 кг бурштину.

Подумайте і дайте відповідь

1. Які тіла називаються наелектризованими або зарядженими?
2. Якими способами можна наелектризувати тіло?
3. Що називається електричним зарядом?
4. Які два роди електричних зарядів існують в природі?
5. Як взаємодіють тіла, заряджені однойменно? різнойменно?

Розв'яжіть задачі та оцініть результати**Вправа 21.**

1. Виготовте кульку з тонкого та легкого паперу або серветки (всередину кульки для зручності виготовлення покладіть шматочок вати) і підвісьте її на шовковій нитці. Піднесіть до кульки пластмасову лінійку, заряджену через тертя об папір. Спостерігайте взаємодію між кулькою і лінійкою. Тепер приберіть лінійку і піднесіть до кульки гребінець, потертий об волосся. За характером взаємодії кульки і гребінця визначте, однойменні чи різнойменні заряди виникли на лінійці та гребінці. Як визначити знаки цих зарядів? Виконайте в зошиті рисунок досліду.
2. Відкрийте водопровідний кран і відрегулюйте його так, щоб струмінь води був тонким. Наелектризуйте пластмасову ручку об папір і піднесіть її до струменю води. Спостерігайте, що відбудеться зі струменем і поясніть це явище.
3. Поясніть, чому інколи одяг прилипає до тіла, а при його зніманні ви відчуваєте легке поколювання і чуєте слабкий тріск.
- *4. Для запобігання явища, описаного в попередньому завданні, використовуються так звані антистатика у вигляді ополіскувачів та аерозолів. Ополіскувачі використовуються безпосередньо під час прання, а аерозолі наносяться на сухий одяг. Поясніть механізм їх дії.

Підготуйте повідомлення

Використання взаємодії наелектризованих тіл в техніці:

- при фарбуванні окремих деталей, кузовів автомобілів (наприклад, кузов автомобіля заряджають позитивним, а частинкам фарби надають від'ємний заряд);
- уловлювачі пилу (наприклад, очистка промислових газів);
- змішування дисперсних речовин (наприклад, на хлібзаводах позитивно заряджені частинки муки повітряним потоком, подаються в камеру, де вони зустрічаються з від'ємно зарядженими краплинками води).

§ 22. ПРИЛАДИ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ЕЛЕКТРИЗАЦІЇ ТІЛ. ДИСКРЕТНІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОГО ЗАРЯДУ



Рис. 87. Електроскоп

► 1. Електроскоп. Для виявлення на тілах електричного заряду та визначення його знаку застосовується прилад, який називається *електроскопом*. Електроскоп (рис. 87) представляє собою скляний циліндричний корпус. У верхній частині корпусу встановлена пластмасова пробка, за допомогою якої всередині корпусу закріплений металевий стержень з двома тонкими паперовими смужками на кінці. Якщо будь-яким зарядженим тілом доторкнутись до кульки на стержні електроскопа, то паперові смужки відштовхнуться одна від одної. За зміною кута, на який розходяться паперові смужки електроскопа, можна судити про ступінь *наелектризованості* тіла.



Рис. 88. Більш складний електроскоп-електрометр

Існує також електроскоп більш складної конструкції, який називається *електрометром* (рис. 88). Електрометр представляє собою металевий корпус, засклений з обох боків і закріплений на підставці. Від електроскопа він відрізняється тим, що на середині його металевого стержня встановлена стрілка-показчик, а на задньому матовому склі нанесена шкала з поділками. Зауважимо, що *електрометр не вимірює величину заряду, а лише дозволяє визначити, більшим чи меншими є наданий тілу заряд залежно від кутів відхилення стрілки-показчика.*

► 2. Чи можна ділити електричні заряди? Тепер нам необхідно відповісти на

важливе питання: чи можна *ділити* заряди, які знаходяться на тілах? В цьому нам допоможе простий і наочний дослід.

Заряджений електрометр 1 з'єднаємо за допомогою металевої палички, закріпленої на пластмасовій ручці, з таким самим електрометром 2 (рис. 89 а). Ми побачимо, що стрілки-показчики обох електрометрів відхилились на однакові кути, тобто половина заряду перейде з першого електрометра на другий. Тепер роз'єднаємо електрометри і розрядимо другий з них, доторкнувшись до нього рукою (заряд з електрометра через тіло людини іде в землю). Стрілка другого електрометра після цього встановиться вертикально, що свідчить про відсутність на ньому заряду.

Знову приєднаємо другий електрометр до першого, на якому залишилась половина початкового заряду. Побачимо, що стрілки обох електрометрів знову відхилились на однакові, але вже менші кути (рис. 89 б). Це свідчить про те, що зарядженими знову є обидва електрометри, але заряд на них дорівнює лише четвертій частині від початкового заряду.

Отже, ми експериментально довели, що заряд, який знаходиться на тілах, *можна ділити*. Але тоді виникає ще одне питання: чи є межа цього поділу? Чи існує в природі *найменший* заряд, який розділити вже неможливо?

Відповідь на це питання дав англійський фізик Джон Джозеф Томсон, який передбачив: в природі існує *частинка*, яка має *найменший (елементарний)* електричний заряд. З-поміж багатьох дослідників Том-



Рис. 89 а. Заряджений електрометр 1 з'єднали за допомогою металевої палички, закріпленої на пластмасовій ручці, з таким самим електрометром 2



Рис. 89 б. Приєднавши другий електрометр до першого, на якому залишилась половина початкового заряду, побачимо, що стрілки обох електрометрів знову відхилились на однакові, але вже менші кути

Перше експериментальне вимірювання елементарного заряду виконав американський фізик Міллікен. Виявилось, що заряд електрона негативний і дорівнює $-1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Отже, електрон є носієм елементарного негативного заряду.

Заряди, менші від заряду електрона, невідомі. Більше того, щоразу, коли з достатньою точністю вимірюється певний електричний заряд, він виявляється кратним до заряду електрона. Це означає, що негативний заряд будь-якого тіла складається з цілого числа елементарних зарядів (зарядів електрона).

З відкриття електрона почався вік атомної фізики. Стало можливим пояснити багато фізичних явищ, з'явилися пристрої, в яких використано унікальні властивості електронів: комп'ютери, електронні мікроскопи, лазери, теле- і радіоприлади тощо.

сон та його учні здійснили найбільш точні експериментальні дослідження і 29 квітня 1897 року Томсон доповів про відкриття першої елементарної частинки. Вона була названа електроном. *Електрон – це дуже мала частинка, набагато менша від молекул і атомів. Маса електрона дорівнює $9,1 \cdot 10^{-31}$ кг. Зокрема, маса молекули водню, найменшої з усіх молекул, в 3670 разів більша від маси електрона.*

Таке само, як і негативний заряд, позитивний заряд будь-якого тіла теж складається з елементарних позитивних зарядів. *Носієм елементарного позитивного заряду є протон. Позитивний заряд протона дорівнює $+1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл, отже, за абсолютною величиною заряди електрона і протона є рівними.*

Маса протона дорівнює $1,67 \cdot 10^{-27}$ кг і перебільшує масу електрона у 1836 разів.

ПОГЛИБТЕ СВОЇ ЗНАННЯ

Частинки і античастинки. Поряд з електрично зарядженими частинками існують їх античастинки, які мають таку саму масу і такий самий, але протилежний за знаком заряд. Зокрема, античастинкою електрона є позитрон, а протона – антипротон. Цей процес називається анігіляцією.

Подумайте і дайте відповідь

1. У чому полягає основне призначення електроскопа?
2. Опишіть будову електроскопа та поясніть принцип його дії.
3. Чим електроскоп відрізняється від електрометра?
4. Як на досліді показати, що електричний заряд можна ділити?
6. Чому дорівнює елементарний електричний заряд?

Розв'яжіть задачі та оцініть результати**Вправа 22.**

1. Самостійно виготовте електроскоп. Для цього візьміть скляну банку з пластмасовою кришкою (або пластмасову пляшку з кришкою) і відрізок товстого металевого дроту (або товстий металевий цвях). За допомогою шовкової нитки закріпіть на кінці дроту (або цвяху) легкі паперові смужки. Пропустіть дріт (або цвях) через пластмасову кришку всередину банки (або пляшки). Електроскоп готовий. Після цього перевірте його роботу: зарядіть електроскоп за допомогою наелектризованих тіл. Сфотографуйте заряджений електроскоп і вклейте фотографію в зошит (або виконайте в зошиті рисунок досліду).
2. Використовуючи виготовлений вами електроскоп, експериментально перевірте:
 - а) нейтралізацію зарядів протилежних знаків;
 - б) поділ зарядів, які знаходяться на тілах.
3. Чи можна надати тілу заряд, менший від заряду електрона в 2 рази? заряд, більший від заряду електрон в 2,5 рази?
4. Чи може тіло мати заряд $+5,6 \cdot 10^{-19}$ Кл? $-6,4 \cdot 10^{-19}$ Кл?
5. Скількома електронами створюється заряд в «-1 Кл»?

§ 23. БУДОВА АТОМА. МЕХАНІЗМ ЕЛЕКТРИЗАЦІЇ ТІЛ. ЗАКОН ЗБЕРЕЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО ЗАРЯДУ

Ядерна модель атома називається ще планетарною: електрони рухаються навколо ядра аналогічно до того, як планети Сонячної системи рухаються навколо Сонця. Але слід зауважити: за багатьма ознаками ця аналогія досить умовна.



Ернест Резерфорд
(1871-1937)
англійський фізик

► 1. **Ядерна (планетарна) модель атома.** Для того, щоб зрозуміти, чому і як відбуваються електричні явища, зокрема електризація тіл, необхідно пригадати будову речовини, з якою ви ознайомились в курсі фізики 7-го класу. Тоді вам стало відомо, що підґрунтям сучасної фізики є ядерна (планетарна) модель атома, запропонована англійським фізиком **Ернестом Резерфордом** на підставі дослідів.

Згідно цієї моделі, в центрі атома знаходиться *позитивно* заряджене **атомне ядро**. Навколо ядра по замкнених орбітах рухаються **електрони**. По кожній орбіті завжди рухається лише *один* електрон. Але деякі електрони рухаються по орбітах однакового радіуса. Такі орбіти розташовані під кутом одна до одної і утворюють *електронні оболонки*. Оскільки ядро заряджене позитивно, а електрони негативно, вони притягуються до ядра.

В нормальному стані (за відсутності зовнішніх впливів) атом є електрично *нейтральним*. Це означає, що сума всіх *негативно* заряджених електронів дорівнює *позитивному* заряду ядра.

Ядро атома – теж *складне* утворення. Ядро складається з позитивно заряджених *протонів* і *незаряджених (нейтральних)* частинок – нейтронів. Протони і нейтрони називаються ще *нуклонами*. Вам вже відомо, що заряд протона за абсолютною величиною дорівнює заряду електрона.

Відповідно, кількість електронів, що рухаються навколо ядра, дорівнює кількості протонів у ядрі. Ця кількість визначається порядковим номером елемента в періодичній системі елементів Менделєєва. Наприклад, порядковий номер Оксигену в таблиці Менделєєва дорівнює 8. Це означає, що у ядрі атома Оксигену знаходиться 8 протонів, а по орбітах навколо ядра рухаються 8 електронів.

Число електронів (i , відповідно, протонів) у різних атомів є різним, причому воно може бути як малим, так і досить великим: зокрема, в атомі водню навколо ядра рухається 1 електрон, а в атомі золота – 79.

Але атом не завжди перебуває у нормальному стані. В деяких випадках атом може зазнавати суттєвих зовнішніх впливів (нагрівання, опромінення потужним випромінюванням тощо). За таких умов нейтральний атом *втрачає один або кілька електронів* і тоді в ньому виявляється надлишок *позитивного заряду*. В такому разі атом перетворюється на *позитивно заряджений іон* (позитивний заряд ядра не компенсується негативним зарядом електронів).

І навпаки, якщо атом *набуває надлишкових електронів*, то він стає *негативно зарядженим іоном* (в цьому разі некомпенсованим виявляється негативний заряд електронів).

На рис 88 зображено атом берилію (а) та його позитивний (б) і негативний (в) іони.

Зверніть увагу! На рис. 88 зображені не

Основна маса атома (99,98%) зосереджена в ядрі, оскільки маси протона і нейтрона (які є майже однаковими) набагато перебільшують масу електрона. Уявлення щодо розмірів атома дає таке порівняння: уперек нігтя мізинцю (1см) можна було б розмістити 100 000 000 атомів!

Запам'ятайте! Розглянута модель ядра атома є дуже спрощеною, а тому вона дозволяє пояснити лише найпростіші фізичні явища. За уявленнями сучасної фізики будова атома набагато складніша.

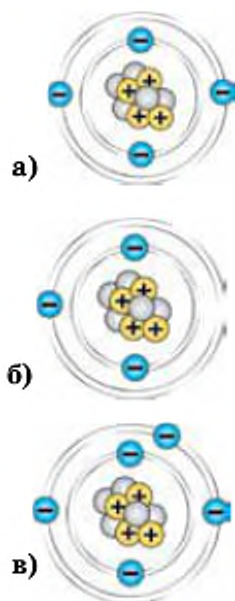


Рис. 90. *а, б, в.* Зображено атом берилію (*а*) та його позитивний (*б*) і негативний (*в*) іони



Рис. 91. *а.* Стрілка електрометра відхилилась на однакові кути

орбіти електронів, а електронні оболонки. Як ви вже знаєте, два електрона не можуть рухатись по одній орбіті.

► 2. Як відбувається електризація тіл?

Виконаємо ще один дослід з електризації. Для цього скористаємось двома паличками для електризації (ебонітовою та з органічного скла) та електрометром, на який зверху надіта порожня металева куля.

Спочатку внесемо в порожню кулю по чергово незаряджені палички і впевнимось в тому, що електрометр *не фіксує наявність будь-якого заряду*. Це означає, що палички є електрично нейтральними: негативний заряд кожної пластинки дорівнює її позитивному заряду.

Після цього щільно притиснемо палички одну до одної, наелектризуємо їх за допомогою тертя і окремо внесемо всередину кулі. В обох випадках стрілка електрометра відхилиться на однакові кути (рис. 90). А це означає, що в результаті тертя однаково зарядились обидві палички. Тепер внесемо палички в порожнину кулі одночасно. Побачимо, що стрілка електрометра залишиться нерухомою – електрометр не виявить ніякого заряду (рис. 91). Виникає питання: де зник заряд, адже палички є зарядженими? Відповідь не це питання проста: заряди паличок *нейтралізувались*, а, отже, вони є *рівними і протилежними за знаком*. Якщо ж видалити одну з паличок із кулі, то стрілка знову відхилиться.

Одержаний нами експериментальний результат дає можливість зробити висновок: при електризації заряджаються оби-

два тіла, причому заряди на них є протилежними за знаком та рівними за величиною.

Пояснимо механізм електризації тіл, використовуючи знання про будову атома. При щільному контакті двох тіл (внаслідок тертя) їх атоми в місцях дотику наближуються один до одного. Взаємодіючи між собою, вони можуть захоплювати або віддавати частину електронів, які значно віддалені від ядра (такі електрони порівняно слабо утримуються ядром). Цим і пояснюється те, що на одному тілі утворюється надлишок електронів, а іншому – їх нестача.

Отже, під час електризації тіл тертям заряди не створюються і не зникають, вони лише перерозподіляються між контактуючими тілами. При цьому сумарний заряд тіл не змінюється.

Отже, ви ознайомились з механізмом електризації через тертя. А що ж відбувається при електризації через дотик? При електризації через дотик із зарядженого тіла на незаряджене переходить той надлишок заряду, який утворюється при електризації тіла. Цей надлишок перерозподіляється між тілами залежно від площі їх поверхні: чим більшою є площа поверхні тіла, тим більший заряд утворюється на цьому тілі.

► **3. Закон збереження електричного заряду – фундаментальний закон природи.** Спостереження й експериментальні дослідження явища електризації дозволили нам зробити важливий висновок: сумарний заряд тіл до електризації дорівнює їх



Рис. 91, б. Стрілка електрометра залишається нерухомою

При електризації заряджаються обидва тіла, причому заряди на них є протилежними за знаком і рівними за величиною.

Тіла, атоми яких внаслідок тертя набули зайвих електронів, заряджаються негативно, а тіла, атоми яких втратили електрони – позитивно.

Запам'ятайте! При виникненні як негативного, так і позитивного зарядів переміщуються з одного тіла на інше лише електрони.

Таким чином, можна зробити важливі висновки:

► *внаслідок електризації через тертя тіла заряджаються однаково за величиною, але протилежними за знаком зарядами;*

► *внаслідок електризації через дотик тіла заряджаються однаково за знаком зарядами, при цьому заряд, якого набувають тіла, залежить від площі їх поверхонь.*

Під замкненою електричною системою розуміють сукупність тіл, які не одержують електричного заряду з оточуючого середовища, тобто є ізольованими від зовнішніх заряджених тіл.

сумарному заряду після електризації. Дійсно, внаслідок електризації на одному тілі з'являється негативний заряд, а на другому – позитивний, але рівний негативному за абсолютною величиною. При цьому алгебраїчна сума зарядів обох тіл залишається такою, якою вона була до електризації, тобто рівною нулю.

Але цей результат має місце лише в замкненій електричній системі. Зокрема, в розглянутих дослідах з електризації – це два тіла: ебонітова паличка і хутро; скляна паличка і шовк; ебонітова пластинка та пластинка з органічного скла.

Враховуючи всі висновки, яких ми дійшли, можна сформулювати основоположний у теорії електрики *закон збереження електричного заряду:*

повний електричний заряд замкненої системи тіл є величиною сталою і дорівнює алгебраїчній сумі позитивних та негативних зарядів цих тіл.

Закон збереження електричного заряду є одним з найголовніших законів природи (такі закони називаються фундаментальними). Сучасна наука підтверджує, що закон збереження заряду виконується в мікро-, макро і мегасвітах.

ПОГЛИБТЕ НАУКОВИЙ КРУГОЗІР

Які відстані між частинками в атомах? Одержати уявлення про густину розташування ядер і електронів в атомах можна на такому прикладі: якщо б об'єм людини масою 80 кг зменшився за рахунок відстаней між ядрами і електронами, тобто електрони розташувались впритул до ядер, то новий об'єм людини став б рівним мільйонній частині голівки шпильки (близько 10 куб мм).

Подумайте і дайте відповідь

1. Опишіть ядерну модель атома, Чому вона називається планетарною?
2. Які частинки входять до складу атомного ядра?
3. Які відомості про атом можна одержати, знаючи порядковий номер елемента в періодичній системі елементів Менделєєва?
4. Чим відрізняються такі частинки як електрон, протон і нейтрон?
5. Як утворюються позитивні і негативні іони?
6. Поясніть механізм електризації тіл. Чому в процесі електризації заряджаються обидва тіла?
7. Чи змінюється в процесі електризації сумарний заряд тіл, що електризуються?
8. Чому в звичайному стані тіла електрично нейтральними?
9. Яка електрична система називається замкненою?
10. Сформулюйте закон збереження електричного заряду. Чому цей закон називають фундаментальним?

Розв'яжіть задачі та оцініть результати**Вправа 23.**

1. Поясніть, в чому полягає умовність аналогії між планетарною моделлю атома Резерфорда і Сонячною системою?
2. Ядро атома золота містить 197 нуклонів. Порядковий номер золота в періодичній системі елементів Менделєєва дорівнює 79. Скільки електронів, протонів і нейтронів в атомі золота?
3. Атом срібла загубив один електрон. На що перетворився атом срібла? Який заряд цієї частинки?
4. Як ви вважаєте, чи може тіло одночасно мати позитивні і негативні заряди? позитивний і негативний заряд?
5. Зарядженому позитивно тілу надали такий самий за абсолютною величиною негативний заряд. Яким стало тіло? Чи можна при цьому стверджувати, що заряди в тілі зникли?
6. При розчісуванні сухого волосся ваш пластмасовий гребінець зарядився позитивно. А який заряд виник на волоссі? Відповідь поясніть.
- *7. Чи знаєте ви, що після посадки літака трап до нього підганяють не одразу, а спочатку опускають на землю металевий трос, з'єднаний з корпусом літака. Поясніть, для чого це роблять?
- *8. Наведіть приклади, які підтверджують закон збереження електричного заряду.

§ 24. ПРОВІДНИКИ, НАПІВПРОВІДНИКИ, ІЗОЛЯТОРИ. ЕЛЕКТРИЗАЦІЯ ЧЕРЕЗ ВПЛИВ



Рис. 92 а. Стрілки обох електрометрів відхилились на однакові кути



Рис. 92 б. Стрілка другого електрометра залищиться нерухомою

► 1. Які є види речовин залежно від їх здатності переміщувати електричні заряди? Виконуючи досліди з електризації, ми впевнились в тому, що:

- електричні заряди можуть переходити із зарядженого тіла на незаряджене (наприклад, з наелектризованої палички на електрометр);

- електричні заряди можуть *переміщуватись вздовж самого зарядженого тіла* (електрометр заряджався через дотикання наелектризованої палички до верхнього кінця металевого стержня, а відхилилась стрілка, яка знаходиться на його кінці).

У зв'язку з цим виникає питання: а чи переміщуються електричні заряди вздовж будь-якого тіла? Для відповіді на це питання виконаємо нескладний дослід. Поставимо поряд два електрометри, зарядимо один з них і з'єднаємо його з іншим за допомогою металевої палички (лінійки, дротини).

Побачимо, що стрілки обох електрометрів відхилились на однакові кути (рис. 92 а). Отже, *вздовж металу заряди переміщуються*.

Тепер повторимо дослід, але з'єднаємо заряджений і незаряджений електрометри скляною паличкою (ебонітовою, пластмасовою). При цьому стрілка другого електрометра залишиться нерухомою (рис. 92, б). Це означає, що *вздовж скла заряди не переміщуються*.

Отже, залежно від здатності щодо пере-

міщення (проведення) електричних зарядів розрізняють три види речовин:

- **провідники** – речовини, по яких електричні заряди переміщуються (метали, водні розчини кислот, луг, солей, вода, тіло людини);

- **діелектрики (ізолятори)** – речовини, по яких електричні заряди не переміщуються (скло, повітря, дерево, гума, янтар, шовк, пластмаса);

- **напівпровідники** – речовини, по яких електричні заряди можуть переміщуватись лише за певних умов (кремній, фосфор, сірка).

З властивостями провідників, діелектриків і напівпровідників ви ознайомитесь під час вивчення розділу 5.

Електрони, як ви вже знаєте, є носіями електричного заряду, отже, вони і забезпечують переміщення зарядів вздовж провідника. На рис. 93 показана модель провідника. Точками на ній позначені електрони, а стрілками – напрямки їх руху. Як бачимо, напрямки руху електронів безладні.

В ізоляторах вільних електронів немає. Електрони в атомах ізоляторів рухаються навколо ядер, тому вони не можуть забезпечити переміщення зарядів вздовж провідника (рис. 94).

► **2. Чи можуть тіла електризуватися на відстані?** Крім розглянутих нами способів електризації тіл (через тертя, через дотик) є ще один, з яким нам слід ознайомитись для більш глибокого розуміння механізму електричних явищ.

Отже, повернемося до першого дослі-

Розподіл речовин на провідники і діелектрики можна пояснити на основі знань про будову атома. Зокрема, в металах частина електронів, як ви знаєте, рухаються в атомах навколо ядер, але частина – є вільними. Вільні електрони безладно рухаються між атомами, утворюючи так званий електронний газ (до речі, рух вільних електронів можна порівняти з рухом криголама серед криг). Така внутрішня будова притаманна лише металам і зумовлена тими процесами, які відбуваються при утворенні металів.

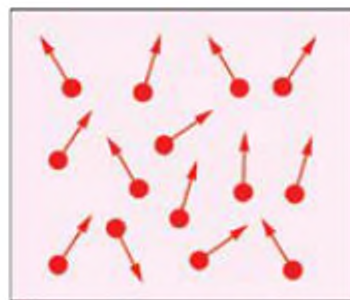


Рис. 93. Модель провідника

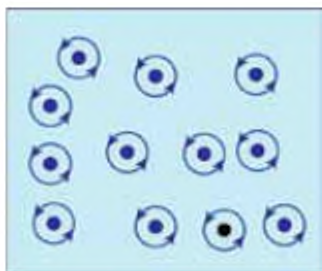


Рис. 94. Електрони в атомах ізоляторів рухаються навколо ядер



Рис. 95. Циліндрок відхиляється від свого початкового положення і буде притягуватися до палички



Рис. 96. Циліндрок залишається нейтральним

ду з електризації, в якому ми заряджали циліндрок з металеві фольги за допомогою наелектризованої палички. Але тепер трохи змінимо умови досліду: піднесемо позитивно заряджену скляну паличку до циліндрика, але торкатись його не будемо. Циліндрок все одно відхилиться від свого початкового положення і притягнеться до палички (рис. 95). Те ж саме відбудеться, якщо до циліндрика піднести негативно заряджену ебонітову паличку. При цьому за допомогою електрометра можна впевнитись в тому, що під час досліду циліндрок залишається нейтральним.

Що ж відбувається в металевому циліндріку, до якого піднесене заряджене тіло? Адже ви знаєте, що притягуються лише різнойменно заряджені тіла.

При піднесенні до циліндрика з металеві фольги позитивно зарядженої скляної палички негативно заряджені вільні електрони будуть притягуватися до палички і сконцентруються на тій частині циліндрика, яка знаходиться найближче до палички. Відповідно, на протилежній частині циліндрика виникне нестача електронів, тобто надлишок позитивного заряду, але в цілому циліндрок залишиться нейтральним (рис. 96). Після прибирання зарядженої палички циліндрок повернеться у вихідний стан.

Розглянутий спосіб електризації тіл називається *електризацією через вплив*.

Заряди, які з'являються на тілах в процесі електризації через вплив, називаються наведеними або індукованими (від латинського слова *inductio* – наведення).

ПОГЛИБТЕ СВОЇ ЗНАННЯ

Як виникає блискавка? Після ознайомлення із властивостями провідників щодо перенесення електричного заряду можна пояснити механізм утворення блискавки. Ви вже знаєте, що у хмарах є позитивні і негативні заряди. Вони розміщені в різних частинах хмари. Найчастіше негативні заряди розміщені на нижній частині хмари, відстань від якої до поверхні Землі складає 1-2 км. Виникнення блискавки починається з появи каналу блискавки (так званого "лідера"), який досягає поверхні Землі і немов з'єднує хмару і Землю провідником. Відповідно, канал блискавки спрямовується на такий об'єкт на Землі, на якому є надлишок позитивного заряду (вістря парасольок, високі сухі дерева, поодинокі предмети на відкритій місцевості). Через канал блискавки негативні заряди з хмари починають рухатись у напрямку до Землі, де вони нейтралізуються позитивними зарядами. При цьому спостерігається яскраве світіння, нагрівання повітря і виникнення ударної хвилі – грому.

ІЗ ІСТОРІЇ ФІЗИКИ: ВЧЕНІ І ФАКТИ

Заради науки. Російські вчені Михайло Ломоносов і Георг Ріхман, вивчаючи атмосферну електрику, довели, що блискавка має електричну природу. **Георг Ріхман** (1711 – 1753) досліджував блискавку за допомогою спеціальної «громової машини» – високої металевої жердини, яка проходила через дах приміщення для дослідів. Під час сильної грози 6 серпня 1753 року, виконуючи свої досліді, Ріхман був убитий сильним грозовим розрядом. Але дослідження Ломоносова і Ріхмана мали величезне практичне значення – вони запропонували захист споруд за допомогою громовідводів.

Хто вкрав блискавку? Суттєвий внесок у розвиток учення про електрику зробив відомий американський політичний діяч, вчений і філософ **Бенджамін Франклін** (1706 – 1790). Він, зокрема, здійснив блискучий експеримент, пропустивши розряд блискавки по вологій мотузці від повітряного змія. Фактично Франклін добровільно міг стати провідником блискавки! Проте він не постраждав і здійснив ще багато корисного для розвитку фізики. Цікаво, що на могильному камені Франкліна вибито таку епітафію: «Він вкрав блискавку з небес».

Від теорії до практики

Де заховатись від грози? Тепер, коли ви дізнались, як виникає блискавка, можна з'ясувати правила безпечної поведінки під час грози. Отже, подивіться на рис. 95: очевидно, що найбільшої небезпеки зазнають люди, які намагаються заховатись під високими деревами або своїми парасольками. Якщо гроза застала вас на відкритій місцевості краще заховатись у невисоких кущах або взагалі лягти на землю.



Рис. 97. Блискавка

Як утворюються грозові хмари?

У літній час ми часто бачимо, як в небі плывуть грозові хмари, але ні дощу, ні грози немає. Такі хмари є електрично нейтральними.

Один із способів утворення електричного заряду в грозовій хмарі можна представити наступним чином: великі дощові краплі біля основи хмари розбризкуються поривами вітру. При цьому більша частина краплі заряджається позитивно, а мільчіші бризки заряджаються від'ємно та потоками повітря піднімаються доверху.

Наступний спосіб – це розділення електричних зарядів в грозовій хмарі за рахунок енергії сонячного випромінювання. Дійсно, різні поверхні землі (болота, водойми, рілля) прогріваються Сонцем нерівномірно. Це викликає потужні висхідні потоки нагрітого повітря, що є причиною утворення потужних грозових хмар і гроз.

Подумайте і дайте відповідь

1. Назвіть три види речовин залежно від їх здатності щодо переміщення електричних зарядів.
2. Які речовини називаються провідниками, а які – діелектриками?
3. Як на досліді можна встановити, чи є тіло провідником або ізолятором?
4. Чи існують інші види електризації, крім електризації через тертя і через дотик?
5. Поясніть механізм електризації через вплив.
6. Поясніть, чому в досліді зображеному на рис. 97 при піднесенні до циліндрика з металеві фольги позитивно зарядженої скляної палички негативно заряджені вільні електрони притягуються до палички і концентруються на тій частині циліндрика, який знаходиться найближче до палички.

Розв'яжіть задачі та оцініть результати

Вправа 24.

1. Виготовте дві легких кульки з металевої фольги і підвісьте одну них на шовковій нитці, а другу – на дуже тонкому металевому дроті (або металевій нитці), які з'єднані із землею. Спостерігайте, що відбудеться з кульками, якщо торкнутись кожної з них зарядженою скляною (або пластмасовою) паличкою. Виконайте в зошиті рисунок досліду і поясніть його результат.
2. Поясніть, чи можна, тримаючи у руці, зарядити скляну паличку? металевий стержень?
3. Чому громовідвід (блискавковідвід) виготовляють з металу?
4. На одній з двох однакових заряджених кульок є надлишок 10 електронів. Кульки сполучили між собою провідником. Як розподіляться електрони між кульками?
5. Чи можна зарядити тіло, не торкаючись до нього іншим зарядженим тілом? Як при цьому розподіляться заряди в тілі, що заряджається? Запропонуйте метод для експериментальної перевірки своєї відповіді. Виконайте в зошиті рисунок досліду.
6. Чим відрізняються провідники від діелектриків з точки зору їх внутрішньої будови?
- *7. Поясняйте, чому явище електризації через тертя відкрили за допомогою тіл, які не проводять електричних зарядів?

§ 25 ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ.

СИЛОВА ХАРАКТЕРИСТИКА ЕЛЕКТРИЧНОГО ПОЛЯ

Згідно теорії далекодії вважалося, що заряди миттєво діють через порожнечу один на одного без участі будь якого матеріального посередника. При цьому кожний заряд як би «відчуває» на відстані присутність іншого. Теорія далекодії сьогодні представляє лише історичний інтерес.

► 1. Електричне поле – матеріальний носій взаємодії електричних зарядів. При вивченні попереднього матеріалу ви за допомогою експериментів впевнилися в тому, що у процесі електризації неелектризовані тіла під впливом наелектризованих тіл набувають електричних властивостей. Але одна справа, коли між тілами відбувається дотик – при цьому заряди переходять з одного тіла на інше і розподіляються між ними. А як відбувається електризація через вплив – адже при цьому немає безпосереднього контакту між тілами? За допомогою чого і як в цьому випадку наелектризоване тіло діє на неелектризоване? Можна було б передбачити, що це відбувається за рахунок певних особливостей повітря, але за відсутності заряджених тіл ніяких електричних взаємодій в повітрі не фіксується. Як же відбувається взаємодія зарядів? Це питання дуже цікавило учених.

Протягом ХІХ століття в фізиці панувала так звана теорія *далекодії*. Але ця теорія була надто штучною, оскільки не пояснювала, чому одних випадках взаємодія між зарядженими тілами є більшою, а в інших – меншою. Пошуком правильної теорії взаємодії заряджених тіл учені різних країн займалися протягом багатьох десятиліть.

І от нарешті наприкінці ХІХ століття найвидатніший із експериментаторів

того часу, засновник сучасних уявлень про електромагнетизм англійський фізик **Майкл Фарадей** запропонував неочікувану гіпотезу. Фарадей вважав, що простір, який оточує заряджені тіла, відрізняється від звичайного простору, в якому знаходяться незаряджені тіла. Тому він ввів у фізику абсолютно нове поняття – поняття про *електричне поле*. Згідно ідеї Фарадея *в просторі навколо зарядженого тіла виникає електричне поле. Саме через електричне одне заряджене тіло діє на інше*. Після введення Фарадеєм поняття електричного поля в фізиці почала розвиватись теорія близькодії. Отже, за сучасними поглядами *матеріальним носієм взаємодії зарядів є електричне поле*. В ученні про електрику електричне поле відіграє основну роль.

► **2. Що представляє собою електричне поле?** Головна особливість електричного поля – *матеріальність*. Це означає, що електричне поле – це форма існування матерії. Пригадаємо, що *матерія існує незалежно від нашої свідомості*, а, отже, це стосується і електричного поля. До цього вам був знайомий лише один вид матерії – речовина. Тепер ви знаєте, що матерія – *це не лише речовина, а ще й поле*.

Від речовини будь-яке поле, в тому числі й електричне, відрізняється, насамперед, тим, що його не можна безпосередньо сприймати за допомогою органів чуття. Саме з цим пов'язані деякі ускладнення при введенні поняття електричного поля, адже важко повірити в реальність того, чого безпосередньо не відчуваєш!

Впевнитись в існуванні електричного



Майкл Фарадей
(1791 – 1867)
англійський фізик

Згідно теорії близькодії взаємодія між зарядами із скінченою швидкістю передається через електричне поле, яке оточує ці заряди. Електричне поле виникає у просторі навколо зарядженого тіла.

Крім електричного, існує багато інших полів – гравітаційне, магнітне, електромагнітне, з проявами яких ви ознайомитесь у подальшому.

Дослідження властивостей фізичних полів сьогодні є одним з найважливіших завдань фізики.

Ви знаєте, що для спостереження за матеріальним об'єктом ми використовуємо зір, слух, сприймання на дотик тощо; саме вони надають нам інформацію щодо спостережуваного об'єкту або явища і підтверджують їх наявність.

поля можна за його діями.

► **З***. **Силова характеристика електричного поля.** Для експериментального дослідження властивостей поля, в нього треба вносити деякий заряд і спостерігати за дією поля на цей заряд. Але яким цей заряд повинен бути? Очевидно, що заряд, за допомогою якого досліджується поле має бути *набагато меншим* від того заряду, який створює досліджуване поле. В протилежному випадку він буде це поле спотворювати. *Такий заряд називається пробним.* Умовно приймається, що пробний заряд є позитивним. Як же діє електричне поле на пробний заряд? За допомогою експерименту можна переконатись в тому, що при розміщенні пробного заряду в різні точки електричного поля, створеного певним зарядженим тілом, на цей заряд буде діяти *неоднакова* сила. Відповідно, електричне поле в різних точках є *неоднаковим і за величиною сили, що діє на пробний заряд, можна судити про величину електричного поля зарядженого тіла в кожній точці.* Для цього вводиться фізична величина, яка називається *напруженістю електричного поля і є силовою характеристикою поля.* Напруженість позначається літерою *E* латинського алфавіту.

Напруженість електричного поля – це фізична величина, яка дорівнює відношенню сили, з якою поле діє на заряд, до величини цього заряду:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

де \vec{E} – напруженість електричного поля;

\vec{E} – сила, яка діє на заряд в електричному полі; q – величина заряду.

Одиницею вимірювання напруженості в системі СІ є *ньютон на кулон*:

$$[E] = \frac{H}{Kл}$$

Напруженість електричного поля, як і сила, є величиною *векторною* \vec{E} . Напрямок напруженості електричного поля співпадає з напрямом сили, що діє в цьому полі на позитивний заряд.

Ми з вами розглядатимемо електричні поля, які *створюються нерухомими зарядами і не змінюються з часом*. Такі поля називаються **електростатичними**.

Розділ фізики, в якому вивчаються властивості і взаємодія нерухомих електричних зарядів та властивості електростатичних полів, називається електростатикою.

► **4. Чи можна наочно уявити електричне поле?** Так, можна. Для цього використовується певна модель – електричне поле зображається за допомогою так званих силових ліній електричного поля або лінії напруженості.

Найпростішу модель силових ліній електричного поля можна продемонструвати за допомогою султанів. Султан представляє собою металевий стержень на ізолюючій основі, до верхньої частини якого прикріплені білі або кольорові смужки тонкого паперу.

Зарядимо султан добре наелектризованою паличкою. Побачимо, що паперові смужки розташуються радіально. Так ви-

Основною ознакою наявності електричного поля є те, що на будь-яке заряджене тіло або заряд, внесені в це поле, діє сила.

Сила яка діє на заряджені тіла або заряди в електричному полі, називається електричною силою.

Моделлю пробного заряду може слугувати, наприклад, легка бузинова кулька на шовковій нитці. Отже пробний заряд – це малий позитивний заряд, який не спотворює досліджуваного поля і не впливає на результати вимірювань.



Рис. 98. Картина ліній напруженості електричного поля, створеного одним зарядом

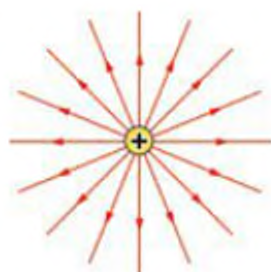


Рис. 99, а. Схематичне зображення ліній напруженості електричного поля, створеного позитивним зарядом

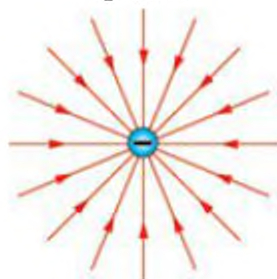


Рис. 99, б. Схематичне зображення ліній напруженості електричного поля, створеного негативним зарядом

глядає картина ліній напруженості електричного поля, створеного одним зарядом (рис. 98).

На рис. 99, а показано схематичне зображення ліній напруженості електричного поля, створеного позитивним зарядом, а на (рис. 99, б) – негативним. Лінії напруженості позитивного заряду спрямовані *від заряду* і простягаються у нескінченність, а лінії напруженості негативного заряду спрямовані з нескінченності *до заряду*.

Тепер візьмемо два султани і зарядимо їх по чергово різнойменними (рис. 100, а) а потім однойменними (позитивними) зарядами (рис. 100, б).

Схематичне зображення силових ліній електричних полів двох різнойменних зарядів показано на (рис. 101), однойменних – (рис. 102).

Отже, лінії напруженості – це математичні лінії, які є неперервними і ніколи не перетинаються. Дотична, проведена в будь-якій точці до лінії напруженості, співпадає з напрямом вектора напруженості електричного поля в даній точці (рис. 103).

За щільністю ліній напруженості електричного поля можна характеризувати величину поля: там, де силові лінії розташовані щільніше, електричне поле більш сильне, тобто діє на заряджене тіло з більшою силою. Відповідно, з віддаленням від заряду сила, яка діє з боку електричного поля на заряджені тіла, зменшується.

► 5. В дослідах, які ви спостерігали, в результаті дії електричного поля на тіла з певною силою, ці тіла переміщувались.

Відповідно, при цьому електричне поле виконувало роботу. Але для виконання роботи необхідно мати енергію. Отже, в електричному полі завжди запасена енергія, яка називається **енергією електричного поля (електростатичного поля)**.



Рис. 100, а. Два султани, заряджені по чергово різнойменними зарядами.



Рис. 100, б. Два султани, заряджені по чергово однойменними (позитивними) зарядами.

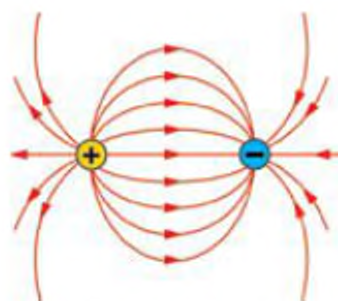


Рис. 101. Схематичне зображення силових ліній електричних полів двох різнойменних зарядів

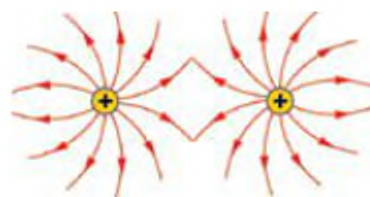


Рис. 102. Схематичне зображення силових ліній електричних полів двох однойменних зарядів

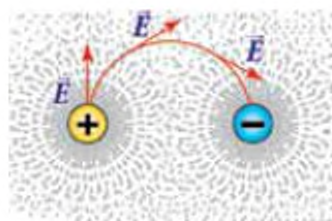


Рис. 103. Дотична, проведена в будь-якій точці до лінії напруженості, співпадає з напрямом вектора напруженості електричного поля в даній точці

ПОГЛИБТЕ СВОЇ ЗНАННЯ

Однорідне електричне поле. Електричне поле можна характеризувати не лише за щільністю ліній напруженості, але й за характером їх взаємного розташування. Якщо лінії напруженості електричного поля паралельні одні до одних, то це означає, що напруженість поля у всіх його точках є однаковою. У протилежному випадку електричні поля називаються неоднорідними і напруженість таких полів змінюється від одної точки до іншої.

Із історії фізики: вчені і факти

Майкл Фарадей – видатний англійський фізик, творець учення про електромагнітне поле. Він народився у м. Лондоні в родині коваля. Після короткочасного навчання у початковій школі, Фарадея у віці 13 років віддали на навчання до палітурника. Свої знання він одержував самостійно шляхом читання книг та відвідування лекцій учених. Фарадей володів блискучим експериментаторським талантом, а тому його ім'я швидко стало відомим серед науковців. Відкриття Фарадея докорінно перетворили уявлення, які панували на той час у галузі електрики та магнетизму. Історія зберегла ім'я Фарадея як найталановитішого дослідника у галузі електрики і магнетизму.

Від теорії до практики

Електростатичне поле допомагає на виробництві. Властивості електростатичного поля успішно використовуються в процесах електростатичного фарбування, покриття паперу наждачним порошком, покриття поверхонь лаком, нанесення емалі на метали (автомобільні заводи, фабрики музичних інструментів, меблеві фабрики, заводи емалевого посуду).

Як за допомогою електричного поля очищується повітря? Для уловлювання димових газів, які у великих кількостях викидаються витяжними трубами заводів, фабрик, теплових електростанцій тощо використовуються електричні фільтри. Дія електрофільтрів заснована на здатності позитивних іонів притягуватись до негативно заряджених поверхонь. Електрофільтр представляє собою металеву трубу, по осі якої натягнутий металевий дріт. Між стінкою труби і дротом створюється електричне поле з дуже великою напруженістю. За такої напруженості в трубі з атомів газу утворюються позитивні іони. Ці іони осідають на частинках диму і притягуються до негативно заряджених стінок труби, утворюючи на них

шар шкідливих відходів. Відходи попадають в спеціальний збірник, з якого їх відправляють на переробку.

Подумайте і дайте відповідь

1. Як учені пояснювали взаємодію зарядів за допомогою теорії далекодії?
2. У чому полягала ідея Фарадея про електричне поле?
3. Поясніть суть теорії близькодії.
4. Як можна виявити електричне поле, адже ми його не відчуваємо?
5. Яку силу називають електричною?
6. Що представляє собою пробний заряд?
7. Нарисуйте лінії напруженості електричного поля, створеного:
а) позитивним зарядом; б) негативним зарядом; в) двома різнойменними зарядами; г) двома однойменними зарядами.

Розв'яжіть задачі та оцініть результати

Вправа 25.

1. Чи відрізняється простір навколо заряджених тіл від простору навколо тіл незаряджених? Якщо відрізняються, то чим?
2. Якими зарядами створюється електричне поле – позитивними, негативними або будь-якими? Відповідь обґрунтуйте.
3. Для дослідження електричного поля, створеного деяким зарядом, обрали пробний заряд, величина якого порівняна з величиною цього заряду. Як це відіб'ється на результатах досліджень? Чому?
4. Чи може існувати електричне поле за відсутності заряду або зарядженого тіла?
5. Підтвердіть за допомогою відповідних прикладів той факт, що електричне поле має енергію.
6. В якому полі на електричний заряд діє менша сила: в тому, в якого силові лінії розташовані більш щільно чи менш щільно?

§ 26. ЗАКОН КУЛОНА



Шарль Кулон
(1736–1806)
французський фізик

► 1. Крутильні терези – прилад для дослідження взаємодії заряджених тіл. Перші кількісні експериментальні дослідження електричних явищ почались лише в кінці XVII століття. До того часу фізика не існувало приладів, за допомоги яких можна було б виміряти електричну силу.

В 1785 році французький фізик Шарль Кулон, який цікавився виготовленням різних фізичних приладів, сконструював дуже чутливий прилад для вимірювання сили – крутильні терези і за їх допомогою дослідив взаємодію заряджених тіл.

Розглянемо, як побудовані і як діють крутильні терези.

Основною частиною приладу (рис. 104) є пружна металева нитка H , що з'єднана одним кінцем з поворотною головкою G , за шкалою якої можна визначати кут закручування нитки. До другого кінця нитки прикріплено легке коромисло K , виготовлене з ізолятору (зокрема, скла). На кінцях коромисла закріплені металева кулька A і противага (для зрівноваження коромисла). Для перешкодження повітряним потокам чутлива частина приладу вміщена у скляний циліндр C , на якому нанесено шкалу. Через отвір у кришці циліндру всередину приладу можна вносити металеву кульку B на ізолюючому стержні для зарядження кульки A .

Якщо зарядженою кулькою B торкнутись до кульки A , то кулька A зарядиться і вони відштовхнуться одна від одної. При

цьому коромисло повернеться і закрутить нитку. *За кутом закручування нитки можна визначити силу взаємодії кульок.*

Виконавши за допомогою крутильних терезів велику кількість дослідів, Кулон встановив, *що сила взаємодії заряджених кульок обернено пропорційна до квадрату відстані між ними*

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

Але для остаточного встановлення закону взаємодії заряджених тіл необхідно було ще визначити, як залежить сила взаємодії тіл від величини зарядів, які на них знаходяться. Дослідне визначення такої залежності виявилось складним, оскільки невідомими були величини зарядів на кульках.

Для усунення цього ускладнення слід врахувати, що при дотиканні провідної зарядженої кульки до такої ж за розмірами незарядженої кульки заряди розподіляються між ними *порівну*.

Отже, якщо до зарядженої кульки А піднести таку саму незаряджену кульку, то заряд на кульці А зменшиться вдвічі. Відповідно зміниться і сила взаємодії між кульками А і В. Аналогічно можна змінити заряд на кульці А в 4, 8 тощо разів і знову виміряти силу взаємодії між кульками А і В.

Змінюючи заряди кульок, Кулон встановив, *що сила їх взаємодії прямо пропорційна добутку зарядів ($F \sim q_1q_2$).*

► **2. Закон Кулона.** Узагальнюючи одержані експериментальні результати, Кулон

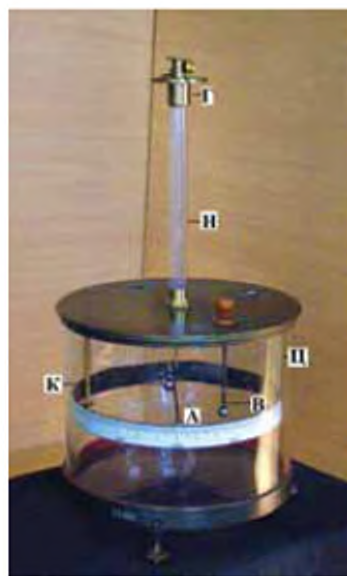


Рис. 104.
Крутильні терези

встановив закон взаємодії електричних зарядів який одержав назву закону Кулона. Закон Кулона є основним законом електростатики.

Сформулюємо цей закон.

Сила взаємодії двох точкових нерухомих зарядів у вакуумі прямо пропорційна добутку модулів цих зарядів і обернено пропорційна квадрату відстані між ними:

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

де q_1 і q_2 – модулі зарядів; r – відстань між зарядами; k – коефіцієнт пропорційності.

Коефіцієнт пропорційності

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

де ϵ_0 – електрична стала, яка в системі СІ має значення:

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

Якщо розглядається взаємодія двох точкових зарядів у вакуумі (або повітрі), то коефіцієнт $k = 9 \cdot 10^9 \text{ (Н} \cdot \text{м}^2\text{)/Кл}$.

► **3. Як впливає середовище на силу взаємодії електричних зарядів?** На практиці заряджені тіла взаємодіють не лише у вакуумі або повітрі, але й у інших непровідних середовищах (гасі, воді тощо). В цьому випадку взаємодії електричних зарядів зменшується, оскільки середовище здійснює певний вплив на цю взаємодію. Кількісно вплив середовища на взаємодію зарядів можна оцінити, якщо порівняти сили їх взаємодії у вакуумі і середовищі. Відношення цих сил називають *відносною*

Заряди називаються точковими, якщо розміри тіл, на яких вони зосереджені, набагато менші від відстаней між цими тілами.

Два припущення, за яких виконується, закон Кулона.

По-перше, закон Кулона має місце лише для точкових зарядів.

По-друге, закон Кулона стосується взаємодії лише нерухомих зарядів.

діелектричною проникністю середовища. Відносна діелектрична проникність середовища вказує, в скільки разів сила взаємодії точкових зарядів у вакуумі більша, ніж сила їх взаємодії в середовищі:

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

Відносна діелектрична проникність середовища є величиною безрозмірною і завжди більша від одиниці. Значення діелектричної проникності середовища визначається з таблиць. У таблиці 1 наведено значення відносної діелектричної проникності деяких речовин

Таблиця 1. Відносна діелектрична проникність речовин

Речовина	ε
Вакуум	1
Вода	81
Гас	2
Гліцерин	39
Ебоніт	2,6
Повітря	1,0006
Сірка	4
Скло	5 – 10
Спирт	27

Отже, закон Кулона для взаємодії двох точкових зарядів у середовищі з діелектричною проникністю має такий вигляд:

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

Користуючись законом Кулона, можна одержати уявлення про величину заряду в 1 Кл. Якщо розрахувати силу взаємодії двох зарядів по 1 Кл кожний, які знаходяться в повітрі на відстані 1 м, то виявиться, що вони діють один на одного з силою в дев'ять тисяч мільйонів ньютон. Отже, 1 кулон – це дуже великий заряд. Навіть заряд Землі є набагато меншим.

Із історії фізики: вчені і факти

Шарль Огюстен де Кулон - видатний французький інженер і фізик, член Паризької академії наук. Експериментальні дослідження Кулона здійснили величезний вплив на становлення і розвиток учення про електрику і магнетизм. Але електростатика була не єдиним науковим захопленням Кулона. Він досліджував також тертя та деформації і визначив закономірності кручення пружних ниток, що відіграло важливу роль при встановленні закону взаємодії зарядів за допомогою крутильних терезів. Кулон виявляв також інтерес до математики і астрономії. В одній із своїх наукових праць він докладно описав рух комети та місячне затемнення, за якими спостерігав.

Подумайте і дайте відповідь

1. Чому кількісні дослідження електричної взаємодії розпочалися лише в кінці XVIII століття?
2. Які заряди називаються точковими?
3. Опишіть будову крутильних терезів і поясніть суть дослідів Кулона.
4. Як формулюється закон Кулона? Запишіть формулу цього закону.
5. Для яких зарядів виконується закон Кулона?
6. Визначте межу застосування закону Кулона.
7. Як записується закон Кулона для взаємодії зарядів у непровідному середовищі? У чому полягає зміст діелектричної проникності середовища?
8. Чому сила взаємодії двох точкових зарядів у вакуумі завжди більша, ніж у будь-якому середовищі?

СИСТЕМАТИЗУЙТЕ ЗНАННЯ З РОЗДІЛУ 4.

► Причина всіх електричних явищ полягає в тому, що в природі існують два роди електричних зарядів – *позитивні* і *негативні*. Носієм елементарного позитивного заряду є *протон*, негативного – електрон. Заряд будь-якого тіла є *кратним до елементарного заряду*. Для виявлення на тілах електричного заряду застосовується електроскоп.

► Тіла набувають електричних властивостей внаслідок електризації. Існують три види електризації тіл: через *тертя*, через *дотик*, через *вплив*. Між наелектризованими тілами відбувається *електрична взаємодія*.

► Згідно ядерної (планетарної) теорії будови атома Резерфорда атом містить позитивно заряджене *ядро* та негативно заряджені *електрони*, які обертаються навколо ядра. По кожній орбіті рухається *один* електрон. Ядро складається з нуклонів: позитивно заряджених *протонів* та електрично нейтральних *нейтронів*.

► Під дією зовнішніх впливів нейтральний атом може *втратити один чи кілька електронів* (при цьому він перетворюється на *позитивний іон*) або *набути надлишкових електронів* (при цьому він перетворюється на *негативний іон*).

► Одним з найголовніших законів природи є *закон збереження електричного заряду*, який виконується лише для замкнених електричних систем.

► Залежно від здатності речовин щодо переміщення електричних зарядів розрізняють *провідники* і *діелектрики (ізолятори)*. В провідниках носіями електричного заряду є *вільні електрони*. В діелектриках вільних електронів немає, тому заряди вздовж діелектрика не переміщуються.

► Сучасна фізика ґрунтується на *теорії близькодії*, згідно якої матеріальним носієм взаємодії зарядів (або заряджених тіл) є *електричне поле*. Електричне поле існує незалежно від нашої свідомості. Для дослідження електричного поля використовується *пробний заряд*, який не спотворює досліджуваного поля.

► Основною ознакою наявності електричного поля є *електрична сила*, яка діє на заряд або заряджене тіло, що внесені в це поле.

► Силовою характеристикою електричного поля є *напруженість електричного поля E* . Електричне поле зображується за допомогою силових ліній (або ліній напруженості). За щільністю розташування

Розв'яжіть задачі та оцініть результати**Вправа 26.**

1. Як зміниться сила взаємодії між двома точковими зарядами, якщо величину кожного заряду збільшити в 4 рази, а відстань між зарядами зменшити вдвічі?
2. Два однакових за величиною і знаком точкових заряди, які знаходяться в вакуумі на відстані 3 м один від одного, відштовхуються з силою 0,4 Н. Визначте величину зарядів.
3. Два заряди, один з яких в 3 рази більший від іншого, знаходяться в вакуумі на відстані 30 см один від одного і взаємодіють з силою 30 Н. Визначте величини зарядів.
4. Користуючись даними попередньої задачі, визначте, на якій відстані у воді ті ж самі заряди будуть взаємодіяти з такою самою силою. Значення діелектричної проникності води наведено у таблиці 1.
5. Ви вже знаєте, що два заряди по 1 Кл кожний, які знаходяться на відстані 1 м у вакуумі (повітрі), діють один на одного з силою $9 \cdot 10^9$ Н. Визначте, з якою силою будуть взаємодіяти ці заряди у спирті на такій самій відстані. Порівняйте значення сил взаємодії зарядів у повітрі і спирті. Зробіть висновок щодо впливу середовища на силу взаємодії зарядів. Значення діелектричної проникності спирту наведено у таблиці 1.
- *6. З якою силою взаємодітимуть на відстані 0,5 м у вакуумі дві металеві кулі, кожна з яких містить $5 \cdot 10^5$ надлишкових електронів?
- *7. Дві кульки, розміщені в повітрі на відстані 20 см одна від одної, мають однакові негативні заряди і взаємодіють між собою із силою $5,76 \cdot 10^{-7}$ Н. Скільки електронів створений заряд кожної кульки?

силових ліній можна оцінити величину електричного поля.

► Поля, які створюються нерухожими *зарядами* і *не змінюються часом*, називаються *електростатичними*.

► В електричному полі завжди запасена енергія, яка називається *енергією електричного поля*.

► Основним законом електростатики є *закон Кулона*, який визначає силу електричної взаємодії двох точкових зарядів у вакуумі або в середовищі з певною діелектричною проникністю ϵ .

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДО РОЗДІЛУ 4 «ЕЛЕКТРИЧНІ ЯВИЩА»

Початковий рівень

1. Який з перелічених прикладів відноситься до прояву явища електризації?

А Притягання тіл до Землі.

Б Рух повітряних мас в атмосфері.

В Орієнтація магнітної стрілки в магнітному полі Землі.

Г Больове відчуття у пальцях при доторканні до металевих поверхонь.

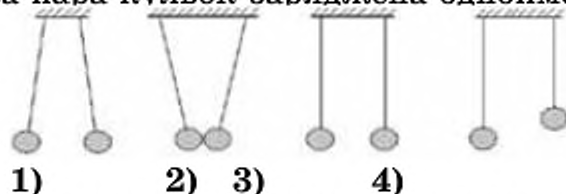
2. На рисунку зображені легкі кульки, підвішені на шовкових нитках. Яка пара кульок заряджена однойменними зарядами?

А 2).

Б 4).

В 1).

Г 3).



1)

2)

3)

4)

3. Частинка, яка має найменший негативний заряд, називається

А Молекулою. Б Атомом. В Протоном. Г Електроном.

Середній рівень

4. В атомі кисню 16 частинок, з яких 8 протонів. Скільки електронів і нейтронів містить атом кисню?

А 8 електронів і 16 нейтронів.

Б 8 електронів і 8 нейтронів;

В 16 електронів і 8 нейтронів;

Г 16 електронів і 16 нейтронів.

5. Які заряди одержують при електризації через тертя обидва тіла?

- А Рівні за абсолютною величиною і однакові за знаком.
- Б Різні за абсолютною величиною і однакові за знаком.
- В Різні за абсолютною величиною і протилежні за знаком.
- Г Рівні за абсолютною величиною і протилежні за знаком.

6. Чи може електричний заряд існувати за відсутності тіл?

- А Так, оскільки носіями елементарного негативного заряду є електрони.
- Б Так, оскільки носіями елементарного позитивного заряду є протони.
- В Ні, оскільки заряд визначає електричні властивості тіла.
- Г Ні, оскільки заряд залежить від властивостей тіла.

Достатній рівень

7. До яких наслідків призводить вплив атмосферної електрики на літаки?

- А У процесі польоту корпуси літаків руйнуються.
- Б У процесі польоту корпуси літаків електризуються.
- В У процесі польоту з корпуси літаків охолоджуються.
- Г У процесі польоту корпуси літаків деформуються.

8. Чи будуть електричні заряди взаємодіяти на Місяці, де відсутня атмосфера?

- А Так, оскільки взаємодія між зарядами відбувається за допомогою електричного поля, яке створюється в будь-якому середовищі.
- Б Так, оскільки взаємодія між зарядами відбувається лише у вакуумі.
- В Ні, тому що взаємодія між зарядами відбувається через повітря.
- Г Ні, тому що на Місяці електричне поле не створюється внаслідок відсутності атмосфери.

9. Два точкових заряди величиною по $10 \cdot 10^{-9}$ Кл кожен розміщені в повітрі. Як зміниться сила взаємодії між зарядами, якщо відстань між ними зменшити в 2 рази?

- А Зменшиться в 2 рази.
- Б Збільшиться в 2 рази.
- В Зменшиться в 4 рази.
- Г Збільшиться в 4 рази.

Високий рівень

10. Чи змінюється в процесі електризації сумарний заряд тіл?

А Ні, оскільки в процесі електризації виконується закон збереження електричного заряду.

Б Ні, оскільки в кожному тілі знаходиться певна кількість електричних зарядів.

В Так, оскільки в процесі електризації виконується закон збереження електричного заряду.

Г Так, оскільки в процесі електризації заряди перерозподіляються між тілами.

11. Які фундаментальні властивості матерії виявляються у факті існування двох родів електричних зарядів?

А Властивість незнищуваності матерії.

Б Властивість нестворюваності матерії.

В Властивість невичерпності матерії.

Г Властивість симетрії матерії.

12. Обчисліть, з якою силою взаємодіють два електрона, які знаходяться в повітрі на відстані $2 \cdot 10^{-8}$ см. Електрони притягуються або відштовхуються?

А $6 \cdot 10^{-19}$ Н. Електрони відштовхуються.

Б $6 \cdot 10^{-9}$ Н. Електрони відштовхуються.

В $6 \cdot 10^9$ Н. Електрони відштовхуються.

Г $6 \cdot 10^{19}$ Н. Електрони відштовхуються.

ЗАДАЧІ ДО РОЗДІЛУ 4

1. Чи можна надати тілу електричний заряд, який є меншим від заряду електрона? *(Відповідь: ні, оскільки електрон є носієм елементарного електричного заряду).*

2. Чому закон збереження електричного заряду виконується лише для замкнених систем? *(Відповідь: тому що тіла такої системи не обмінюються електричним зарядом із зовнішніми тілами).*

3. У чому полягає фундаментальність закону збереження електричного заряду? *(Відповідь: у тому, що він виконується у всіх фізичних явищах і процесах).*

4. У чому полягає умовність аналогії між планетарною моделлю атома Резерфорда і Сонячною системою? *(Відповідь: між електронами діють сили відштовхування, а між планетами – сили притягання).*

5. Чому нижній кінець громовідводу слід закопувати якомога глибше, де шари землі вологі? *(Відповідь: тому що у цьому випадку будуть створені найкращі умови для стікання електричних зарядів крізь громовідвід у землю).*

6. Де і чому слід заховатись, якщо Ви потрапили у грозу на відкритій місцевості? *(Відповідь: у невисоких кущах, тому що при цьому високі оточуючі предмети будуть слугувати громовідводом).*

7. Що за сучасними поглядами є матеріальним носієм взаємодії електричних зарядів? *(Відповідь: електричне поле).*

8. Ебонітову паличку потерли вовною, при цьому її електричний заряд став рівним $-11,2 \cdot 10^{-8}$ Кл? Обчисліть, скільки електронів набула ебонітова паличка в процесі електризації? Заряд електрона $-1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Обґрунтуйте, чи змінилася при цьому маса ебонітової палички. *(Відповідь: $7 \cdot 10^{11}$. Так, змінилася, оскільки електрони мають масу).*

9. Дві заряджені пилінки знаходяться у повітрі на відстані 0,1 см одна від одної і відштовхуються з силою $4 \cdot 10^{-5}$ Н. Визначте число надлишкових електронів на кожній пилінці. Вважайте заряди пилінок однаковими. *(Відповідь: $4 \cdot 10^8$).*

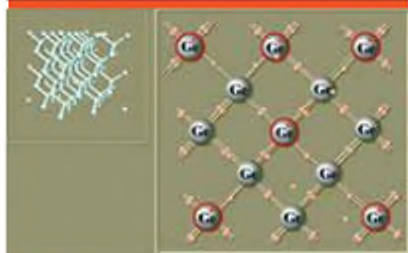
10. Визначте, з якою силою діє електричне поле Землі, напруженість якого $-100 \frac{\text{Н}}{\text{Кл}}$, на тіло із зарядом $1 \cdot 10^{-6}$ Кл.

(Відповідь: $-1 \cdot 10^{-4}$ Н).

Частина II

Розділ 5. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ. ЗАКОНИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ.

- Які умови існування електричного струму
- Рух яких заряджених частинок приймають за напрям електричного струму
- Які є дії електричного струму
- Яка із дій електричного струму за висловом Майкла Фарадея: «немає дії, яка була б найхарактернішою для електричного струму» завжди незалежна від властивостей провідників
- Якими приладами вимірюються величина струму і напруги в колі
- Від чого залежить опір провідників
- Чому освітлювальні лампи з'єднують паралельно?
- Які закони електричного струму при послідовному і паралельному сполученні?
- Чому металеві провідники при проходженні електричного струму нагріваються?



§ 27. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ. ДІЇ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ

Електричним струмом називають упорядкований (напрявлений) рух електрично заряджених частинок.

Які ж заряджені частинки можуть переміщуватись і створювати електричний струм?

Ми вже знаємо, що в тілах є електрони. Електрони мають від'ємний електричний заряд. Електричний заряд мають також і йони. Отже, в тілах можуть рухатись різні заряджені частинки – електрони та йони, як додатні, так і від'ємні.

Розрізняють електричний струм провідності та конвекційний струм.

Для існування електричного струму треба здійснення таких двох умов:

► Поставимо питання: що таке електричний струм?

У провіднику за звичайних умов заряджені частинки знаходяться в рівновазі і здійснюють безладний, хаотичний рух (тепловий рух). У цьому випадку відсутній напрямлений рух заряджених частинок.

Але коли в якомусь тілі переміщаються електрично заряджені частинки в одному певному напрямі, то кажуть, що в цьому тілі є *електричний струм*, а електрично заряджені частинки називають *носіями заряду*.

Електричний струм провідності зв'язаний з рухом заряджених частинок у тілі.

Конвекційний струм зв'язаний з рухом у просторі зарядженого тіла. Наприклад, рух по орбіті Землі, що має надлишковий негативний електричний заряд, можна вважати за конвекційний струм.

Ми будемо вивчати електричний струм провідності, який називають просто електричним струмом.

Під дією електричного поля заряджені частинки починають рухатись у напрямку дії на них електричних сил. Так виникає електричний струм.

► **Напрямок електричного струму.**

Виникає питання, рух яких саме заряджених частинок слід взяти за напрям електричного струму?

Історично склалося так, що незалежно від того, рух яких частинок — негативно чи позитивно заряджених — зумовлює

електричний струм, за напрям струму беруть умовно той напрям, у якому рухаються (або могли б рухатися) в провіднику позитивно заряджені частинки під дією електричного поля. Це враховано в усіх правилах і законах електричного струму.

► **Дії електричного струму.**

Розрізняють теплову, магнітну, хімічну, світлову, механічну дії струму.

► **Теплова і світлова дія струму.**

Теплову дію струму можна спостерігати, якщо до джерела струму приєднати електричну лампочку (рис. 105). Нитка лампочки нагрівається і починає світитися. *Теплова дія* струму використовується в усіх побутових електронагрівних приладах, а *світлова* — в електричних лампах розжарення.

Нагрівання провідників при проходженні через них струму може бути більше або менше залежно від властивостей провідників. У нашому досліді нитка лампочки дуже розжарюється і світиться, а інші провідники, що підводять електричний струм, не нагріваються.

► **Магнітна дія струму.**

Магнітна стрілка відхиляється від початкового положення, коли над нею (або поруч) по провіднику проходить електричний струм (рис. 106, а). Коли струм припиняється магнітна стрілка повертається в попереднє положення. Отже, електричний струм виявляє магнітну дію.

Якщо мідний ізольований провід намотати на залізний цвях і з'єднати з джерелом струму (рис. 106, б), то провідником ітиме струм. При цьому цвях намагнічу-

Перша – це наявність у тілі вільних заряджених частинок, які могли б у ньому рухатися. Друга – наявність електричного поля.

За напрям струму беруть умовно той напрям, у якому рухаються (або могли б рухатися) в провіднику позитивно заряджені частинки під дією електричного поля.



Рис. 105.
Електронагрівний прилад



Рис. 106, а. Магнітна стрілка відхиляється від початкового положення, коли над нею (або поруч) по провіднику проходить електричний струм



Рис. 106, б. Мідний ізолюваний провід намотати на залізний цвях і з'єднати з джерелом струму.



Рис. 107. Гальванометр

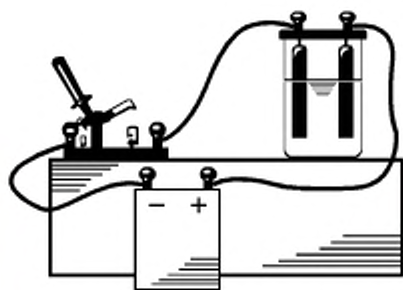


Рис. 108. При пропусканні струму через розчин мідного купоросу (CuSO_4) на негативно зарядженому електроді виділяється мідь (Cu)

ватиметься і може притягати до себе невеличкі залізні предмети. Це і є найпростіша модель електромагніту.

Підкреслимо, що магнітна дія струму проявляється завжди незалежно від властивостей провідника. Тому Майкл Фарадай розглядаючи магнітну дію струму, підкреслив, що: «Немає дії, яка була б найхарактернішою для електричного струму.» саме магнітну дію струму з усіх його дій розглядають як найхарактерніший прояв струму. Явище взаємодії провідника зі струмом і магніту використовується в електровимірювальних приладах, які називаються *гальванометрами*. Стрілка гальванометра зв'язана з рухомою рамкою, що знаходиться в магнітному полі.

На рис. 107 показано зовнішній вигляд гальванометра. Отже, за допомогою гальванометра можна виявити наявність струму в колі.

► **Хімічна дія струму.** Під час проходження через деякі водні розчини кислот, лугів і солей електричного струму на електродах, які занурені у розчин, виділяються речовини, що є у розчині. Так, при пропусканні струму через розчин мідного купоросу (CuSO_4) на негативно зарядженому електроді виділяється мідь (Cu) (рис. 108).

► **Механічна дія струму.** Є ще одна дія електричного струму, яку можна віднести до *механічної дії*. Завдяки струму, що живить електродвигун, відбувається рух трамваїв, тролейбусів, електромобілів та працюють інші пристрої.

В основі роботи електродвигуна також лежить явище взаємодії провідника зі

струмом і магніту (рис. 109). Явище взаємодії провідника зі струмом і магніту лежить в основі роботи не лише електродвигунів, а і багатьох електровимірювальних приладів.

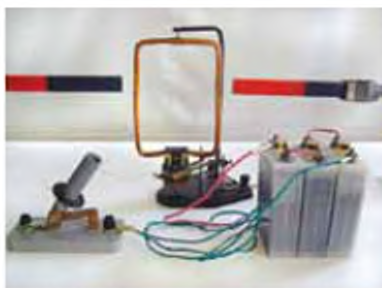


Рис. 109. Явище взаємодії провідника зі струмом і магніту

ПОГЛИБТЕ СВОЇ ЗНАННЯ

Провідники першого та другого роду

Експерименти свідчать, що хімічна дія струму спостерігається не у всіх провідниках. У так званих провідниках першого роду, до яких належать всі метали, а також вугілля, проходження електричного струму не викликає хімічної дії, а в провідниках другого роду (електролітах — розчинах кислот, лугів і солей та багатьох інших) електричний струм спричиняє розкладання цих речовин.

Нагрівання провідників під час проходження через них електричного струму також спостерігається не завжди.

А от магнітна дія струму виявляється завжди, незалежно від властивостей провідників. Тому Майкл Фарадей, характеризуючи магнітну дію струму, підкреслив, що; «Немає дії, яка б була найхарактернішою для електричного струму»

Подумайте і дайте відповідь

1. Як можна спотерігати на досліді теплову і світлову дії струму?
2. Як можна спотерігати на досліді хімічну дію струму?
3. Де використовують теплову і хімічну дії струму?
4. Де використовується магнітна дія струму?
5. Де використовується механічна дія струму?

§ 28. ЕЛЕКТРИЧНА ПРОВІДНІСТЬ МАТЕРІАЛІВ: ПРОВІДНИКИ, НАПІВПРОВІДНИКИ, ДІЕЛЕКТРИКИ

За здатністю проводити електричний струм речовини поділяються на провідники, діелектрики і напівпровідники.

Добрими провідниками є всі метали, водні розчини солей і кислот, графіт.

Діелектриками або ізоляторами називають матеріали (тіла) які не проводять електричний струм.

Напівпровідниками називають матеріали (тіла), які за своїми властивостями займають проміжне становище між дуже добрими провідниками і дуже добрими діелектриками.

Ми знаємо, що всі речовини в природі мають неоднакову здатність проводити тепло. Виявляється, що речовини мають також неоднакову здатність проводити електричний струм.

► **Провідниками називають матеріали (тіла), які добре проводять електричний струм.** А це означає, що заряджені частинки в таких матеріалах можуть легко переміщуватись.

В діелектриках заряджені частинки не можуть переміщуватись. Діелектриками є скло, фарфор, бурштин, ебоніт і всі пластмаси.

Але значна кількість тіл у природі не належать проте ні до тієї, ні до другої групи і тому отримали назву напівпровідники.

Поділ матеріалів на провідники, напівпровідники і діелектрики є умовним. І може так статися, що та сама речовина в одних випадках повинна розглядатися як діелектрик (ізолятор), а в інших випадках — як провідник.

Подумайте і дайте відповідь

1. Назвіть матеріали, які добре проводять електричний струм.
2. Назвіть матеріали, що не проводять електричний струм.
3. Які матеріали за своїми властивостями відносять до напівпровідників?

§ 29. СТРУМ У МЕТАЛАХ

Ми вже знаємо, що носіями заряду у металах є вільні електрони. Звідки ж беруться вільні електрони в металах і як вони рухаються?

Метали у твердому стані мають кристалічну будову. За сучасними уявленнями, електрони, які є на зовнішніх орбітах атомів (це так звані валентні електрони), найслабше зв'язані з ядрами атомів. Ці електрони легко відриваються від атома, рухаються в проміжках між атомами і називаються «вільними електронами».

Для одновалентних металів на один атом (позитивний йон) припадає один *вільний електрон*.

► *Від'ємний заряд усіх вільних електронів за абсолютним значенням дорівнює позитивному заряду всіх йонів кристалічної ґратки.*

Тому за звичайних умов метали електрично нейтральні (рис. 110). Розрахунки показують, що число вільних електронів у металі приблизно дорівнює $8,5 \cdot 10^{28} \text{ м}^{-3}$.

Усі вільні електрони рівномірно розподілені по всьому об'єму металу і беруть участь в хаотичному поступальному тепловому русі, аналогічному тепловому руху молекул газу.

Але якщо в металі створити електричне поле, то вільні електрони почнуть рухатись напрямлено під дією електричного поля. Виникне електричний струм.

Атоми в металі розташовуються в певному порядку і утворюють просторову кристалічну ґратку.

Атоми, що коливаються у вузлах кристалічної ґратки навколо положення рівноваги, після втрати електрона стають позитивними йонами.

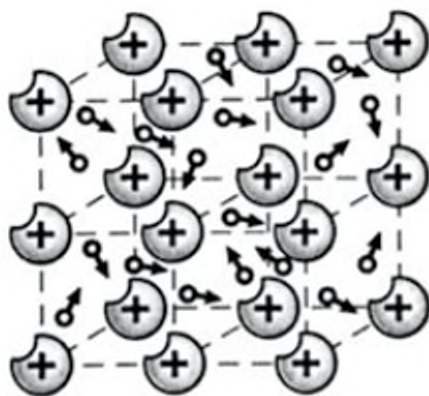


Рис. 110. За звичайних умов метали електрично нейтральні

Отже, електричний струм у металах зумовлений впорядкованим рухом вільних електронів.

Подумайте і дайте відповідь

1. Що являє собою електричний струм у металах?
2. Який знак заряду у частинок, що напрямлено рухаються в металевому провіднику під дією електричного поля?
3. Як пояснити, що за звичайних умов метал електрично нейтральний?

ПОГЛИБТЕ СВОЇ ЗНАННЯ

Термістори.

Термістори – або інша назва терморезистори – одні з самих простих напівпровідникових приладів, які призначені для вимірювання температури за значенням сили струму в колі із включеним в ньому термістором.

Випускаються термістори у вигляді стержнів, трубок, дисків або бусинок розмірами від декількох мікрометрів до декількох сантиметрів. Діапазон температур вимірювання від 170 до 570 К. Для наукових цілей існують термістори для вимірювання як дуже низьких ($\approx 4 \cdot 80$ К) температур, так і дуже високих (≈ 1300 К).

Широкого використання термістори набули в схемах протипожежної безпеки. В кожній квартирі обов'язково є такий датчик температури – термістор, який сигналізує про небезпеку при підвищенні температури.

Розширте науковий кругозір

Яка швидкість електричного струму? Електричний струм – то є напрямлений рух електрично заряджених частинок, що можуть вільно переміщуватися під дією сил електричного поля (для металів – це рух від'ємно заряджених вільних електронів). Хоч швидкість руху окремих електронів протягом їх вільного пробігу (від зіткнення до зіткнення) величезна (понад 100 км/с), але швидкість упорядкованого переміщення електронів дуже мала. Весь час затримуючись і відхиляючись від «курсу», електрони переміщуються («дрейфують») вперед повільніше, ніж, скажімо, равлик. Так, середня швидкість равлика 1 мм/с, а електрон переміщується в напрямі проводу зі швидкістю близько 0,3 мм/с. Але чому ж достатньо увімкнути вимикач і вмить спалахує електрична лампа? Як же узгодити цю суперечність – повільне переміщення електронів уздовж проводу і миттєве пе-

редавання сигналу? Річ в тім, що під швидкістю струму розуміють не швидкість напрямленого руху електронів, а швидкість поширення електричного поля, що зумовлює цей рух. А швидкість поширення електричного поля дорівнює 300 000 км/с!

Якщо хтось на кінці телеграфного проводу, скажімо в Ужгороді, змінить напругу на 10 В, то спостерігач у Києві помітить появу струму через $\frac{620 \text{ км}}{300000 \text{ км/с}} = 0,002 \text{ с}$. А ті заряди, які в цей момент перебували в Ужгороді, перемістилися б у Київ лише через 100 000 років.

Електричне поле поширюється майже миттєво, тому й спонукає всі вільні електрони до напрямленого руху майже одночасно в усьому провіднику. Наче б то по команді!

Із історії фізики: вчені і факти

Дослідні підтвердження природи електричного струму в металах.

Здавалося б, що все зрозуміло: носіями електричного струму в металах є вільні електрони!

Дослідне підтвердження це припущення отримало лише на початку ХХ ст.

Російські вчені Л.І. Мандельштам (1879–1944) і М.Д. Папалексі в 1913 р. виконали такий дослід: котушка з намотаним на неї дротом могла здійснювати крутильні коливання. До кінців дроту була приєднана телефонна трубка. При швидких крутильних коливаннях котушки навколо її осі виникав тріск у телефонній трубці. Це свідчило, що в металевому дроті виникає електричний струм, зумовлений інерційним рухом заряджених частинок.

В 1916 році американські фізики Р. Толмен (1881–1948) і Б. Стюарт удосконалили цей дослід, замінивши телефонну трубку на чутливий гальванометр (рис. 111). **Дослід підтвердив, що носіями струму в металах є електрони.**

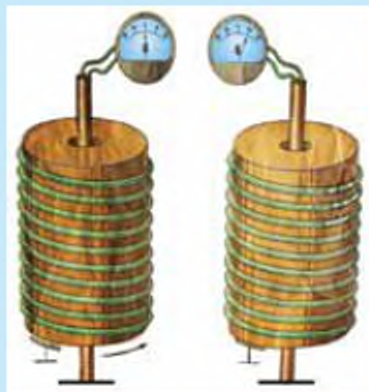


Рис. 111. Удосконалений дослід Л.І. Мандельштама та М.Д. Папалексі

§ 30. ЕЛЕКТРИЧНЕ КОЛО ТА ЙОГО ОСНОВНІ ЕЛЕМЕНТИ

Джерело струму, приймачі, пристрої для замикання і розмикання кіл, електровимірювальні прилади, з'єднані між собою проводами, складають найпростіше електричне коло.

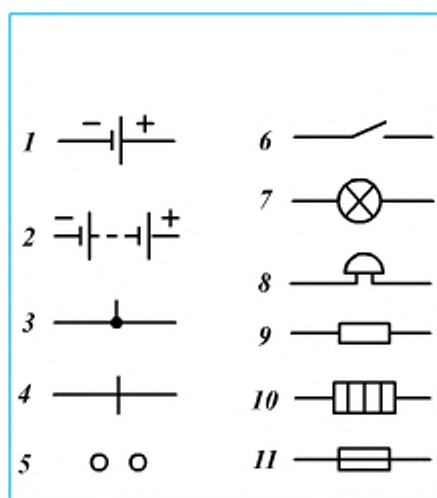


Рис. 112. Умовні позначення знаками приладів на схемах

► **Складові електричного кола.** Щоб використати енергію електричного струму, треба, насамперед, мати джерело струму та пристрій, у якому електрична енергія перетворюватиметься в інші види енергії, – так званий споживач.

Електродвигуни, електронагрівальні прилади, радіоприймачі, телевізори, різні прилади називають споживачами електричної енергії. Щоб передати електричну енергію до приймача, його з'єднують з джерелом електроенергії проводами. Щоб вмикати і вимикати в потрібний час приймачі електричної енергії, застосовують рубильники, кнопки, вимикачі, тобто пристрої, які замикають і розмикають електричне коло. Нарешті, щоб виміряти параметри електричного струму в колі, використовують електровимірювальні прилади амперметри, вольтметри, електролічильники, які надалі будуть Вами вивчатись.

► **Щоб у колі проходив струм, воно має бути замкнутим, тобто складатися лише з провідників електрики.** Якщо в якомусь місці провід обірветься, то струм у колі припиниться. На цьому ґрунтується дія вимикачів.

► **Електрична схема.** Способи з'єднання електричних приладів у коло зображуються на кресленнях, які називають схемами. Прилади на схемах позначають умовними знаками. Деякі з них подано на рис. 112.

1 – гальванічний елемент або акумулятор; 2 – батарея акумуляторів; 3 – точка

з'єднання проводів; 4 – перетин проводів (без з'єднання); 5 – затискачі для вмикання якого-небудь приладу; 6 – вимикач; 7 – електрична лампа, 8 – електричний дзвінок; 9 – провідник, що має певний опір (резистор); 10 – нагрівальний елемент, 11 – плавкий запобіжник.

На рис. 113 зображено схему найпростішого електричного кола.

► **Напрямок електричного струму в електричному колі.** У замкнутому електричному колі протікає електричний струм – впорядкований рух заряджених частинок. У металевих провідниках – це впорядкований рух негативно заряджених електронів, у розчинах кислот, лугів, солей – рух іонів обох знаків, як негативних, так і позитивних. Причому, електрони та негативно заряджені іони в електричному колі рухатимуться від негативного полюса джерела («-») до позитивного полюса («+»), а позитивно заряджені іони рухатимуться у протилежному напрямі. За напрям електричного струму в електричному колі прийнято напрям від позитивного полюса джерела до негативного.

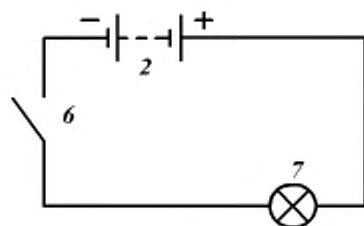


Рис. 113. Схема найпростішого електричного кола

Подумайте і дайте відповідь

1. З яких частин складається електричне коло?
2. Які приймачі або споживачі електричної енергії ви знаєте?
3. Яке електричне коло називається замкну тим? розімкнутим?
4. Що таке схема електричного кола?

§ 31. ДЖЕРЕЛА ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ

Підтримувати електричне поле в провіднику можна за рахунок перетворення інших видів енергії в енергію електричного поля.

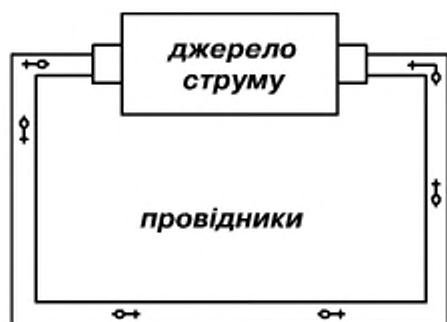


Рис. 114. При з'єднанні полюсів джерела провідником, виникає електричний струм



Рис. 115. Електрофорна машина

Для чого потрібне джерело струму. Необхідною умовою існування електричного струму в провіднику є наявність у ньому електричного поля, під дією якого вільні заряджені частинки рухатимуться у напрямі дії на них електричних сил.

Щоб електричний струм, тобто напрямлений рух вільних заряджених частинок під дією сил електричного поля, існував тривалий час, необхідно весь цей час підтримувати в ньому електричне поле.

Електричне поле в провідниках створюється і може тривалий час підтримуватися джерелами електричного струму (Рис. 114).

▶ **Джерело струму** — це пристрій, який виробляє електричну енергію, перетворюючи в неї інші види енергії (механічну, хімічну, теплову, електромагнітного випромінювання тощо). Розрізняють хімічні джерела струму; це гальванічні елементи і акумулятори та фізичні джерела струму, що перетворюють в електричну всі інші види енергії.

▶ **Розділення зарядів у джерелі струму.** Хоч би якими були джерела струму, але у будь-якому з них виконується робота розділення позитивно і негативно заряджених частинок, які накопичуються на полюсах джерела струму. Полюсами називають місця, до яких за допомогою клем або затискачів під'єднують провідники. Таке розділення заряджених частинок відбувається

у вже відомій вам електрофорній машині (рис. 115). Один полюс джерела струму заряджається позитивно, другий негативно. Якщо полюси джерела з'єднати провідником, то частинки в провіднику рухатимуться, виникне електричний струм.

Перетворення енергії в джерелах струму. Якби не були за конструкцією джерела струму, їх об'єднує те, що в процесі виконання роботи по розділенню електричних зарядів, інші види енергії (механічна, тепла, хімічна тощо) перетворюються в електричну. Так, в електрофорній машині (рис. 115) в електричну енергію перетворюється механічна енергія обертання дисків. Якщо спаяти дві дротини, виготовлені з різних металів, і нагріти місце спаю, то в дротинках виникне електричний струм (рис. 116). В такому джерелі струму, який називають термоелементом, енергія нагрівника перетворюється в електричну енергію. При освітленні речовини (селену, оксиду міді (I), кремнію) світлова енергія може безпосередньо перетворюватися в електричну. На цьому ґрунтується будова і дія фотоелементів (рис. 117).

Перетворення хімічної енергії в електричну відбувається у гальванічних джерелах струму, до яких належать гальванічні елементи (рис. 118) та акумулятори.



Рис. 116. Виникнення електричного струму в спаяних дротинах, виготовлених із різних металів і нагрітих в місці спаю.



Рис. 117. Будова і дія фотоелементів

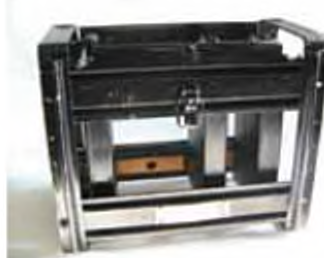


Рис. 118. Гальванічні елементи

Подумайте і дайте відповідь

1. Яке призначення джерела струму в електричному колі?
2. Від якого полюса джерела і до якого прийнято визначати напрям струму?
3. Накресліть електричну схему кишенькового ліхтарика і назвіть частини цього кола.
4. Накресліть схему кола, що складається з одного гальванічного елемента, вимикачів і двох електричних лампочок, кожен з яких можна вмикати окремо.

Фізичне знання в техніці

Гальванічні елементи. Акумулятори.

► **Будова гальванічного елемента.** Найпоширеніший гальванічний елемент складається з цинкової посудини (1), в яку вставлено вугільний стержень (2) (рис. 119). Стержень вміщують у полотняний мішечок (3), наповнений сумішшю оксиду марганцю з вугіллям. Мішечок з стержнем вміщують у цинкову посудину, наповнену густим клейстером (4), що виготовлений з борошна на розчині нашатирю. Цинкову посудину встановлюють у картонну коробку і заливають шаром смоли (5). Внаслідок взаємодії нашатирю з цинком від цинку відокремлюються позитивні йони і він стає негативно зарядженим, а вугільний стержень – позитивно зарядженим. Вугільний стержень і цинкова посудина є електродами. Між електродами виникає електричне поле. Якщо електроди з'єднати провідником, то в провіднику проходитиме електричний струм.

► **Акумулятор** (від латинського accumulator – збирач). Найпростіший акумулятор складається з двох свинцевих пластин (електродів), вміщених у водний розчин сірчаної кислоти. Щоб акумулятор став джерелом струму, через нього пропускають струм від якого-небудь джерела. Цей процес називається «зарядкою акумулятора». У процесі заряджання внаслідок хімічних реакцій один електрод стає позитивно зарядженим, а інший – негативно. Після заряджання акумулятор можна використати як самостійне джерело струму (Рис. 120).

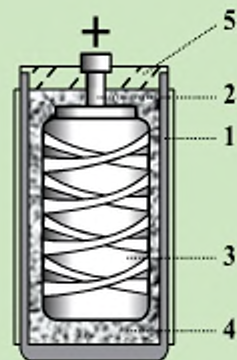


Рис. 119. Будова гальванічного елемента



Рис. 120. Акумулятор, який складається з трьох елементів

Із історії фізики: вчені і факти

Відкриття хімічних джерел струму

У другій половині XVIII ст. проводились різноманітні досліді з виявлення впливу електрики на організм тварин і людини. Так, під впливом електричного струму спостерігались скорочення м'язів лапок жаби.

Досліди з лапками жаби проводив у 1786 р. італійський лікар Луїджі Гальвані (1737–1798 рр.). Одного разу він підвісив на мідних крючках задні лапки жаби до залізних ґрат свого балкону. Яким же було його здивування, коли він виявив, що м'язи лапок скорочувались, якщо він надавлював на мідні крючки. Гальвані дав невірне пояснення відкритому ним явищу виникнення електричного струму між мідними крючками і залізними ґратами балкону. Зокрема, він вважав, що у лапках виникає так звана «тваринна» електрика.

Правильне пояснення відкритого Гальвані явища дав його співвітчизник Алесандро Вольта. Він установив, що це явище пов'язане з наявністю двох різних металів (мідь гачка і залізний стержень), котрі дотикаються до електроліту (рідини в жаб'ячій лапці), і що жаб'яча лапка лише відіграє роль чутливого приладу, який виявляє наявність електричного струму. Відкриті пізніше джерела струму були названі іменем Гальвані – гальванічними елементами.

Гальванічні елементи є хімічними джерелами струму.

Домашнє експериментальне завдання

Найпростіше хімічне джерело струму

Чи можна власноруч зробити найпростіший гальванічний елемент? Виявляється, можна.

Для виготовлення такого джерела необхідно два електроди – це смужка цинку і вугільна паличка. Смужку цинку і вугільну паличку можна взяти із відпрацьованої батарейки кишенькового ліхтарика. Електроди втикаються в солоний огірок (або солоний помідор). Перевірити дію такого джерела струму можна на шкільному гальванометрі або дію такого елемента можна також перевірити за допомогою магнітної стрілки, наприклад, компаса. На циліндричну трубку, вирізану з пластикової пляшки, намотати до 30 витків мідного дроту шириною 5–10 мм (число витків підбирається дослідним шляхом). Діаметр пластикового циліндра мусить бути більшим за діаметр компаса.

Компас розмістіть усередині котушки із витками дроту. Зорієнтуйте площину котушки з дротом з напрямом магнітної стрілки. Приєднайте кінці дроту до джерела струму. Внаслідок магнітної дії струму магнітна стрілка відхилиться (спробуйте розмістити котушку так, щоб магнітна стрілка знаходилась під витками. Використайте для дослідів батарейку кишенькового ліхтаря).

§ 32. СИЛА СТРУМУ. АМПЕРМЕТР.

Отже, силою струму називається фізична величина, що характеризує електричний струм у колі і дорівнює відношенню електричного заряду q , що пройшов через поперечний переріз провідника, до часу його проходження t :

Коли в електричному колі проходить електричний струм, то це означає, що через поперечний переріз провідника разом із рухом заряджених частинок весь час переноситься електричний заряд. Заряд, який переноситься за одиницю часу, є основною кількісною характеристикою струму і називається **силою струму**.

Отже, силою струму називається фізична величина, що характеризує електричний струм у колі і дорівнює відношенню електричного заряду q , що пройшов через поперечний переріз провідника, до часу його проходження t :

$$I = \frac{q}{t} \quad (1)$$

Якщо сила струму з часом не змінюється, такий струм називають постійним.

► **1***. Зв'язок між силою струму, зарядом, концентрацією заряджених частинок і швидкістю їх напрямленого руху.

Розглянемо провідник, який має поперечний переріз площею S . За напрямком руху струму візьмемо напрямок зліва направо (рис. 121). Заряд частинки рівний q_0 . Перерізи 1 і 2 розміщені на відстані l .

В циліндричному об'ємі провідника ($V = S \cdot l$), обмеженого перерізами 1 і 2, міститься частинок $N = n \cdot S \cdot l$,

де n — концентрація заряджених частинок. Загальний заряд частинок в цьому об'ємі рівний добутку заряду частинки на

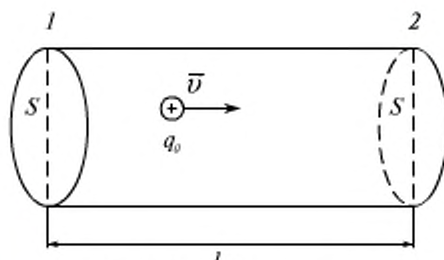


Рис. 121. Провідник з поперечним перерізом площею S

їх чи:

$$q = q_0 \cdot N = q_0 \cdot n \cdot S \cdot l.$$

Якщо швидкість руху частинок \vec{v} , то за час проходження частинкою l відстані $t = \frac{l}{v}$ всі частинки, що знаходяться в об'ємі, пройдуть через переріз S .

Сила струму рівна $I = \frac{q}{t}$, заряд рівний $q = q_0 \cdot n \cdot S \cdot l$. Отже, маємо:

$$I = \frac{q}{t} = \frac{q_0 n S l v}{t} \quad (2)$$

Врахуємо, що $\frac{l}{t} = v$, тоді одержимо:

$$I = q_0 n v S. \quad (3)$$

Формула (3) визначає зв'язок між силою струму, зарядом частинки, їх концентрацією і швидкістю руху

► 2. Одиниця сили струму.

Оскільки $I = \frac{q}{t}$ то сила струму рівна 1 Кл/1с.

Така одиниця вимірювання сили струму називається ампером (А) на честь французького фізика Андре Ампера, 1 А = 1 Кл/1с. Ампер є основною одиницею Міжнародної системи (СІ) і визначається за взаємодією двох паралельних провідників зі струмом, як було вирішено на Міжнародній конференції з мір і ваг у 1948 р.

Ампер Андре Марі – французький фізик і математик. Він запропонував у фізиці поняття електричний струм, першу теорію зв'язку електричних і магнітних явищ та ін.

Визначення одиниці сили струму – Ам-



Ампер Андре Марі
(1775–1836) –
французький фізик
і математик.

Для металевого провідника заряд частинки q_0 рівний заряду електрона e . Формула (3) для сили струму запишеться так:

$$I = envS$$

*де e – заряд електрона ($e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл);
 n – концентрація електронів у металі, v – швидкість руху електронів, S – площа поперечного перерізу провідника.*



Рис. 122.
Два гнучкі прямі провідники
(паралельні один одному)

На практиці, крім одиниці сили струму ампер (А), застосовують також частинні й кратні одиниці сили струму: міліампер (мА), мікроампер (мкА), кілоампер (кА).

$$1 \text{ мА} = 0,001 \text{ А} \\ \text{А} = 10^{-3} \text{ А},$$

$$1 \text{ мкА} = 0,000001 \text{ А} \\ \text{А} = 10^{-6} \text{ А},$$

$$1 \text{ кА} = 1000 \text{ А} = 10^3 \text{ А}.$$

пера. На рис. 122 зображено два гнучкі прямі провідники, паралельні один одному. Якщо обидва провідники під'єднати до джерела струму, то при замиканні кола по провідниках проходить струм, внаслідок чого вони взаємодіють між собою – притягуються, якщо в обох провідниках струм протікає в одному напрямі, або відштовхуються, якщо струм у провідниках тече у протилежних напрямках.

Для того, щоб ввести одиницю сили струму в міжнародній системі одиниць, необхідно взяти дуже тонкі і дуже довгі паралельні провідники, і розмістити їх у вакуумі на відстані 1 м один від одного.

▶ Ампер — це така сила незмінного струму, при якій відрізки двох тонких, нескінченно довгих паралельних провідників довжиною 1 м, що знаходиться на відстані 1 м один від одного, у вакуумі, взаємодіють із силою $2 \cdot 10^{-7} \text{ Н}$.

▶ 3. Одиниці сили струму і заряду.

Через одиницю сили струму – 1 А визначають одиницю електричного заряду – 1 Кл, яка Вам вже відома:

$$1 \text{ кулон} = 1 \text{ Ампер} \cdot 1 \text{ секунда}, \\ \text{або } 1 \text{ Кл} = 1 \text{ А} \cdot 1 \text{ с}$$

Отже, за одиницю електричного заряду приймають заряд, який проходить через поперечний переріз провідника за 1 с при силі струму 1 А.

Електричний заряд іноді називають кількістю електрики.

$$I = \frac{q}{t}, \quad q = It.$$

► **4. Амперметр.** Силу струму в колі вимірюють приладом, який називається амперметром.

Амперметр — це гальванометр, пристосований для вимірювання сили струму, його шкалу проградуєвано в амперах, або частинних чи кратних одиницях ампера. На рис. 123 зображено зовнішній вигляд шкільного демонстраційного амперметра, лабораторного амперметра та умовне позначення амперметра на схемах.

Принцип роботи амперметра (гальванометра) ґрунтується на одній із дій електричного струму, а саме, магнітній. Амперметр складається із легкої котушки з дротом, яка розміщується між полюсами постійного магніту. До котушки кріпиться стрілка. При проходженні електричного струму відбувається взаємодія струму із постійним магнітом, стрілка відхиляється і показує на шкалі приладу значення струму.

► **5. Вмикання амперметра в коло.** Щоб виміряти силу струму, амперметр вмикають у коло послідовно (кінець одного провідника є початком другого) з тим приладом, силу струму в якому вимірюють за допомогою двох клем або затискачів, що є на приладі, з позначками «+» біля однієї і «-» біля другої. На рис. 124 показана схема вмикання амперметра в коло і його умовне позначення.



Рис. 123. Шкільний демонстраційний амперметр

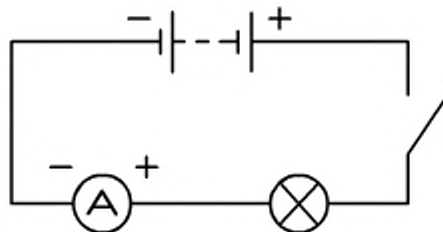


Рис. 124. Схема вмикання амперметра в коло і його умовне позначення.

Подумайте і дайте відповідь

1. Що називають силою електричного струму?
2. Як виражається сила струму через електричний заряд і час?
3. Як визначається одиниця сили струму в СІ – ампер?
4. Як називають прилад для вимірювання сили струму? Як вмикають його у коло?
5. Які частинні і кратні одиниці сили струму ви знаєте.
- 6*. Яким мусить бути опір вимірювальної котушки амперметра (великим чи малим), щоб послідовне включення амперметра в електричне коло не впливало на точність вимірювання величини струму.

Розв'яжіть задачі та оцініть результати

Вправа 32

1. Сила струму в колі електричної плитки 1,4 А. Який електричний заряд проходить через поперечний переріз спіралі за 10 хв.?
2. Яка сила струму, якщо через поперечний переріз провідника проходить заряд 100 Кл за 4 с?
3. Запишіть в амперах силу струму, яка дорівнює 2000 мкА, 100 мА, 3,5 кА.
4. Сила струму в колі електричної лампи рівна 0,3 А. Скільки електронів проходить через поперечний переріз спіралі за 5 хв.
5. Як можна перевірити правильність показів амперметра за допомогою іншого амперметра, точність показів якого перевірено?

§ 33. ЕЛЕКТРИЧНА НАПРУГА. ВОЛЬТМЕТР.

Ми вже знаємо, що в замкненому електричному колі відбувається рух вільних електронів, які утворюють електричний струм. Рух електронів відбувається під дією електричного поля, що створюється джерелом струму. Отже, сили електричного поля виконують роботу по переміщенню зарядів і ця робота називається *роботою струму*. Окрім величини заряду, робота струму визначається ще і фізичною величиною, що отримала назву електричної напруги.

Напруга U на ділянці кола чисельно дорівнює відношенню роботи струму до електричного заряду q , що переміщується через дану ділянку кола:

$$U = \frac{A}{q}$$

Робота струму рівна:

$$A = q \cdot U.$$

► **1. Одиниці електричної напруги.** Електричну напругу вимірюють у вольтах (позначають В). Так її назвали на честь видатного італійського фізика Алессандро Вольта, який створив перший гальванічний елемент.

За одиницю електричної напруги 1 вольт (1 В) приймають таку напругу на кінцях провідника, при якій робота по переміщенню електричного заряду в 1 кулон (1 Кл) по провіднику дорівнює роботі 1 джоуль (1 Дж):

$$1 \text{ В} = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ Кл}}$$

Напруга – це фізична величина, що характеризує електричне поле на певній ділянці електричного кола, або у всьому колі.

На практиці використовують частинні й кратні одиниці: мікровольт (мкВ), мілівольт (мВ), кіловольт (кВ), мегавольт (МВ).

$$1 \text{ мкВ} = 0,000001 \text{ В} = 10^{-6} \text{ В},$$

$$1 \text{ мВ} = 0,001 \text{ В} = 10^{-3} \text{ В},$$

$$1 \text{ МВ} = 1000000 \text{ В} = 10^6 \text{ В}.$$



Вольта Алессандро
(1745 – 1827) – італійський фізик, один із засновників вчення про електричний струм.



Рис. 125. Шкільний демонстраційний вольтметр

► **2. Вольтметр.** Величину електричної напруги можна виміряти за допомогою приладу, що називається вольтметром.

На рис. 125 зображено зовнішній вигляд шкільного демонстраційного вольтметра, а його умовне позначення на схемах рис. 125 а, б.

Принцип роботи вольтметра також ґрунтується на магнітній дії електричного струму. Тоді в чому ж полягає відмінність у будові амперметра і вольтметра? Уважно подивімося на рухому рамку (котушку з дротом), до якої прикріплено стрілку лабораторного амперметра і вольтметра. Ми побачимо, що в амперметрі котушку намотано дротом більшого діаметру, а у вольтметрі дротом меншого діаметру та більшої кількості витків. Чому ж це так, Ви дізнаєтесь у наступних параграфах.

► **3. Вимірювання напруги.**

Пригадаймо, що амперметр в електричне коло вмикається послідовно. Вольтметр для вимірювання електричної напруги включається в коло паралельно.

Затискачі вольтметра під'єднують до тих точок кола, між якими треба виміряти напругу, причому затискач з позначкою «+» приєднують до проводу, що йде від позитивного полюса джерела струму, а з позначкою «-» – до негативного.

На рис. 125 а, зображено, як треба приєднати вольтметр, щоб виміряти напругу на ділянці кола електричної лампи, а на рис. 125 б, щоб виміряти напругу на полюсах джерела струму.

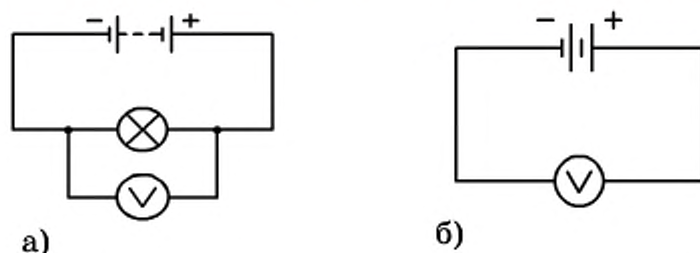


Рис. 125. Умовне позначення на схемах вольтметра

Подумайте і дайте відповідь

1. Що таке електрична напруга?
2. Як можна визначити напругу, знаючи роботу струму і електричний заряд?
3. Як можна визначити роботу струму, знаючи напругу і перенесений заряд?
4. Як можна підрахувати, який заряд перенесено, якщо відомі напруга і робота струму?
5. Що приймають за одиницю напруги?
6. Яким приладом вимірюють напругу? Як вмикають його у коло для вимірювання напруги на ділянці кола?

Розв'яжіть задачі та оцініть результати

Вправа 33.

1. Яка напруга на кінцях провідника, якщо за проходження крізь нього заряду 5 Кл виконується робота 1,1 кДж?
2. Яка робота виконується з переміщення заряду 4,6 мкКл по провіднику, напруга на кінцях якого 2000 В?
3. Розглянемо шкалу вольтметра на рис. 125. Визначте ціну поділки.

§ 34. ЗАКОН ОМА ДЛЯ ДІЛЯНКИ ЕЛЕКТРИЧНОГО КОЛА. ЕЛЕКТРИЧНИЙ ОПІР

Ділянка замкненого електричного кола, яка не містить джерела струму, називається однорідною

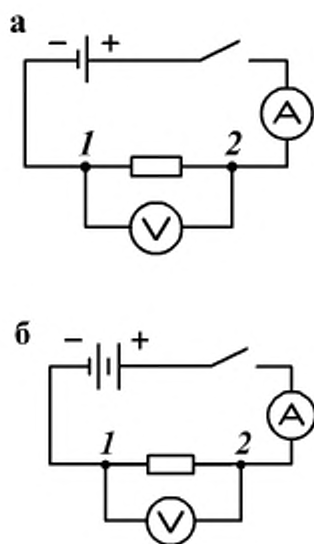


Рис. 126. Схема з одним (а), гальванічним елементом або акумулятором, та двома (б) послідовно з'єднаними акумуляторами.

Ми знаємо, що електричне коло складається із джерела, з'єднувальних провідників і споживачів. В електричне коло для вимірювання сили струму послідовно включається амперметр. Для вимірювання напруги на окремій ділянці кола паралельно цій ділянці включається вольтметр. Для встановлення закону Ома виконаймо такий дослід.

Складемо схему (рис. 126, а) з одним гальванічним елементом або акумулятором. Вольтметр приєднаний до однорідної ділянки кола 1–2 паралельно. На ділянці кола 1–2 приєднано нікелінову дротину (може бути частина спіралі нагрівача). Замкнемо коло і запишемо покази приладів. Потім приєднаймо до першого акумулятора послідовно такий самий акумулятор (рис. 126, б) і знову замкнемо коло. Напруга на дроті збільшилася удвічі, і амперметр покаже вдвічі більшу силу струму. При трьох акумуляторах напруга на спіралі збільшується втричі, у стільки ж разів збільшується сила струму.

Отже, сила струму в провіднику прямо пропорційна напрузі на кінцях провідника однорідної ділянки кола.

Увімкнемо в коло інший провідник – довший або коротший, і знову виконаймо таку саму серію дослідів. Хоча сила струму буде іншою, однак все одно вона змінюватиметься прямо пропорційно напрузі.

Узагальнюючи результати дослідів,

можна зробити висновок:

сила струму в провіднику прямо пропорційна напрузі на його кінцях:

$$I = kU, \quad (1)$$

де I — сила струму, k — коефіцієнт пропорційності між струмом і напругою, який залежить від властивостей провідника.

Цю залежність експериментально встановив у 1827 р. німецький вчений Георг Сімон Ом, провівши багато дослідів з різними провідниками. Цей закон має його ім'я.

► **1. Електропровідність.** Коефіцієнт провідності k між силою струму і напругою залежить від властивостей провідника, від його геометричних розмірів та матеріалу, з якого він виготовлений. Чим більше значення k , тим більша сила струму при тій самій напрузі, тобто тим краще провідник проводить струм. Тому величина k називається *провідністю* провідника, або *електропровідністю*.

► **2. Електричний опір.** На практиці набагато частіше використовують не електропровідність, а величину, їй обернену, яка дістала назву електричного опору, або просто опору.

Позначивши опір провідника через

$$R = \frac{1}{k}, \quad (1)$$

закон Ома можна записати так:

$$I = \frac{U}{R}, \quad (2)$$

де I — сила струму; U — напруга, R — опір. Тому закон Ома для однієї однорідної ді-



Ом Георг Сімон
(1787 – 1854)

німецький фізик.

Теоретично і експериментально обґрунтував закон, який виражає зв'язок між силою струму, напругою і опором.

Цю залежність можна зобразити графічно (рис. 127).

Графік залежності сили струму від напруги є прямою лінією (залежність прямо пропорційна).

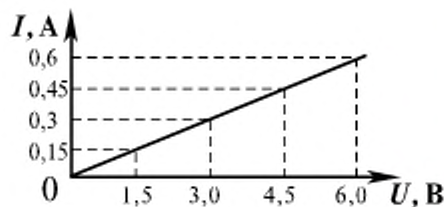


Рис. 127. Графік залежності сили струму від напруги

Сила струму на однарідній ділянці кола прямо пропорційна напрузі на кінцях цієї ділянки і обернено пропорційна її опорю.

Закон Ома для ділянки кола можна ще записати так:

$$U = IR \quad (3)$$

Отже, знаючи силу струму і опір, можна за законом Ома обчислити напругу, а за напругою і силою струму – опір провідника:

$$R = \frac{U}{I} \quad (4)$$

лянки кола можна сформулювати так:

Слід пам'ятати, що опір провідника не залежить ні від сили струму, ні від напруги, а залежить від матеріалу провідника і геометричних розмірів.

► **3. Одиниці опорю.** За одиницю опорю беруть 1 Ом (Ом) – опір такого провідника, в якому за напруги 1 В на його кінцях сила струму дорівнює 1 А.

$$1 \text{ Ом} = \frac{1 \text{ В}}{1 \text{ А}} = 1 \frac{\text{В}}{\text{А}}$$

На практиці часто використовують і такі одиниці опорю: кілоом (кОм), мегаом (МОм).

$$1 \text{ кОм} = 1000 = 10^3 \text{ Ом}$$

$$1 \text{ МОм} = 1000000 \text{ Ом} = 10^6 \text{ Ом}$$

Розв'яжіть задачі та оцініть результати

Вправа 34

1. Напруга на клеммах електричної праски 220 В. Опір нагрівального елемента 50 Ом. Яка сила струму в нагрівальному елементі.
2. При напрузі на кінцях провідника 2 В сила струму в ньому 0,5 А. якою буде сила струму в провіднику, якщо напруга на його кінцях збільшиться до 4 В?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

Вимірювання опору провідника за допомогою амперметра і вольтметра

Мета роботи:

Навчитися розраховувати опір провідника за законом Ома для ділянки кола за допомогою амперметра і вольтметра.

Прилади і матеріали: джерело постійного струму, амперметр, вольтметр, реостат, резистор, вимикач, з'єднувальні провідники (Рис. 128).



Рис. 128. Прилади і матеріали до лабораторної роботи

Порядок виконання роботи

1. Самостійно накресліть схему з послідовно включених джерела струму, реостата, амперметра, резистора, вимикача. Вольтметр приєднайте паралельно до клем резистора з врахуванням полярності. Позначте на схемі напрям струму в електричному колі і полярність амперметра і вольтметра.

2. Замкніть електричне коло за допомогою вимикача. Стрілки амперметра і вольтметра відхиляться від нульового положення.

3. Запишіть покази амперметра і вольтметра до таблиці. *Таблицю, що враховує покази амперметра, вольтметра і опір складіть самостійно.*

4. За допомогою реостата змініть значення сили струму в колі. Запишіть до таблиці одержані значення. Виконайте три вимірювання сили струму і напруги.

5. Розрахуйте за законом Ома опір у кожному із трьох вимірів. Занесіть значення опору до таблиці.

6. Порівняйте отримані значення опору і зробіть висновки.

7. Розрахуйте похибки вимірювання опору даним методом.

Контрольні запитання

1. Чи залежить опір резистора від сили струму? від напруги?
2. Порівняйте отримані значення опору із значеннями, що нанесені на резисторі, і спробуйте пояснити розбіжності.
3. Сформулюйте закон Ома для ділянки кола.

§ 35. ЗАЛЕЖНІСТЬ ОПОРУ ПРОВІДНИКА ВІД ЙОГО ДОВЖИНИ, ПЛОЩІ ПЕРЕРІЗУ ТА МАТЕРІАЛУ

Електричний опір прямо пропорційний довжині провідника, обернено пропорційний площі його поперечного перерізу й залежить від речовини провідника.

За одиницю питомого опору в системі СІ беруть питомий опір провідника завдовжки 1 м, площею поперечного перерізу 1 м², що має опір 1 Ом:

$$[\rho] = 1 \frac{\text{Ом} \cdot \text{м}^2}{\text{м}} = 1 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

Оскільки найчастіше площу поперечного перерізу провідника виражають у мм², користуються і такою одиницею питомого опору:

$$[\rho] = 1 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{мм}}$$

Залежність опору провідника від його геометричних розмірів і речовини, з якої він виготовлений, вперше дослідним способом установив Ом:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1)$$

де R — опір провідника, l — довжина, S — площа поперечного перерізу, ρ (читається «ро») — коефіцієнт пропорційності, який залежить від матеріалу провідника і називається *питомим опором*.

З цієї формули випливає:

$$\rho = \frac{R \cdot S}{l} \quad (2)$$

Вираз (1) ми теж можемо отримати дослідним шляхом. Проробимо такий дослід: у коло джерела струму по черзі вмикатимемо різні провідники: нікелінові провідники однакової товщини, але різної довжини; нікелінові провідники однакової довжини, але різної товщини, і нарешті, нікеліновий і мідний провідники однакової довжини і товщини (рис. 129). Визначивши силу струму і напругу в кожному досліді та обчисливши опір кожного з провідників за формулою (1) побачимо, що:

▶ з двох нікелінових провідників з однаковим поперечним перерізом довша має більший опір;

▶ з двох нікелінових провідників одна-

кової довжини більший опір має дротина з меншим поперечним перерізом;

▶ з двох однакових за розмірами провідників нікеліновий має більший опір, ніж мідний.

Розглянемо значення питомих опорів деяких речовин за кімнатної температури, що подані в таблиці.

Таблиця.

Провідник	ρ , Ом·м
Алюміній	$2,8 \cdot 10^{-8}$
Вольфрам	$5,5 \cdot 10^{-8}$
Графіт	$3 \cdot 10^{-8}$
Залізо	$10 \cdot 10^{-8}$
Золото	$2,4 \cdot 10^{-8}$
Мідь	$1,8 \cdot 10^{-8}$
Нікелін (сплав)	$40 \cdot 10^{-8}$
Срібло	$1,6 \cdot 10^{-8}$
Сталь	$12 \cdot 10^{-8}$
Цинк	$6,1 \cdot 10^{-8}$
Фарфор	10^{13}
Ебоніт	10^{20}
Вода (дистильована)	10^6

Як бачимо, метали (срібло, мідь, золото, алюміній) мають невеликий питомий опір, а найкращі провідники електрики – це срібло і мідь.

В електричних лампах розжарення, електронагрівальних приладах, в яких потрібний великий опір, використовують спеціально створені сплави, що мають питомий опір більший за питомий опір заліза, наприклад, нікелін.

Фарфор та ебоніт мають дуже великий питомий опір у 10^{20} – 10^{21} раз більший за питомий опір заліза, тому вони типові діелектрики, практично не проводять електричного струму, їх використовують як ізолятори.



Рис. 129. Установка для визначення залежності опору провідника від його характеристик.

Для ліній електропередачі використовують алюмінієві та мідні проводи, що мають невеликий питомий опір.

Подібно до того, як величина, обернена до опору провідника, називається електропровідністю, величина, обернена до питомого опору, називається питомою електропровідністю.

ПОГЛИБТЕ СВОЇ ЗНАННЯ**У чому причина електричного опору металів?**

Розглянемо природу електричного опору металевих провідників. Якби електрони в провіднику не зазнавали ніяких перешкод під час свого руху, то вони під дією електричного поля рухалися б необмежено довго. Насправді електрони взаємодіють з йонами (атомами) кристалічної ґратки металів, внаслідок чого сповільнюється їх упорядкований рух, і через поперечний переріз провідника проходить менша кількість заряджених частинок за одиницю часу, тобто зменшується сила струму. Можна передбачити, що чим довший провідник, тим більше разів електрони, що рухаються впорядковано, взаємодітимуть з йонами металу, отже, більшим буде і опір. І навпаки, чим більший поперечний переріз провідника, тим з меншими перешкодами рухатимуться впорядковано електрони і тим меншим буде опір. Не виключено й вплив температури провідника, бо із зростанням температури інтенсивнішим стає тепловий рух атомів кристалічної ґратки і, одночасно, електронів, тобто зростатиме кількість зіткнень електронів з йонами ґратки, що також зумовлює зростання опору.

Подумайте і дайте відповідь

1. Як формулюється закон Ома? Про зв'язок яких трьох основних електричних величин йдеться в законі Ома?
2. Що таке електропровідність? В яких одиницях вимірюється електропровідність?
3. Що таке опір провідника? В яких одиницях вимірюється опір?
4. Від чого залежить опір провідника?
5. У яких одиницях виражають питомий опір провідника?

Розв'яжіть задачі та оцініть результати

Вправа 35.

1. Як зміниться опір металеві дротини, якщо збільшити у 2 рази її довжину? площу поперечного перерізу?
2. Як зміниться опір дротини, якщо одночасно збільшити у 3 рази її довжину і діаметр?
3. При напрузі на кінцях провідника 2 В сила струму в ньому 0,5 А. Якою буде сила струму а провіднику, якщо напруга на його кінцях збільшиться до 4 В?
4. Визначте опір провідника, виготовленого з алюмінієвого дроту завдовжки 80 м і площею поперечного перерізу $0,2 \text{ мм}^2$.
5. На рисунку 129 складено електричне коло з нікеліновим провідником завдовжки 120 см і площею поперечного перерізу 1 мм^2 . Визначте питомий опір нікеліну. Порівняйте з табличним значенням. (Скористайтесь показами приладів: $U = 0,5 \text{ В}$, $I = 1 \text{ А}$).

Домашнє експериментальне завдання

Ви маєте моток дроту. Запропонуйте метод за допомогою якого ви можете встановити, з якої речовини виготовлений дріт. Які прилади і матеріали вам будуть потрібні? Які вимірювання вам потрібно буде виконати?

Експериментальну перевірку ви можете провести в кабінеті фізики.

Яким способом можна визначити масу мідного дроту (наприклад, довжиною 1 км), якщо Ви маєте джерело струму, амперметр, вольтметр, з'єднувальні провідники.

§ 36. РЕОСТАТИ



Рис. 130. Повзунковий реостат з ковзаючим контактом



Рис. 131. Реостат у вигляді резистора



Рис. 132. Важільний реостат

На практиці часто необхідно змінювати силу струму в електричному колі. Для цього використовуються прилади, що отримали назву реостати. Отже, *реостати* – це прилади призначені для регулювання сили струму в колі.

Реостати бувають повзункові з ковзаючим контактом (рис. 130), у вигляді магазину резисторів (рис. 131), важільні (рис. 132).

Повзункові реостати складаються з керамічного циліндра, на якому намотаний дріт із великим питомим опором. Зверху циліндра розміщений металевий стержень, по якому ковзає металевий контакт. Електричний струм проходить через затискач на стержні до рухомого контакту і далі через витки дроту на інший затискач.

У важільному реостаті опір змінюється стрибкоподібно шляхом зміни положення металевого важеля. Таким чином змінюється довжина дроту реостата.

У колах з малою силою струму використовують реостати у вигляді набору резисторів – магазини резисторів. На верхній кришці магазину резисторів є мідна пластина з розривами. Електричний контакт можна встановлювати спеціальними мідними стрижнями. Якщо вставити всі контактні стрижні у розриви, то струм тектиме пластиною, опір якої надзвичайно малий, отже, опір усього реостату практично дорівнюватиме нулю. Якщо якийсь контактний стрижень вийняти, струм про-

ходитиме через відповідний резистор. Виймаючи різні стрижні, можна дістати різні значення опору.

► **Подільник напруги.** Якщо реостат має три клеми: дві під'єднані до кінців обмотки, третя – до повзунка, то такий резистор змінного опору може використовуватися в електричному колі як дільник напруги (рис. 133) або потенціометром. Умовне позначення потенціометра зображено на рисунку 134, схему включення подільника напруги зображено на рис. 135.



Рис. 133. Потенціометр

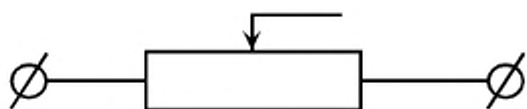


Рис. 134. Умовне позначення потенціометра

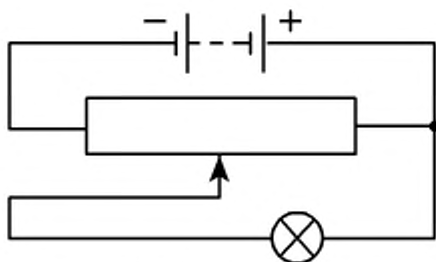


Рис. 135. Схема включення подільника напруги

Подумайте і дайте відповідь

1. Що таке резистор?
2. Для чого призначений реостат?
3. Чому в реостатах використовують дріт із великим питомим опором?
4. Як на схемах електричних кіл зображують резистор і реостат?
5. Які реостати за конструкцією ви знаєте?
6. Як слід увімкнути в коло електричну лампу і повзунковий реостат, щоб ним можна було регулювати силу струму в лампі? Накресліть схему такого з'єднання. Як треба відповідно до схеми перемістити повзун реостата, щоб лампа світилася яскравіше?

§ 37*. ЗАЛЕЖНІСТЬ ОПОРУ ПРОВІДНИКА ВІД ТЕМПЕРАТУРИ

З підвищенням температури опір металів збільшується.

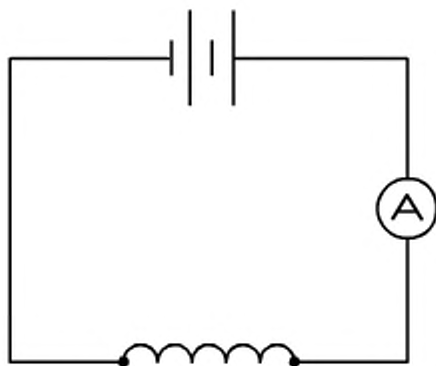


Рис. 136. Електричне коло для спостереження залежності опору від температури

Температурний коефіцієнт опору чисельно рівний відносній зміні опору провідника при його нагріванні на 1°C.

Ми вже знаємо, що опір провідника залежить від його довжини, площі поперечного перерізу, матеріалу.

Виявляється, що опір провідника залежить також і від його температури.

Перш ніж скласти електричне коло за схемою рис. 134 підготуємо провідник у вигляді спіралі. Для цього візьмімо провід із великим питомим опором діаметром 0,1–0,2 мм. Це може бути залізо, ніхром, вольфрам. Під'єднаймо спіраль до клем.

Замкнемо електричне коло і відмітимо покази амперметра (Рис. 136). Нагрівати мемо спіраль за допомогою нагрівника. Ми побачимо, що в міру нагрівання покази амперметра фіксують зменшення струму. Згідно з законом Ома, зменшення струму свідчить про збільшення опору дроту спіралі. Такий результат ми одержимо з усіма іншими металами.

Отже, з підвищенням температури опір металів збільшується.

Позначимо за температури $t^0 = 0^\circ\text{C}$ опір провідника R_0 , за довільної температури $t^\circ\text{C}$ опір буде R . Дослід показує, що відносна зміна опору провідника прямо пропорційна зміні температури t на окремих ділянках кола.

Це можна записати так:

$$\frac{R - R_0}{R_0} = \alpha(t - t_0) \quad (1)$$

де α – температурний коефіцієнт опору,

$t = t^0\text{C}$ – довільна температура.

Фізичний зміст температурного коефіцієнта опору встановимо з формули (1):

$$\alpha = \frac{R - R_0}{R_0} \cdot \frac{1}{t - t_0} \quad (2)$$

Отже, температурний коефіцієнт опору чисельно рівний відносній зміні опору провідника при його нагріванні на 1^0C . (Згадаймо, що $1^0\text{C} = 1 \text{ K}$).

Залежність опору металів від температури широко використовується для вимірювання температури на практиці у вимірвальній техніці в термометрах опору.

Від теорії до практики

Для робочого елемента термометрів опору, зазвичай, беруть платиновий дріт. Значення опору для платинового дроту за різних температур добре відомо. Платиновий дріт намотується на слюдяну пластинку, поміщається в піч. Кінці дроту приєднуються до кола. Вимірюючи зміну опору обмотки з температурою, визначають температуру об'єкта.

Термометри опору дозволяють вимірювати як дуже низькі температури, так і дуже високі температури для вимірювання яких рідинні термометри не підходять.

Подумайте і дайте відповідь

1. Як змінюється сила струму в електричному колі (рис. 134) якщо нагрівати спіраль.
2. Що являє собою термометри опору?
3. Де використовуються термометри опору.

§ 38. ПОСЛІДОВНЕ З'ЄДНАННЯ ПРОВІДНИКІВ



Рис. 137. Коло послідовного з'єднання двох електричних ламп та амперметра

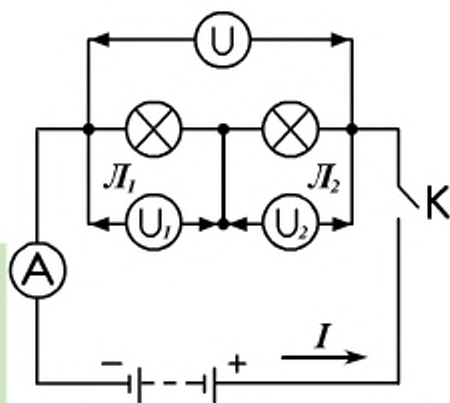


Рис. 138. Схема з'єднання двох електричних ламп та амперметра

Електричні кола, що застосовуються на практиці, зазвичай, складаються з багатьох елементів: кількох споживачів, вимірювальних приладів та джерел струму. Ці складові елементи електричного кола можуть з'єднуватись по різному.

Таке з'єднання елементів електричного кола, за якого кінець першого елемента з'єднується з початком другого, а початок першого елемента і кінець другого елемента (якщо їх декілька – то останнього) вмикаються в електричне коло, називається послідовним з'єднанням.

На рисунку 137, зображено коло послідовного з'єднання двох електричних ламп та амперметра, а на рисунку 138 – схему такого з'єднання.

Сила струму за послідовного з'єднання. За послідовного з'єднання елементів електричного кола, сила струму в будь-яких частинах кола однакова, тобто

$$I = I_1 = I_2. \quad (1)$$

Це можна пояснити так: крізь поперечні перерізи всіх послідовно з'єднаних провідників проходить за одиницю часу однакова кількість носіїв заряду і струм буде однаковим у будь-яких частинах кола.

Напруга за послідовного з'єднання. Напруга в колі за послідовного з'єднання дорівнює сумі напруг на окремих ділянках кола:

$$U = U_1 + U_2 \quad (2)$$

Опір за послідовного з'єднання. Викор-

ристаємо закон Ома для ділянки кола і окремих провідників, із яких вона складається.

Отримаємо:

$$U = IR, U_1 = IR_1, U_2 = IR_2,$$

де I – сила струму в колі, R , R_1 і R_2 – опори усєї ділянки кола і окремих її частин, U , U_1 , U_2 – відповідно напруга усєї ділянки і окремих її частин.

Оскільки із формули $U = U_1 + U_2$, то

$$IR = IR_1 + IR_2,$$

і, скоротивши на I , матимемо:

$$R = R_1 + R_2.$$

Загальний опір при послідовному з'єднанні дорівнює сумі опорів окремих провідників (або окремих елементів кола):

$$R = R_1 + R_2. \quad (3)$$

За послідовного з'єднання напруга на провідниках та їх опори зв'язані співвідношенням (із формули 1):

$$I_1 = I_2;$$

або

$$\frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2},$$

Остаточно

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

Подумайте і дайте відповідь

1. Яке з'єднання резисторів називається послідовним? Як зобразити таке з'єднання на схемі?
2. Яка електрична величина однакова для всіх резисторів, що з'єднані послідовно?
3. Як знайти напругу ділянки кола, складеного з кількох послідовно з'єднаних резисторів, якщо напруга на кожному з них відома?
4. Як знайти опір усєї ділянки кола, складеної з послідовно з'єднаних резисторів, якщо відомий опір кожного з резисторів?

ПРИКЛАДИ РОЗРАХУНКУ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ ІЗ ПОСЛІДОВНИМ З'ЄДНАННЯМ

Приклад 1. Три резистори з опорами $R_1 = 2 \text{ Ом}$, $R_2 = 3 \text{ Ом}$ і $R_3 = 5 \text{ Ом}$ з'єднані послідовно. Амперметр, увімкнений у коло, показує 1 А . Визначити опір кола, напругу на кожному резисторі і повну напругу всієї ділянки кола (рис. 139)

Дано:

$$R_1 = 2 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 3 \text{ Ом}$$

$$R_3 = 5 \text{ Ом}$$

$$I = 1 \text{ А}$$

$$R - ? \quad U_1 - ?$$

$$U_2 - ? \quad U_3 - ?$$

$$U - ?$$

Розв'язування

Сила струму в усіх послідовно з'єднаних резисторах одна й та сама і дорівнює силі струму в колі:

$$I_1 = I_2 = I_3 = I = 1 \text{ А.}$$

Загальний опір кола:

$$R = R_1 + R_2 + R_3,$$

$$R = 2 \text{ Ом} + 3 \text{ Ом} + 5 \text{ Ом} = 10 \text{ Ом}$$

За законом Ома знаходимо напругу в кожному з резисторів:

$$U_1 = IR_1, \quad U_1 = 1 \text{ А} \cdot 2 \text{ Ом} = 2 \text{ В};$$

$$U_2 = IR_2, \quad U_2 = 1 \text{ А} \cdot 3 \text{ Ом} = 3 \text{ В};$$

$$U_3 = IR_3, \quad U_3 = 1 \text{ А} \cdot 5 \text{ Ом} = 5 \text{ В.}$$

Повна напруга в колі

$$U = U_1 + U_2 + U_3, \text{ або } U = IR.$$

$$U = 2 \text{ В} + 3 \text{ В} + 5 \text{ В} = 10 \text{ В},$$

$$\text{або } U = 1 \text{ А} \cdot 10 \text{ Ом} = 10 \text{ В.}$$



Рис. 139

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

Приклад 2. Коло складається з трьох послідовно з'єднаних провідників, приєднаних до джерела струму з напругою 24 В. Опір першого провідника 4 Ом, другого 6 Ом, напруга на кінцях третього провідника 4 В. Визначити силу струму в колі та опір третього провідника (рис. 140).

Дано:

$$U = 24 \text{ В}$$

$$R_1 = 4 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 6 \text{ Ом}$$

$$U_3 = 4 \text{ В}$$

$$I - ?$$

$$R_3 - ?$$

Розв'язування

Скористаємося формулами для послідовного з'єднання провідників:

$$R = R_1 + R_2 + R_3$$

$$I_1 = I_2 = I_3 = I$$

За законом послідовного з'єднання:

$$IR_1 + IR_2 + IR_3 = U. \quad (1)$$

Оскільки напруга на третьому опорі:

$$U_3 = IR_3, \quad (2)$$

то (1) можна записати так:

$$IR_1 + IR_2 + U_3 = U,$$

$$I \cdot (R_1 + R_2) = U - U_3.$$

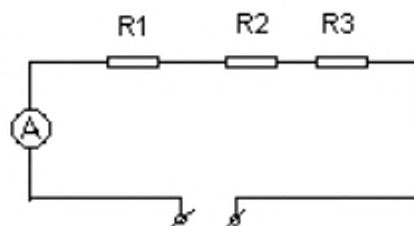
Звідси сила струму у колі рівна

$$I = \frac{U - U_3}{R_1 + R_2} \quad I = \frac{24 - 4}{4 + 6} = 2 \text{ А.}$$

З формули (2) знаходимо опір третього провідника

$$R_3 = \frac{U_3}{I} \quad R_3 = \frac{4}{2} = 2 \text{ Ом}$$

Відповідь: сила струму в колі становить 2 А, а опір третього провідника 2 Ом.



U=24 В
Рис. 140

Приклад 3. Ділянка ланцюга складається із сталюого дроту завдовжки 2 м і площею поперечного перерізу $0,48 \text{ мм}^2$, з'єднаного послідовно з нікеліновим дротом завдовжки 1 м і площею поперечного перерізу $0,21 \text{ мм}^2$. Яку напругу треба підвести до ділянки, щоб дістати силу струму $0,6 \text{ А}$? (рис. 141)

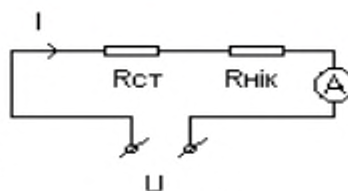


Рис. 141

Дано:

$$L_{\text{ст}} = 2 \text{ м}$$

$$S_{\text{ст}} = 0,48 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

$$L_{\text{нік}} = 1 \text{ м}$$

$$S_{\text{нік}} = 0,21 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2$$

$$I = 0,6 \text{ А}$$

$$\rho_{\text{ст}} = 12 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$$\rho_{\text{нік}} = 42 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$$

$U - ?$

Розв'язування

За законом Ома для ділянки кола:

За послідовного з'єднання загальний опір кола:

Згадаємо, що опір провідника довжиною l і площею поперечного перерізу S :

$$I = \frac{U}{R}$$

Отже, струм у колі: $R = R_{\text{ст}} + R_{\text{нік}}$;

$$I = \frac{U}{R} = \frac{U}{\rho_{\text{ст}} \frac{l_{\text{ст}}}{S_{\text{ст}}} + \rho_{\text{нік}} \frac{l_{\text{нік}}}{S_{\text{нік}}}}; \quad U = I \left(\rho_{\text{ст}} \frac{l_{\text{ст}}}{S_{\text{ст}}} + \rho_{\text{нік}} \frac{l_{\text{нік}}}{S_{\text{нік}}} \right);$$

$$U = 0,6 \cdot \left(12 \cdot 10^{-8} \frac{2}{0,48 \cdot 10^{-6}} + 42 \cdot 10^{-8} \frac{1}{0,21 \cdot 10^{-6}} \right) = 1,5 \text{ В.}$$

Відповідь: напруга, яку треба підвести до ділянки – $1,5 \text{ В}$.

Розв'яжіть задачі та оцініть результати

Вправа 38

1. Коло складається з двох послідовно з'єднаних провідників, опір яких 4 і 6 Ом . Сила струму в колі $0,3 \text{ А}$. Знайдіть напругу на кожному з провідників та загальну напругу.
2. Електричне коло складається з джерела струму – батареї акумуляторів, яка створює в колі напругу 6 В , лампочки від кишенькового ліхтарика опором $13,5 \text{ Ом}$, двох спіралей опором 3 і 2 Ом , вимикача і з'єднувальних проводів. Усі деталі кола з'єднані послідовно. Накресліть схему кола. Визначте силу струму в колі і напругу на кінцях кожного із споживачів струму.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

Дослідження електричного кола з послідовним з'єднанням провідників

Мета роботи.

Навчитись з'єднувати провідники, прилади, резистори послідовно, визначати опір такого сполучення та розподіл напруг в ньому.

Прилади і матеріали: джерело струму, вимикач, амперметр і вольтметр постійного струму, два резистори R_1 і R_2 , реостат, з'єднувальні провідники (Рис. 142).



Рис. 142. Прилади і матеріали до лабораторної роботи

Порядок виконання роботи.

1. Самостійно накресліть схему електричного кола з послідовно з'єднаними джерелом струму, вимикачем, двома резисторами R_1 і R_2 , амперметром, реостатом.

2. Замкніть електричне коло. Реостатом відрегулюйте силу струму в колі. Вкажіть напрям струму та полярність. Вольтметр спочатку приєднайте паралельно до резистора R_1 , потім до резистора R_2 . *Таблицю для результатів складіть самостійно.*

3. Виміряйте силу струму в колі і напругу спочатку на першому, потім другому резисторах.

4. Перевірте виконання законів послідовного з'єднання:

$$U = U_1 + U_2; \quad R = R_1 + R_2; \quad I = I_1 = I_2 = \text{const}; \quad \frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2} .$$

5. Зробіть висновки.

Контрольні запитання

1. Сформулюйте закони послідовного з'єднання.
2. Як залежить загальний опір кола від опорів окремих ділянок кола?

§ 39. ПАРАЛЕЛЬНЕ З'ЄДНАННЯ ПРОВІДНИКІВ



Рис. 143. Паралельне з'єднання двох електричних ламп

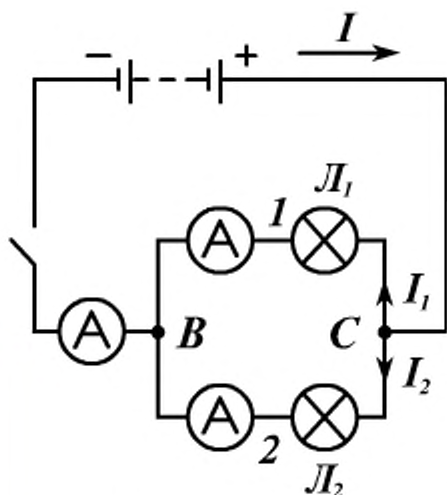


Рис. 144. Схема паралельного з'єднання

Паралельним називають таке з'єднання провідників, коли початки провідників з'єднуються в один вузол, а інші кінці – в другий. Вузли з'єднань вмикаються у коло.

На рис. 143, зображено паралельне з'єднання двох електричних ламп, а на рис. 144 – схему цього з'єднання.

Напруга за паралельного з'єднання споживачів. Як видно з рис. 144, при паралельному з'єднанні обидві лампочки одним своїм проводом приєднуються до однієї точки кола С, а іншим – до точки В. Тому напруга на ділянці кола СВ і на кінцях цих паралельно з'єднаних провідників однакова:

$$U = U_1 = U_2. \quad (1)$$

Сила струму за паралельного з'єднання. За паралельного з'єднання струм у точці С (рис. 144) розгалужується на два струми I_1 і I_2 , які сходяться знову в точці В. Це подібно до того, як потік води в річці розподіляється на два рукави, що сходяться потім знову у загальну течію.

Зрозуміло, що буде справедлива рівність:

$$I = I_1 + I_2, \quad (2)$$

тобто сила струму в нерозгалуженій частині кола дорівнює сумі сил струмів в окремих паралельно з'єднаних провідниках.

Опір за паралельного з'єднання споживачів.

Оскільки $I = I_1 + I_2$, а за законом Ома:

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

то маємо:

$$\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2}.$$

Скоротивши на U , отримуємо:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad (3)$$

тобто за паралельного з'єднання провідників величина, обернена повному опорі з'єднання, дорівнює сумі величин, обернених до опорів розгалужених частин.

Сили струму у двох провідниках та їхні опори за паралельного з'єднання зв'язані співвідношенням:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}$$

Покажемо це.

Оскільки: $U = U_1 = U_2$,

то

$$IR = I_1 R_1 = I_2 R_2.$$

Звідси:

$$I_1 R_1 = I_2 R_2,$$

Остаточно маємо:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1} \quad (4)$$

тобто відношення сил струмів в розгалужених частинах кола обернено пропорційна до опорів цих частин.

Рівність (2) можна пояснити скориставшись тим, що електричний заряд не може накопичуватися в окремих точках кола. Електричний заряд q , що переноситься за час t у нерозгалуженій частині кола, розподіляється у розгалуженнях на заряди q_1 і q_2 , причому $q = q_1 + q_2$.

Підставивши значення заряду ($q = \frac{I}{t}$), одержимо:

$$\frac{I}{t} = \frac{I_1}{t} + \frac{I_2}{t},$$

де t — час. Отримали:
 $I = I_1 + I_2$,

Що підтверджує правильність рівності (2).

За паралельного з'єднання провідників величина, обернена повному опорі з'єднання, дорівнює сумі величин, обернених до опорів розгалужених частин.

Подумайте і дайте відповідь

1. Яке з'єднання елементів кола називається паралельним?
2. Яка з електричних величин однакова для всіх резисторів, з'єднаних паралельно?
3. Як виражається сила струму до його розгалуження через сили струму в окремих вітках розгалуження?
4. Як залежать сили струмів в окремих вітках розгалуження від їх опорів?
5. Як обчислити загальний опір?

ПРИКЛАДИ РОЗРАХУНКУ ПРОСТИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ ІЗ ПАРАЛЕЛЬНИМ І ЗМІШАНИМ З'ЄДНАННЯМ

Приклад 1. Чотири лампочки, розраховані на напругу 3 В і силу струму 0,3 А, треба ввімкнути паралельно і живити від джерела напругою 5,4 В. Резистор якого опору треба ввімкнути послідовно з лампочками? (рис. 145)

Дано:

$$U_1 = 3 \text{ В}$$

$$I_1 = 0,3 \text{ А}$$

$$U = 5,4 \text{ В}$$

$R_p = ?$

Розв'язання

Маємо послідовне з'єднання 4-х паралельно з'єднаних лампочок і резистора. Напруга в колі при послідовному з'єднанні

$$U = U_x + U_p \quad (1)$$

де $U_x = U_1$.

Сила струму, який проходить через лампочки:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = 4I_1.$$

Оскільки лампочки і опір з'єднані послідовно, то сила струму, яка проходить через резистор, буде рівною:

$$I_p = 4I_1$$

За законом Ома для ділянки кола:

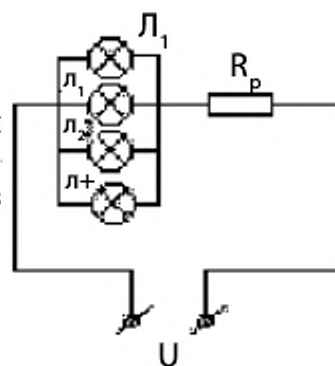


Рис. 145

$$U_p = R_p \cdot I$$

Тоді (1) запишемо як:

$$U = U_1 + 4I_1 R_p;$$

Звідси опір резистора:

$$R_p = \frac{U - U_1}{4I_1}$$

$$R_p = \frac{5,4 \text{ В} - 3 \text{ В}}{4 \cdot 0,3 \text{ А}} = 2 \text{ Ом}$$

Відповідь: опір резистора 2 Ом.

Приклад 2. До кола підведено напругу 90 В. Опір лампи L_2 дорівнює опоріві лампи L_1 , а опір лампи L_3 в 4 рази більший від опору лампи L_1 . Сила струму, яка споживається від джерела, дорівнює 0,5 А. Визначити опір кожної лампи, напругу на лампах L_1 і L_3 , а також силу струму в них (рис. 146)

Дано:

$$U = 90 \text{ В}$$

$$R_2 = R_1$$

$$R_3 = 4R_1$$

$$I = 0,5 \text{ А}$$

$$R_1, R_2, R_3 - ?$$

$$U_1, U_3 - ?$$

$$I_1, I_2, I_3 - ?$$

Розв'язання:

Опори R_1 та R_2 з'єднані паралельно. Загальний опір цієї ділянки:

$$\frac{1}{R_{12}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}, \quad R_{12} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_2 + R_1} = \frac{R_1^2}{2R_1} = \frac{R_1}{2}.$$

Опори R_{12} та R_3 з'єднані послідовно.

Отже, загальний опір: $R = R_{12} + R_3$,

$$R = \frac{R_1}{2} + 4R_1 = 4,5R_1$$

За послідовного з'єднання струм у всьому колі однаковий:

$$I_3 = I_{12} = I = 0,5 \text{ А}$$

За законом Ома для ділянки кола:

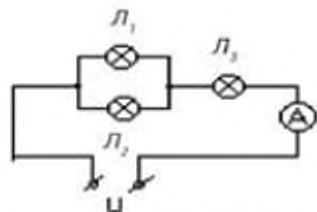


Рис. 146

$$R = \frac{U}{I} = \frac{90 \text{ В}}{0,5 \text{ А}} = 180 \text{ Ом}$$

З формули (1) :

$$R_1 = \frac{R}{4,5} ,$$

$$R_1 = R_2 = \frac{180 \text{ Ом}}{4,5 \text{ Ом}} = 40 \text{ Ом.}$$

Опір лампи L_3 (за умовою) $R_3 = 4R_1 = 160 \text{ Ом}$
 За законом Ома для ділянки кола:

$$U_3 = IR_3 \\ U_3 = 0,5 \text{ А} \cdot 160 \text{ Ом} = 80 \text{ В}$$

Оскільки паралельно з'єднані лампи L_1 і L_2 мають однаковий опір, а також вони послідовно з'єднані з L_3 , то можна записати, що:

$$U_1 = U_2 = U - U_3, \\ U_1 = 90 \text{ В} - 80 \text{ В} = 10 \text{ В.}$$

Згідно з законами послідовного і паралельного з'єднання провідників (маючи на увазі, що $R_2 = R_1$, і $U_1 = U_2$):

$$I = I_{12} = I_3 \\ I_1 = I_2 = \frac{U_1}{R} = \frac{10 \text{ В}}{40 \text{ Ом}} = 0,25 \text{ А.}$$

Відповідь: сила струму в лампах L_1 та L_2 становить 0,25 А, у лампі L_3 – 0,5 А, опори ламп L_1 , L_2 40 Ом, L_3 160 Ом, напруги на лампах L_1 та L_2 – 10 В, L_3 – 80 В.

Приклад 3. Знайти загальний опір кола та напругу на кожному резисторі. Сила струму в колі 5 А, опори $R_1 = R_5 = 1$ Ом, $R_2 = R_3 = 2$ Ом (рис. 147).

Дано:

$$R_1 = R_4 = 1 \text{ Ом}$$

$$R_2 = R_3 = 2 \text{ Ом}$$

$$I = 5 \text{ А}$$

$$R - ? \quad U_1 - ?$$

$$U_2 - ? \quad U_3 - ?$$

$$U_4 - ?$$

Розв'язання:

Загальний опір кола для послідовного з'єднання опорів R_1 , R_{2-3} та R_4 .

$$R = R_1 + R_{2-3} + R_4 \quad (1)$$

Опори R_2 та R_3 з'єднані паралельно:

$$\frac{1}{R_{2-3}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3},$$

$$R_{2-3} = \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} \quad (2)$$

Тоді (1) запишемо так:

$$R = R_1 + \frac{R_2 R_3}{R_2 + R_3} + R_4$$

загальний опір кола:

$$R = 1 + \frac{2 \cdot 2}{2 + 2} + 1 = 3 \text{ Ом.}$$

За послідовного з'єднання сила струму у всіх ділянках кола однакова. $R_1 = R_4$, тому $U_1 = U_4$.

За законом Ома для ділянки кола:

$$U_1 = R_1 I$$

$$U_1 = U_4 = 1 \text{ Ом} \cdot 5 \text{ А} = 5 \text{ В}$$

Опори R_2 та R_3 з'єднані паралельно, тому напруга на них однакова. З формули (2) знаходимо опір $R_{2-3} = 1$ Ом. Тому $U_3 = U_2 = U_1 = 5 \text{ В}$.

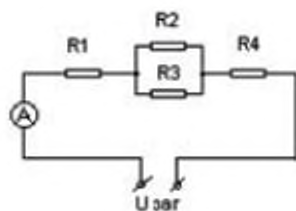


Рис. 147

Відповідь: загальний опір кола 3 Ом, напруги на резисторах R_1 , R_2 , R_3 та R_4 становлять 5 В.

Розширте науковий кругозір

Чому птахи можуть сидіти на проводах електропередач і їх не вражає електричний струм? Щоб це зрозуміти, слід взяти до уваги таке: тіло птаха, що сидить на проводі, є паралельним відгалуженням від частини проводу між лапками птаха. Опір тіла птаха значно більший за опір частини проводу, що знаходиться між лапками. За законами паралельного з'єднання провідників сили струмів у розгалуженнях обернено пропорційні їх опорам. Тому сила струму, що проходить крізь тіло птаха, дуже мала і безпечна для нього. Але якщо птах, що сидить на проводі, якимось чином з'єднається з землею (торкнеться до стовпа крилом, дзьобом чи хвостом) – він буде миттєво вбитий струмом, який пройде крізь тіло птаха у землю.

Від теорії до практики

Чи задумувались ви над тим, як маленька сигнальна лампочка, що розрахована на 6 В, увімкнена в електричне коло спіралі електричної праски, розрахованої на 220 В?

Подивіться на схему увімкнення лампочки, що зображена на рис.148. Тут використане так зване змішане з'єднання резисторів. Позначимо: R – опір усєї спіралі, R_1 – опір частини спіралі, паралельно якій під'єднано сигнальну лампочку L .

За законом Ома:

$$I = \frac{U_0}{R_1} = \frac{U}{R},$$

де U_0 – напруга на лампочці, U – напруга в електричній мережі. (Оскільки опір лампочки значно більший, ніж R_1 , то сила струму в ній дуже мала.)

Звідки

$$\frac{U_0}{U} = \frac{R_1}{R}, \text{ або } \frac{R_1}{R} = \frac{6 \text{ В}}{220 \text{ В}} \approx \frac{1}{36},$$

тобто сигнальну лампочку треба увімкнути до 1/36 частини спіралі.

До речі, ми бачимо, що схема увімкнення лампочки є не що інше, як схема подільника напруги, тобто потенціометра.

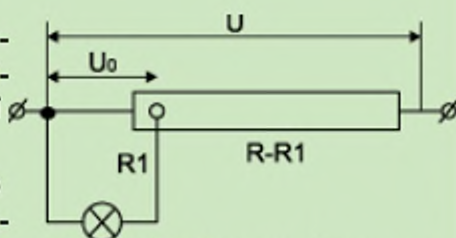


Рис. 148. Схема увімкнення лампочки

Подумайте і дайте відповідь

1. Чому побутові прилади в приміщенні слід з'єднувати паралельно?
2. Три дроти – залізний, мідний і срібний – однакової довжини і однакової площі поперечного перерізу ввімкнено в коло паралельно. Яким дротом йтиме струм більшої сили?
3. Порівняйте послідовне і паралельне з'єднання резисторів:
 - а) Яка величина однакова для всіх резисторів за послідовного з'єднання? За паралельного з'єднання?
 - б) Як змінюється загальний опір ділянки кола, якщо до неї під'єднати ще один резистор послідовно? паралельно?

Розв'яжіть задачі та оцініть результати

Вправа 39.

1. Який опір і як потрібно підключити до провідника з опором 24 Ом, щоб отримати опір 20 Ом.
2. Шматок дроту опором 80 Ом розрізали навпіл і отримані частини підключили паралельно до джерела струму. Чому дорівнюватиме загальний опір цих частин?
3. Три резистори 10, 20 і 12 Ом з'єднані паралельно. Напруга на кінцях цієї ділянки кола 24 В. Визначте силу струму в кожному резисторі, загальну силу струму в ділянці кола та опір ділянки кола.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

Дослідження електричного кола з паралельним з'єднанням провідників

Мета роботи:

Навчитись з'єднувати провідники, прилади, резистори паралельно, визначати опір такого сполучення та розподіл струмів у ньому.

Прилади і матеріали: джерело постійного струму, вимикач, амперметр і вольтметр постійного струму, два резистори R_1 і R_2 , реостат, з'єднувальні провідники.

Порядок виконання роботи

1. Самостійно накресліть схему електричного кола, в якому послідовно з'єднані джерело струму, вимикач, амперметр, реостат і паралельно між собою з'єднані резистори R_1 і R_2 . Вольтметр приєднаний паралельно до резисторів R_1 і R_2 . Таблицю для результатів складіть самостійно.

2. Замкніть електричне коло. Реостатом відрегулюйте силу струму в колі. Вкажіть напрям струму та полярність.

3. Виміряйте напругу на резисторах і силу струму в електричному колі та окремих резисторах.

4. Перевірте виконання законів паралельного з'єднання:

$$I = I_1 + I_2; \quad \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}; \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{R_2}{R_1}.$$

5. Зробіть висновки.

Контрольні запитання

1. Сформулюйте закони паралельного з'єднання?
2. Як з'єднуються споживачі електроенергії в квартирах – послідовно чи паралельно? Чому?

СИСТЕМАТИЗУЙТЕ ЗНАННЯ З РОЗДІЛУ 5.

«ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ. ЗАКОНИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ»

▶ *Електричний струм* – це впорядкований (напрямлений) рух заряджених частинок. Необхідною умовою існування електричного струму в провіднику є наявність в ньому електричного поля та вільних електрично заряджених частинок.

▶ *Електричне коло* – це з'єднані між собою провідниками джерело струму, споживачі струму, пристрої для замикання і розмикання кола, електровимірювальні прилади.

▶ *За напрям електричного струму* умовно беруть напрям, яким в колі рухалися б позитивно заряджені частинки, тобто напрям від позитивного полюса джерела струму до негативного.

▶ *Електрична напруга* – це фізична величина, що характеризує електричне поле, яке створює струм на певній ділянці кола.

Сила струму – це фізична величина, що характеризує електричний струм у колі і дорівнює відношенню електричного заряду q , що пройшов через поперечний переріз провідника, до часу його проходження t .

▶ *Закон Ома для ділянки кола* – сила струму на однорідній ділянці кола прямо пропорційна напрузі U на кінцях цієї ділянки і обернено пропорційна її опору

$$R: I = \frac{U}{R}$$

▶ *Опір металевго провідника* – це фізична величина, яка не залежить ні від сили струму, ні від напруги, а залежить лише від розмірів та матеріалу провідника.

▶ *Опір провідника R* прямо пропорційний довжині провідника l та обернено пропорційний площі поперечного перерізу провідника S , коефіцієнт пропорційності ρ називається питомим опором провідника

$$\rho: R = \rho \frac{l}{S}$$

▶ *Одиниці вимірювання напруги, сили струму та опору в Міжнародній системі одиниць СІ:* напруги – вольт (1 В), сили струму – ампер (1 А), опору – Ом (1 Ом).

▶ *Резистор* – це пристрій, призначений для зміни опору в електричному колі. *Реостат* – це пристрій, пристосований для регулювання

сили струму в колі. Подільник напруги – це пристрій, який має три клеми. Залежно від призначення і способу ввімкнення в електричне коло, може бути: резистором зі сталим опором, реостатом для зміни струму в колі і подільником напруги. Подільник напруги може змінювати напругу в електричному колі від нуля до значення напруги джерела струму.

► *Послідовне з'єднання елементів електричного кола* – це таке з'єднання, за якого кінець першого елемента з'єднують із початком другого, кінець другого – з початком третього і так далі. Паралельним з'єднанням елементів електричного кола називають таке з'єднання, коли початки всіх елементів з'єднуються в один вузол, кінці – в інший.

► *За послідовного з'єднання резисторів:*

сила струму в будь-яких частинах кола однакова

$$(I = I_1 = I_2 = \dots = I_n);$$

повна напруга в колі, або напруга на полюсах джерела струму дорівнює сумі напруг на окремих ділянках кола

$$(U = U_1 + U_2 + \dots + U_n);$$

загальний опір кола дорівнює сумі опорів окремих ділянок кола

$$(R = R_1 + R_2 + \dots + R_n).$$

► *За паралельного з'єднання резисторів:*

напруга на кінцях усіх паралельних розгалужень однакова

$$(U = U_1 = U_2 = \dots = U_n);$$

сила струму в нерозгалуженій частині кола дорівнює сумі сил струмів в окремих розгалуженнях

$$(I = I_1 + I_2 + \dots + I_n);$$

сила струмів у розгалуженнях обернено пропорційна опорам розгалужень

$$I_1 : I_2 = R_2 : R_1;$$

величина, обернена повному опору з'єднання, дорівнює сумі величин, обернених опорам розгалужень

$$\left(\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \right)$$

**ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДО РОЗДІЛУ 5
«ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ. ЗАКОНИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ»**

Початковий рівень

1. Які частинки є носіями струму в металевих провідниках?

- А** додатні йони; **Б** вільні електрони;
В від'ємні і додатні йони; **Г** від'ємні йони.

2. Для отримання електричного струму в електричному колі необхідно:

- А** створити в ньому електричні заряди;
Б під'єднати до споживача електричної енергії;
В створити в ньому електричне поле;
Г під'єднати лічильник електричної енергії.

3. Яка величина є сталою при послідовному з'єднанні?

- А** струм;
Б напруга;
В опір;
Г робота електричного струму.

Середній рівень

4. Якщо подвоїти напругу, то співвідношення струмів у паралельних гілках:

- А** збільшиться вдвічі;
Б зменшиться вдвічі;
В не зміниться;
Г збільшиться вчетверо.

5. Чи залежить опір провідника від сили струму в електричному колі? від напруги?

- А** залежить;
Б не залежить;
В частково залежить;
Г залежить за певних умов.

6. Яка з даних формул виражає залежність сили струму від швидкості впорядкованого руху носіїв струму в провіднику?

А $I=U/R$; Б $I=q_0nvS$; В $R=R_0(1+\alpha\Delta T)$; Г $P=UI$.

Достатній рівень

7. Два резистори опором 10 Ом і 40 Ом з'єднані паралельно. Який їх загальний опір?

А 4 Ом; Б 16 Ом; В 8 Ом; Г 10 Ом.

8. Визначте силу струму, який проходить по сталевому дроту довжиною 100 м і перерізом $0,5 \text{ мм}^2$ при напрузі 68 В. Питомий опір сталі $0,12 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$.

А 5,3 А; Б 6,6 А; В 2,8 А; Г 4,2 А.

9. На яку напругу розрахована електрична лампа опором 480 Ом, якщо вона горить повним розжаренням при силі струму 0,25 А?

А 120 В; Б 60 В; В 100 В; Г 40 В.

Високий рівень

10. Сила струму в одній лампі в 3,5 рази більша, ніж в другій. Як відрізняються заряди, що проходять через нитки розжарення цих ламп, за однові проміжки часу?

- А в 2 рази;
- Б в 3,5 рази;
- В в 0,3 раз;
- Г заряди однакові.

11. Вибрати вірні відповіді для кожного із питань за умови, що два резистори 10 Ом і 20 Ом з'єднані послідовно:

- 1) сила струму на обох резисторах;
- 2) загальний опір резисторів;
- 3) напруга на обох резисторах;
- 4) напруга на першому резисторі;
- А менша;
- Б неоднакова;
- В 30 Ом;
- Г однакова.

12. Розрахуйте опір алюмінієвого дроту довжиною 5000 м і площею поперечного перерізу 2 см^2

А 1,4 Ом; Б 0,7 Ом; В 2,8 Ом; Г 3,2 Ом.

ЗАДАЧІ ДО РОЗДІЛУ 5

1. Розряд блискавки триває $0,0012$ с. За цей час проходить $19 \cdot 10^{19}$ електронів. Визначте силу струму в розряді блискавки

(Відповідь: ≈ 25333 А).

2. При електрозварюванні у дузі при напрузі 30 В сила струму сягає 150 А. Який опір дуги? *(Відповідь: $0,2$ Ом).*

3. Визначте силу струму в електрочайнику, ввімкненому в мережу з напругою 220 В, якщо опір нитки розжарювання дорівнює 40 Ом.

(Відповідь: $5,5$ А).

4. Лампа, розрахована на напругу 6 В, підключена до джерела постійної напруги 18 В послідовно з реостатом. Лампа горить нормальним розжаренням. Опір реостата 6 Ом. Яка сила струму в колі?

(Відповідь: 2 А).

5. Визначте напругу на кінцях сталевого провідника довжиною 140 см і площею поперечного перерізу $0,2$ мм², у якому сила струму 250 мА. Питомий опір сталі $0,12$ Ом·мм²/м. *(Відповідь: $0,21$ В).*

6. У вольтметрі, який показує 120 В, сила струму дорівнює 15 мА. Визначте опір вольтметра.

(Відповідь: 8000 Ом).

7. По мідному провіднику з поперечним перерізом $3,5$ мм² і довжиною $14,2$ м йде струм силою $2,25$ А. Визначте напругу на кінцях цього провідника. Питомий опір міді $0,017$ Ом·мм²/м.

(Відповідь: $0,155$ В).

8. Коло складається з двох послідовно з'єднаних провідників, опір яких 4 і 6 Ом. Сила струму в колі $0,3$ А. Знайдіть напругу на кожному з провідників та загальну напругу.

(Відповідь: $1,2$ В; $1,8$ В; 3 В).

9. Електричне коло складається з джерела струму — батареї акумуляторів, яка створює в колі напругу 6 В, лампочки від кишенькового ліхтарика опором $13,5$ Ом, двох спіралей опором 3 і 2 Ом, вимикача і з'єднувальних проводів. Усі деталі кола з'єднані послідовно. Накресліть схему кола. Визначте силу струму в колі і напругу на кінцях кожного із споживачів струму.

(Відповідь: $0,3$ А; $4,4$ В; 1 В; $0,6$ В).

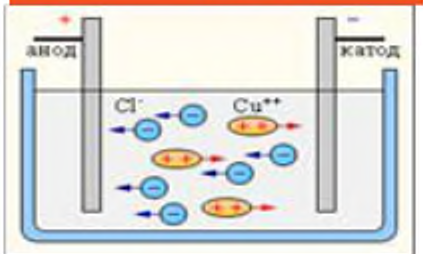
10. Три резистори 10 , 20 і 12 Ом з'єднані паралельно. Напруга на кінцях цієї ділянки кола 24 В. Визначте силу струму в кожному резисторі, загальну силу струму в ділянці кола і опір ділянки кола.

(Відповідь: $2,4$ А; $1,2$ А; 2 А; $5,6$ А; $4,28$ Ом).

Частина II

Розділ 6. ЗАСТОСУВАННЯ ЗАКОНІВ ПОСТІЙНОГО ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ

- Значення відкриття Гальвані для науки і техніки
- Як гальванічний елемент створює струм?
- Як виміряти потужність електроприладів
- Що таке електроліт
- Що таке електроліз
- Яка природа електричного струму в електролітах
- Чи проводить розчин цукру у воді електричний струм
- Що таке несамостійний і самостійний газові розряди
- За яких умов повітря проводить електричний струм



§ 40. РОБОТА І ПОТУЖНІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ

► **1. Робота електричного струму.** Ви вже знаєте, що проходження електричного струму в колі спричинює теплову, хімічну і магнітну дії струму.

Відомо, що напруга на кінцях ділянки кола чисельно дорівнює роботі, яка виконується під час проходження цією ділянкою електричного заряду в 1 Кл. Зрозуміло, щоб визначити роботу A електричного струму на деякій ділянці кола, слід напругу U на кінцях цієї ділянки кола помножити на електричний заряд q (кількість електрики), що пройшов нею:

$$A = U \cdot q. \quad (1)$$

Електричний заряд q , що пройшов на ділянці кола, можна визначити, вимірявши силу струму I і час його проходження t :

$$q = It. \quad (2)$$

Використовуючи ці співвідношення, дістанемо формулу роботи електричного струму, якою зручно користуватися на практиці:

$$\begin{aligned} A &= UIt. \\ A &= Uq, A = UIt. \end{aligned} \quad (3)$$

У Міжнародній системі одиниць роботу вимірюють в джоулях, напругу — у вольтах, силу струму — в амперах і час — у секундах, тому:

1 Джоуль = 1 Вольт · 1 Ампер · 1 секунда,

тобто 1 Дж = 1 В · А · с.

Явище взаємодії між провідниками зі струмом (або провідника зі струмом і магніту) використовується в пристроях, в яких за рахунок енергії електричного поля виконується механічна робота (наприклад, в електродвигунах).

Під час проходження електричного струму відбувається перетворення енергії електричного поля, що спричинює напрямлений рух електрично заряджених частинок, в інші види енергії (теплову, хімічну, механічну), тобто електричним струмом виконується робота.

Робота електричного струму на ділянці кола дорівнює добутку напруги на кінцях цієї ділянки на силу струму і час, протягом якого виконувалася робота.

На практиці використовують також кратні одиниці:
гектоват (гВт),
кіловат (кВт),
мегават (МВт).

$$1 \text{ гВт} = 100 \text{ Вт};$$

$$1 \text{ кВт} = 10 \text{ гВт} = 1000 \text{ Вт};$$

$$1 \text{ МВт} = 1000 \text{ кВт} = 1\,000\,000 \text{ Вт} = 10^6 \text{ Вт}.$$

► 2. Потужність електричного струму. Знаючи роботу, що виконується струмом за деякий інтервал часу, можна визначити й потужність струму. Потужність електричного струму чисельно дорівнює роботі струму за одиницю часу, тобто

$$P = \frac{A}{t}, \quad (4)$$

де P – потужність струму.

Скориставшись формулою (3), одержимо

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

Отже, потужність електричного струму дорівнює добутку напруги на силу струму:

$$P = UI. \quad (5)$$

У Міжнародній системі одиниць за одиницю потужності взято 1 Вт.

1 ват = 1 вольт · 1 ампер,

$$\text{або } [P] = \left[\frac{A}{t} \right]; [P] = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ с}} = 1 \text{ Вт}$$

► 3. Вимірювання роботи і потужності електричного струму. Потужність електричного струму можна виміряти, увімкнувши в коло вольтметр і амперметр. Щоб обчислити шукану потужність, слід помножити напругу на силу струму, знайдені за показами приладів. А щоб визначити роботу електричного струму, потрібно мати ще й годинник, оскільки $A = Pt$.

Безпосередньо вимірюють потужність електричного струму в колі спеціальними приладами, зокрема, ватметром.

Електричну енергію, що витрачається споживачем, вимірюють електричним лічильником (лічильником електричної

енергії). Електричний лічильник проградуєвано в позасистемній одиниці – ват-година.

Класичний лічильник, по-суті, являє собою невеликий електромотор, швидкість обертання якого пропорційна потужності, що споживається в колі. Нині використовуються електронні лічильники електричної енергії, принцип роботи яких інший.

На електроприладах звичайно зазначають їх номінальну потужність, тобто потужність струму, яка необхідна для нормальної дії цих приладів. Так, електроплитка, розрахована на напругу 220 В, потужністю в 500 Вт для нормальної роботи потребує силу струму близько 2,3 А. Скориставшись ф.5 маємо: $500 \text{ Вт} : 220 \text{ В} \approx 2,3 \text{ А}$

В електротехніці й побуті значно зручніше роботу електричного струму визначати не в джоулях, а через одиниці потужності – ват та кратні йому одиниці, й одиниці часу – секунду та годину. Такими одиницями є ват-секунда (Вт·с), ват-година (Вт·год), гектоват-година (гВт·год), кіловат-година (кВт·год).

$$1 \text{ Вт} \cdot \text{год} = 3600 \text{ Вт} \cdot \text{с} = 3600 \text{ Дж};$$

$$1 \text{ гВт} \cdot \text{год} = 100 \text{ Вт} \cdot \text{год} = 360\,000 \text{ Дж};$$

$$1 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 1000 \text{ Вт} \cdot \text{год} = 3\,600\,000 \text{ Дж}.$$

Потужності окремих споживачів електричної енергії

Таблиця.

Споживачі	Потужності		
	Вт	кВт	МВт
Кишеньковий радіоприймач	0,6 – 0,7		
Вентилятор побутовий	10 – 65		
Холодильник	110 – 160		
Електропраска	300 – 1000		
Електропилосос побутовий	600 – 1500		
Двигун трамвая		45 – 50	
Двигун тролейбуса		80 – 100	
Двигун електровоза		625 – 660	
Дніпрогес			650
Київська ГЕС			225
Рівненська АЕС (один блок)			1000

Від теорії до практики

Як визначити потужність побутового електроприладу, якщо у вас немає амперметра, вольтметра або ватметра?

Для цього вам необхідно використати електролічильник вашої квартири та наручний годинник із секундною стрілкою (ще краще використати секундомір). Вимкніть у квартирі всі електроприлади, крім однієї або двох ламп, потужності яких вам відомі, наприклад однієї 100-ватної лампи або двох 60-ватних ламп. Поспостерігайте за рухом диску електролічильника і визначте час t_1 , за який він зробить певну кількість повних обертів, скажімо 25. Вимкніть лампу, ввімкніть електроприлад невідомої потужності і знову визначте час t_2 для тієї ж кількості обертів електролічильника. За цих умов робота струму буде однаковою. Тому знаючи відношення $t_1 : t_2$ і потужність лампи, можна наближено визначити шукану потужність електроприладу.

Якщо у Вашому будинку встановлено сучасний електронний лічильник, то подумайте, яким чином можна обчислити невідому потужність електроприладу за числом спалахів індикатора електролічильника?

Приклад розв'язування задачі

Приклад. Яка потужність електродвигуна і яку роботу він виконує за 1 год., якщо сила струму в колі електродвигуна 6 А, напруга на його клеммах 220 В? Коефіцієнт корисної дії двигуна 80%.

Дано:

$$t = 1 \text{ год} = 3600 \text{ с}$$

$$I = 5 \text{ А}$$

$$U = 220 \text{ В}$$

$$\eta = 0,8$$

$$P = ?$$

$$A_1 = ?$$

Розв'язання

$$\text{Потужність струму } P = UI:$$

$$P = 220 \text{ В} \cdot 5 \text{ А} = 1100 \text{ Вт} = 1,1 \text{ кВт};$$

$$\text{Повна робота струму } A = P \cdot t:$$

$$A = 1100 \text{ Вт} \cdot 3600 \text{ с} = 3\,960\,000 \text{ Вт} \cdot \text{с} = \\ = 3,96 \cdot 10^6 \text{ Дж},$$

або

$$A = 3,96 \cdot 10^3 \text{ кДж}.$$

Корисна робота електродвигуна A_1 , становить 80% (0,8) від усієї роботи струму:

$$A_1 = \eta \cdot A;$$

$$A_1 = 3,96 \cdot 10^3 \text{ кДж} \cdot 0,8 = 3,168 \cdot 10^3 \text{ кДж} \approx \\ \approx 3,2 \cdot 10^3 \text{ кДж}.$$

Відповідь: $P = 1,1 \text{ кВт}$, $A_1 = 3,2 \cdot 10^3 \text{ кДж}$.

Подумайте і дайте відповідь

1. Як виразити роботу струму через напругу, силу струму і час?
2. Як, знаючи напругу та електричний заряд, що пройшов через поперечний переріз провідника, визначити роботу електричного струму?
3. Чому дорівнює потужність електричного струму?
4. Якими приладами вимірюють потужність і роботу електричного струму?
5. Які одиниці роботи електричного струму використовують на практиці?
6. Які одиниці потужності використовують на практиці?

Розв'яжіть задачі та оцініть результати

Вправа 40.

1. Напруга на спіралі лампочки від кишенькового ліхтарика 3,5 В, опір спіралі 14 Ом. Яку роботу виконує струм у лампочці за 5 хв.?
2. На електричній лампочці кишенькового ліхтарика зазначено 2,5 В; 0,25 А. Визначте потужність лампочки. (Визначте потужність лампочки ліхтарика, що є вдома)
3. Пилосос потужністю 500 Вт працює при напрузі 220 В. Визначте: а) силу струму, що споживається; б) опір; в) витрату електричної енергії за 30 хв.
4. При ремонті електроплитки спіраль укоротили на 25% її початкової довжини. Як зміниться споживана плиткою потужність?
5. Впродовж 10 хв на деякій ділянці протікає електричний струм, значення якого 250 мА. Напруга на цій ділянці – 4 В. Знайдіть потужність електричного струму, яка виділяється на даній ділянці та роботу електричного струму за даний час.

§ 41. ЗАКОН ДЖОУЛЯ – ЛЕНЦА



Джоуль Джеймс Прескотт
(1818–1889)

встановив закон, який
визначає теплову дію
електричного струму.

Нам уже відоме явище нагрівання провідників електричним струмом. Вільні електрони в металах або іони в розчинах лугів, кислот, солей, переміщуючись під впливом електричного поля, взаємодіють з іонами або атомами речовини провідника й передають їм свою енергію, внаслідок чого внутрішня енергія провідника збільшується. Кількість теплоти, яку виділяє провідник із струмом, дорівнює роботі струму, яку визначають за формулою:

$$A = UIt. \quad (1)$$

Позначимо кількість теплоти, що виділяє провідник, як і раніше, буквою Q . Оскільки за законом збереження енергії кількість виділеної теплоти Q в провіднику рівна роботі струму A , то

$$Q = UIt. \quad (2)$$

Використавши закон Ома, кількість теплоти можна визначити через силу струму, опір ділянки кола та час проходження струму. Взявши до уваги, що $U = IR$, матимемо:

$$Q = IRIt = I^2Rt. \quad (3)$$

Закон, що визначає кількість теплоти, яку виділяє провідник зі струмом у навколишнє середовище, експериментально встановили англійський учений Д.П. Джоуль і російський учений Е.Х. Ленц. Закон Джоуля–Ленца формулюється так:

Кількість теплоти, яку виділяє провідник зі струмом, дорівнює добутку квадрата сили струму, опору провідника й часу проходження струму провідником:

$$Q = I^2 R t. \quad (4)$$

Така форма запису закону Джоуля–Ленца зручна для використання у колах із послідовним з'єднанням елементів.

Для кіл із паралельним з'єднанням більш зручно є формула:

$$Q = \frac{U^2}{R} \cdot t$$



Ленц Еміль Християнович
(1804–1865)
встановив закон, який визначає теплову дію електричного струму.

Подумайте і дайте відповідь

1. Як формулюється закон Джоуля – Ленца?
2. Для чого проводи в місцях з'єднання не просто скручують, а ще й спаюють?
3. У коло джерела струму послідовно ввімкнено три дротини однакового перерізу і довжини: мідну, сталю, нікелінову. Яка з них більше нагріється?

Розв'яжіть задачі та оцініть результати

Вправа 41

1. Яка кількість тепла виділяється за 30 хв металевою спіраллю опором 20 Ом при силі струму 5 А.
2. В момент зварювання сила струму в зварювальному апараті 7500 А при напрузі 3 В. Сталі листи в момент зварювання мають опір 0,0004 Ом. Яка кількість теплоти виділяється під час зварювання за 2 хв?

§ 42. ЕЛЕКТРОНАГРІВАЛЬНІ ПРИЛАДИ



Рис. 149. Електрична лампа розжарювання

Основна частина електролампи розжарювання – спіраль із тонкого вольфрамового дроту.

Вольфрам – тугоплавкий метал, його температура плавлення 3387°C . Температура спіралі у лампі досягає 3000°C . При цій температурі спіраль світиться яскравим світлом. Спіраль вміщують у скляну колбу, з якої викачане повітря, іноді колбу заповнюють азотом. Це робиться для продовження терміну роботи лампи.

► Теплова дія струму широко використовується в техніці та побуті. До побутових приладів, в яких використовується теплова дія струму, належать, зокрема, побутові електронагрівальні прилади: електрична плитка, праска, кип'ятильники, електричні лампи розжарювання, тощо. У промисловості широко використовують потужні електричні печі для нагрівання деталей, контактне електрозварювання, спеціальні печі для виплавлення окремих сортів сталі і багатьох інших металів.

У сільському господарстві за допомоги електричного струму обігрівають теплиці, кормозапарники, інкубатори, а також сушать зерно, готують корми для тварин.

Мабуть немає кімнати, де б не було електричної лампи.

На рис. 149 зображено електричну лампу розжарювання. Спіраль тримається дротинами, дві з них проходять крізь скло балона і припаяні до металевих частин цоколя лампи: одна – до гвинтової нарізки, а друга – до основи цоколя, ізолюваного від нарізки.

Вмикається лампа в мережу за допомоги патрона, внутрішня частина якого має гвинтову наріжку, що утримує лампу. Всередині патрон має пружинний контакт, який стикається з основою цоколя лампи. Патрон під'єднують до електричної мережі.

Нині для освітлення приміщень широко використовуються енергозберігаючі елек-

тричні лампи.

Найвищу енергоефективність мають світлодіодні лампи, що дозволяють економити до 90% енергії.

Найчастіше для виготовлення нагрівального елемента застосовують ніхром – сплав нікелю, заліза, хрому і марганцю, що має великий питомий опір (у 70 разів більший від питомого опору міді). Великий питомий опір дає змогу виготовляти нагрівальні елементи малих габаритів.

Конструкції нагрівальних елементів дуже різноманітні (рис. 150). Наприклад, нагрівальним елементом у сучасній електричній прасці є ніхромова стрічка, яка з міркувань безпеки користування праскою запресована в термостійкий ізолюючий матеріал. Такі нагрівальні елементи не підлягають ремонту.

Лампи розжарювання випускаються різної потужності та на різну напругу, наприклад, 220 В – для освітлювальної мережі, 12 В – для автомобілів, 2,5, 3,5 і 6,5 В – для кишенькових ліхтариків.



Рис. 150. Конструкція нагрівального елемента (ніхромова стрічка)

Подумайте і дайте відповідь

1. Яка причина нагрівання провідника електричним струмом?
2. Як побудована електрична лампа розжарювання?
3. З яких матеріалів виготовляють спіралі ламп розжарювання? Чому?

Підготуйте повідомлення

Використання теплової дії струму в сільському господарстві

§ 43. ПРИРОДА ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ В РОЗЧИНАХ І РОЗПЛАВАХ ЕЛЕКТРОЛІТІВ

Електроліти – це розчини кислот, лугів і солей, які хімічно розкладаються при проходженні через них постійного електричного струму.

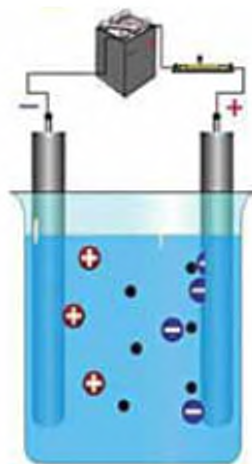


Рис. 151. Схема електролізу

► 1. Електроліз. Ми вже знаємо, що електричний струм може проходити крізь водні розчини кислот, лугів і солей, причому проходження струму супроводжується хімічними перетвореннями.

Скажімо, чиста вода і кристали хлориду міді (CuCl_2) практично не проводять електричного струму, а розчин хлориду міді у воді є гарним провідником. *Добрими провідниками є водні розчини кислот, лугів і солей.*

Виконаємо такий дослід: у посудину з розчином купрум (II) хлорид міді опустимо два вугільні електроди і зберемо коло, як показано на рисунку 151. Замкнемо коло. Через деякий час побачимо, що на негативно зарядженому вугільному електроді (катоді) виділяється мідь – тонкий шар міді, що має червоне забарвлення, а на позитивно зарядженому електроді (аноді) виділяється хлор – там ми побачимо бульбашки газу. Хлорид міді під час проходження електричного струму розклався на мідь і хлор. (Позитивно заряджений *анод* – від гр. *αἰόδος* – *сходження*; негативно заряджений катод – від гр. *καθόδος* – *спуск*).

► 2. Природа електричного струму в електролітах. Струм в електролітах супроводжується електролізом – окисно-відновлювальними реакціями з виділенням на електродах речовини. Отже, на відміну від металів, які мають електронну

провідність, електропровідність розчинів і розплавів електролітів обумовлена переміщенням йонів. Ні дистильована вода, ні сіль, кислота, або луг вільних йонів не містять, тому вони всі добрі діелектрики. У водних розчинах солей, кислот і лугів постійно відбувається розпад молекул на йони. Важливо те, що йони виникають лише у процесі взаємодії молекул розчиненої речовини з молекулами води.

Якщо в електроліт помістити електроди і створити електричне поле, то через електроліт потече струм. Струм у розчинах і розплавах електролітів обумовлений упорядкованим рухом носіїв струму (йонів) обох знаків. Це – йонна провідність електролітів.

На відміну від металів, які мають електронну провідність, електропровідність розчинів і розплавів електролітів обумовлена переміщенням йонів.

Процес розпаду молекул розчиненої речовини на йони під впливом розчинника називається електролітичною дисоціацією. Зворотній процес з'єднання молекул називається рекомбінацією.

Подумайте і дайте відповідь

1. Що називається електролітичною дисоціацією?
2. Чи проводить струм розчин цукру у воді?
3. Чи проводить струм розчин кухонної солі?
4. Чим обумовлена провідність електролітів?

§ 44. ЗАКОН ФАРАДЕЯ ДЛЯ ЕЛЕКТРОЛІЗУ

Процес розкладання речовини електричним струмом, який супроводжується виділенням на електродах складових речовин, які входять до складу електроліту, називається електролізом.

Електрохімічний еквівалент. Дослідження Фарадея показали, що електрохімічний еквівалент k характеризує кожну речовину, він різний для різних речовин.

Електрохімічним еквівалентом деякої речовини є величина, яка чисельно дорівнює масі речовини, що виділяється на електроді під час проходження через електроліт заряду в 1 Кл.

Із закону Фарадея випливає

$$k = \frac{m}{q}$$

► Перший закон електролізу Фарадея.

З проходженням струму крізь електроліт позитивні йони рухаються до катода, де отримують недостатні у них електрони, стають нейтральними і осідають на відповідному електроді.

Негативні йони рухаються до анода, віддаючи йому зайві електрони, стають нейтральними та осідають. Йони можуть осідати на електрод або випадати в осад, або виділятися в атмосферу.

Процес розкладання речовини електричним струмом, який супроводжується виділенням на електродах складових речовин, які входять до складу електроліту, називається електролізом.

Продовжимо дослід (рис.). Будемо пропускати електричний струм різної сили і протягом різного часу, зважуючи вугільний електрод після кожної частини досліду з тим, щоб визначити масу міді, яка виділилася. Проаналізувавши результати дослідів, можна зробити висновок, що маса міді, що виділилася, залежить і від сили струму, і від часу проходження струму через електроліт.

У 1834 р. дослідним шляхом англійський фізик Майкл Фарадей встановив такий закон:

Маса речовини, що виділяється на електроді, прямо пропорційна електричному заряду, що пройшов крізь електроліт.

Це перший закон електролізу, або пер-

ший закон Фарадея. Його можна записати так:

$$m = kq = kIt \quad (1)$$

де m – маса речовини, що виділилася на електроді, q – заряд, що пройшов крізь електроліт, I – сила струму, t – час проходження струму крізь електроліт, k – коефіцієнт пропорційності, який називають електрохімічним еквівалентом.

ПОГЛИБТЕ СВОЇ ЗНАННЯ

***Другий закон Фарадея.** Як видно із таблиці, електрохімічні еквіваленти різних речовин дуже істотно відрізняються один від одного.

Електрохімічні еквіваленти, мг/Кл

Таблиця.

Алюміній (Al^{3+})....0,093	Цинк (Zn^{2+}).... 0,34
Водень (H^+).... 0,0101	Нікель (Ni^{2+}).... 0,30
Кисень (O^{2-}) 0,083	Срібло (Ag^+).... 1,12
Мідь (Cu^{2+}).... 0,33	Хром (Cr^{3+}).... 0,18

Постає питання: від яких же властивостей речовини залежить значення електрохімічного еквівалента?

Відповідь на це питання дає встановлений дослідним шляхом другий закон Фарадея:

Електрохімічні еквіваленти різних речовин прямо пропорційні їх молярній масі та обернено пропорційні їх валентності.

Другий закон Фарадея можна записати у вигляді формули

$$k = \frac{1}{F} \cdot \frac{M}{n} \quad (2)$$

де k – електрохімічний еквівалент, M – молярна маса речовини, що виділяється на електроді, n – валентність речовини.

Число F називається сталою Фарадея. Значення сталої Фарадея

$$F = 96\,500 \frac{\text{Кл}}{\text{моль}}$$

*Об'єднаний закон Фарадея. Об'єднуючи формули (1) і (2) можна одержати обидва закони Фарадея у вигляді однієї формули:

$$m = \frac{I}{F} \cdot \frac{M}{n} \cdot q$$

Формула (3) визначає об'єднаний закон Фарадея, або врахувавши, що $q = I \cdot t$:

$$m = \frac{I}{F} \cdot \frac{M}{n} \cdot It \quad (3)$$

Фізичне знання в техніці

Застосування електролізу у промисловості й техніці

Відомо, що явище електролізу покладено в основу принципу дії кислотних і лужних акумуляторів.

За допомоги електролізу з солей і оксидів дістають багато хімічно чистих металів, наприклад алюміній, мідь, нікель. Оскільки електролітичний спосіб дає можливість отримувати речовини з незначною кількістю домішок, то його використовують для утворення надчистих матеріалів.

Для захисту виробів від окислення, для підвищення їх міцності або просто для надання їм привабливого вигляду часто наносять на них тонкий шар таких металів, як хром, нікель, срібло, золото. Для цього також використовують електроліз. Електролітичний спосіб покриття виробів тонким шаром металу називається **гальваностегією** (від імені італійського вченого Гальвані і грецького $\sigma\tau\epsilon\upsilon\eta$ – покриття).

Якщо пропускати струм крізь електроліт тривалий час, то на виробі може утворитися шар металу такої товщини, що його можна відокремити від виробу, зберігши форму, і отримати точну копію виробу. Електролітичне отримання точних копій різних виробів називається **гальванопластикою**. За допомогою гальванопластики дістають копії предметів складної форми, зокрема копії скульптур та інших витворів мистецтва. Метод гальванічного покриття і отримання точних копій предметів розроблено в 1838 р. російським ученим Б.С. Якобі.

Особливо важливим є електролітичне отримання алюмінію з розплаву розчину глинозему в криоліті. Електроліз проводять при 900 °С в електролітичній залізній печі, викладеній всередині пресованою вугільною масою, що є катодом. Зверху розміщені вугільні стержні – аноди. Алюміній, який виділяється на катоді знахо-

диться в розплавленому стані.

Отож, ми ознайомились з найбільш поширеними способами застосування електролізу у промисловості та техніці.

Розширте науковий кругозір

Чи існують тверді електроліти? Так. Прикладом твердого електроліту може бути усім відоме скло. Наявні у склі іони натрію за низьких температур переміщуються слабо і скло є ізолятором. Якщо ж нагріти скло до температури 300–400 °С, то іони натрію мають можливість переміщуватися під дією сил електричного поля і скло стає провідником електричного струму.

Подумайте і дайте відповідь

1. Що таке електроліт?
2. Що таке електроліз?
3. Від чого залежить маса речовини, що виділяється на електроді під час електролізу?
4. Як формулюється перший закон електролізу?
5. Який фізичний зміст електрохімічного еквівалента?
6. Як у промисловості та в техніці використовується явище електролізу?
7. Що таке гальваностегія? Гальванопластика?

Розв'яжіть задачі та оцініть результати

Вправа 44.

1. Чому дорівнює маса міді, що виділяється з розчину за 6 год при силі струму 2 А?
2. Яка потрібна сила струму, щоб нанести на спортивну нагороду – кубок 20,12 г срібла за 10 год?

§ 45. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ У ГАЗАХ. НЕСАМОСТІЙНИЙ ГАЗОВИЙ РОЗРЯД

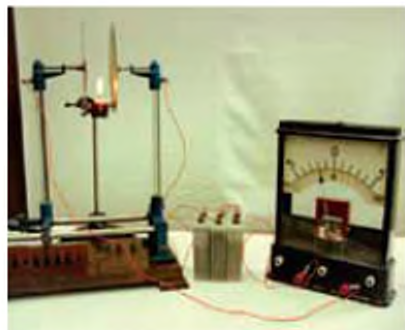


Рис. 152. Струм у газах

Процес проходження електричного струму крізь газ називається газовим розрядом, а явище проходження електричного струму в газі, що спостерігається лише за умови зовнішньої дії, називається несамостійним газовим розрядом.

► 1. За нормальних умов гази (повітря) електрично нейтральні. Провідність в таких газах може виникнути лише за умови появи носіїв струму.

Своєю чергою носії струму (електрони, іони) можуть виникнути лише під дією зовнішніх факторів, зокрема, таких: висока температура, ультрафіолетове, рентгенівське випромінювання, космічні промені. Такий процес утворення носіїв струму в газі (повітрі) називається іонізацією газу.

У цьому легко перекоонатися за допомоги досліду, що зображений на рисунку 152. Навіть найчутливіший гальванометр не покаже електричного струму, якщо коло розірване повітряним проміжком. Якщо внести у повітряний проміжок полум'я сірника або свічки, то електрометр покаже незначний електричний струм. Отже, під дією полум'я повітря стало провідним.

► 2. Природа несамостійного газового розряду. Як видно з досліду, вільні носії заряду в повітрі виникли під дією високої температури полум'я.

Звільнені електрони в свою чергою захоплюються нейтральними молекулами або атомами, що веде до утворення негативних йонів.

Коли ж полум'я свічки наближати до зарядженого електрометра, електрометр незалежно від типу заряду розряджається. Це підтверджує той факт, що під дією тем-

ператури полум'я свічки в повітрі утворюється як позитивні, так і негативні заряди.

Під дією високої температури швидкості молекул повітря швидко зростають і при зіткненні молекула може втратити один або кілька електронів, перетворившись на позитивний йон.

Одночасно з йонізацією при зіткненні молекул газу відбувається і зворотний процес – приєднання електронів до позитивних йонів, цей процес називається рекомбінацією.

Отже, природою несаможітного газового розряду є існування в газах за високої температури (або в разі дії інших зовнішніх факторів) вільних заряджених частинок: електронів, позитивних і негативних йонів.

Під дією сил електричного поля ці частинки можуть напрямлено рухатись і створювати електричний струм.

Подумайте і дайте відповідь

1. Що називається іонізацією газу?
2. Що називається несаможітним газовим розрядом?
3. Яка природа несаможітного газового розряду?
4. Який процес називається рекомбінацією?

§ 46. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ У ГАЗАХ. САМОСТІЙНИЙ ГАЗОВИЙ РОЗРЯД

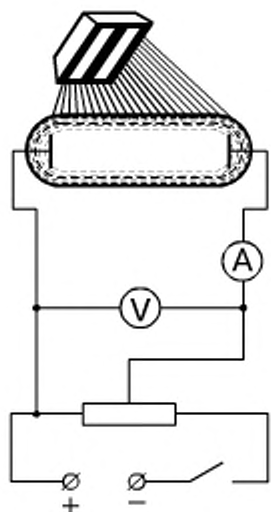


Рис. 153. Дослід, який показує залежність сили струму від напруги

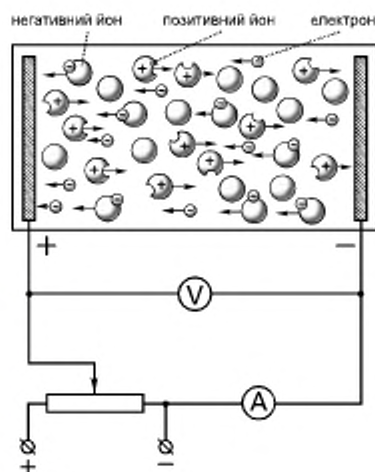


Рис. 154. Позитивно заряджені йони переміщуються до негативного електрода, а негативно заряджені йони та електрони – до позитивного.

► 1. Залежність сили струму газового розряду від прикладеної напруги. Щоб установити залежність сили струму від напруги розглянемо такий дослід (рис. 153). Візьмімо скляну трубку з двома електродами, заповнену будь-яким газом, і увімкнімо її в електричне коло. Піднесімо до неї йонізатор. Поки на трубку не подано електричної напруги (в газі не створено електричного поля), кількість пар йонів, які з'являються в газі за певний час, дорівнюватиме кількості пар йонів, які, зіткнувшись, стають нейтральними (рекомбінують).

Подаватимемо на електроди напругу. Під дією сил електричного поля позитивно заряджені йони переміщуватимуться до негативного електрода, а негативно заряджені йони та електрони – до позитивного (рис. 154). У трубці виникає електричний струм. Якщо напруга невелика, то лише частина йонів, утворених йонізатором, рекомбінуватиме в газі, а решта досягне електродів і на них нейтралізуватиметься. Графік залежності сили струму газового розряду від прикладеної напруги зображено на рисунку 155.

Із графіка видно, що зі зростанням напруги до U_1 спочатку пропорційно зростає і сила струму. Про це свідчить прямолінійна ділянка 0-1. За певного значення напруги U_2 всі йони і електрони будуть прискорені електричним полем, і струм у

газі набуває насичення – $I_{\text{нас}}$. – всі носії зарядів рухаються до відповідних електродів (на графіку ділянка 2-3) незалежно від зростання напруги до деякого значення (U_3).

► **2. Ударна іонізація.** Здавалося б, далі сила струму вже не зростатиме, бо всі йони, які виникають у газі за одиницю часу, нейтралізуються поблизу електродів, тож більший заряд уже не може бути перенесений.

Пояснити різке зростання струму на ділянці 3-4 можна, якщо дати відповідь на питання: *чому збільшення різниці потенціалів між електродами привело до додаткової іонізації газу?*

Це пояснюється ударною іонізацією атомів і молекул газу при зіткненні зі швидкими електронами. Під дією сильного електричного поля електрони набувають великих значень кінетичної енергії

$$\frac{mv^2}{2},$$

яка стає більшою за роботу A , яку

треба виконати, щоб іонізувати нейтральний атом або молекулу.

Отже, в процесі іонізації атома або молекули утворюється вже дві заряджені частинки. Обидва електрони (початковий і щойно вибитий) розганятимуться в електричному полі між електродами до великих швидкостей. Кожен з них на своєму шляху також ударятиме зустрічні нейтральні молекули газу і вибиватиме з них електрони. Кількість вільних електронів, що мчатимуть із великою швидкістю до анода лавиноподібно зростатиме і, як зро-

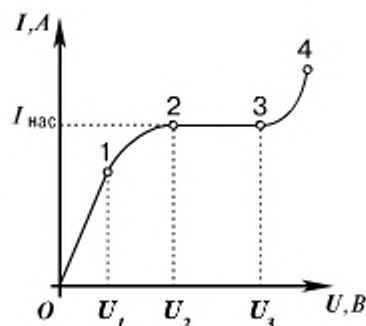


Рис. 155. Графік залежності сили струму газового розряду від прикладеної температури

Дослід показує, що при значному збільшенні напруги, починаючи з деякого значення U_3 , сила струму знову зростає, причому різко (ділянка 3-4). Це означає, що в газі виникли додаткові йони, відбулась додаткова іонізація газу.

Умовою ударної іонізації газу є нерівність:

$$\frac{mv^2}{2} > A.$$

У процесі ударної іонізації різко зростає кількість іонізованих атомів, а з ними і число електронів, які здійснюють іонізацію.

За таких умов на ділянці 3-4 струм вже може існувати і після припинення дії зовнішнього йонізатора.

Види самостійних газових розрядів такі: тліючий іскровий, коронний і дуговий.



Рис. 156. Тліючий розряд

Тліючий розряд у парах ртуті, натрію використовується в лампах денного освітлення, у газі неоні (червоне свічення) використовується в сигнальних лампах і рекламних трубках. Тліючий розряд в аргоні, який дає синювато-зелене свічення, використовується у рекламних трубках.

зуміло, не за рахунок зовнішнього йонізатора. Одночасно швидко зростає й кількість позитивно заряджених йонів, які рухаються до катода і також беруть участь у створенні електричного струму. Кількість вільних електронів і йонів стає настільки великою, що сила струму різко зростатиме. Цей процес і називають *ударною іонізацією* (3-4, рис. 153).

Тому такий розряд, який існує після припинення дії зовнішнього йонізатора називають *самостійним газовим розрядом*. Самостійний газовий розряд вже не потребує зовнішнього йонізатора для свого підтримання.

► 3. Види самостійних газових розрядів. Види самостійних газових розрядів такі: тліючий іскровий, коронний і дуговий.

– *Тліючий розряд* – це самостійний розряд, який виникає в газах за низьких тисків (порядку 2-50 мм рт. ст.) (рис. 156).

Пояснити виникнення тліючого розряду за низьких тисків можна наступним чином. Коли газ дуже розріджений і відстані між молекулами великі, то йони, рухаючись деякий час без зіткнень, можуть набувати великих швидкостей і, отже, мати значну кінетичну енергію. При ударі в катод швидких йонів з металеві поверхні катода вибиватимуться електрони.

Ці два процеси: іонізація електронним ударом і вибивання електронів із катода і є основними в тліючому розряді.

– *Іскровий розряд* виникає в повітрі між двома електродами за нормальних тисків (рис. 157).

Він триває короткий інтервал часу. За

зовнішнім виглядом нагадує пучок зигзагоподібних смужок, що розгалужуються від тонкого каналу. Смужки швидко пронизують проміжок між електродами, гаснуть, потім виникають знову.

Іскровий розряд супроводжується звуковим ефектом за рахунок утворення ударної хвилі в повітрі внаслідок локального підвищення температури.

Найяскравішим прикладом іскрового електричного розряду є блискавка, яка виникає між зарядженими хмарами або зарядженими хмарами і Землею. Різниця потенціалів між хмарою і Землею порядку $14 \cdot 10^9$ В.

– *Коронний розряд* – це проміжний розряд між тліючим та іскровим (рис. 158).

Виникає на електродах із тонкого дроту або із загостреними кінцями, увімкнених до джерела високої напруги. Поблизу таких дротів чи загострених кінців створюється дуже сильне електричне поле. Коронний розряд може виникнути на загострених частинах провідників або у проводах високовольтних ліній електропередач, що призводить до значних втрат електричної енергії. Щоб зменшити можливість виникнення коронного розряду, збільшують діаметр проводів.

У коронному розряді, на відміну від іскрового, має місце неповний пробій газового проміжку.

– *Дуговий розряд* або електрична дуга, на відміну від переривчастого іскрового є неперервним потужним самостійним електричним розрядом (рис. 159). Його можна продемонструвати за допомогою



Рис. 157. Іскровий заряд



Рис. 158. Коронний розряд



Рис. 159. Дуговий розряд

Іскровий розряд виникає при такій високій напрузі між електродами, коли кількість вільних електронів, які мчать із величезною швидкістю до анода, і позитивно заряджених йонів, які рухаються до катода, наростає, мов лавина. Виникає, так званий, електричний пробій повітряного проміжку.

двох вугільних електродів, приєднаних до джерела струму постійної напруги.

Кінці електродів сильно розжарюються і, між ними, спалахує дуга. Внаслідок високої температури в дуговому проміжку газ буде сильно йонізованим, опір його малим, а сила струму великою. За великої сили струму удари позитивних йонів та електронів викликатимуть іще сильніше розжарення катода і анода. З поверхні катода при цьому відбувається емісія електронів, що забезпечує підтримання самостійного розряду в газі та неперервне «горіння» дуги.

Розширте науковий кругозір

Плазма

– **Плазмою** називають стан газу, що має високий ступінь йонізації, за якого концентрація електронів та йонів в газі дуже велика.

Так, плазмою є стан газу в дуговому, іскровому і тліючому розрядах. В нейтральній плазмі концентрація електронів і позитивних йонів однакові і сумарний об'ємний заряд дорівнює нулю (як і в металах).

Плазма є особливим станом речовини, який дістав назву четвертого стану речовини (рис. 160).

Розрізняють *слабойонізовану*, *середньо йонізовану* та *повністю йонізовану* плазму.

Слабойонізована плазма присутня у зовнішніх шарах атмосфери.

Сильно йонізована плазма присутня у блискавці. У космосі плазма є найбільш поширеним станом речовини.

При надвисоких температурах порядку мільйонів градусів *атоми газу повністю йонізуються* (розпадаються на електрони і ядра). Властивості такої плазми і способи її одержання набули останнім часом великого значення в зв'язку з проблемою здійснення керованих термоядерних реакцій.



Рис. 160. Плазма

Фізичні знання в техніці

Застосування струму в газах у побуті, в промисловості, в техніці

Явища і процеси, пов'язані з проходженням струму в газах, знайшли широке застосування в побуті, в промисловості, техніці. Розгляньмо деякі з них.

► **Коронний розряд** може приносити користь людині. Так, його використовують в електрофільтрах для очищення димів і газів від твердих домішок. Створено промислові електрофільтри, за допомоги яких можна за годину очистити сотні тисяч кубометрів промислових газів від диму, пилу та шкідливих туманів.

► **Тліючий розряд: лампи денного освітлення.** На внутрішню поверхню трубки лампи наносять шар спеціальної речовини (люмінофор), яку добирають так, щоб вона, поглинувши фіолетове й ультрафіолетове проміння, випромінювала світло, спектральний склад якого був би близьким до сонячного. Лампи денного світла значно (у 3–4 рази) економніші за лампи розжарення.

► **Іскровий розряд** використовують в електроіскровому методі різання, свердління та інших видах точної обробки металу.

► **Електрична дуга. Електрозварювання.** Електрична дуга є основою електричного зварювання. Електрозварник, торкаючись кінцем електроду до зварюваної деталі та, домагаючись виникнення розряду, відводить електрод на невелику відстань, яка в процесі зварювання має бути приблизно сталою. Між електродом і деталлю виникає електрична дуга (рис. 161).

Дуговий розряд супроводжується яскравим свіченням і сильним розігріванням електродів. Температура каналу дуги сягає 5000°C .

Фізичні дослідження в Україні.

Інститут електрозварювання ім. Є. О. Патона Національної академії наук України

Інститут електрозварювання створений академіком Євгеном Оскаровичем Патonom у складі Всеукраїнської Академії наук у 1934 р. Це найбільший в Україні і світі науково-технічний центр в галузі зварювання та спецеелектрометалургії. У його складі дослідницько-конструкторське бюро, три дослідних заводи і експериментальне виробництво. Основні напрямки наукової діяльності: комплексні дослідження природи зварювання і пайки металевих і неметалевих матеріалів, створення на їхній основі технологічних процесів, ма-



Рис. 161. Утворення електричної дуги

теріалів та обладнання; дослідження міцності та несучих властивостей зварних конструкцій і технології їх механізованого виробництва; розробка спец. електро-металургійних засобів отримання високоякісних сталей і сплавів, литих виробів і тонких покриттів з особливими властивостями.

Одним із найбільш значних досягнень інституту на початку 1950-х рр. стало створення нової технології зварювання плавленням металу великої товщини – електрошлакової, що докорінно змінило виробництво. важких станин, котлів, гідроагрегатів та інших унікальних зварювально-прокатних, зварювально-литих конструкцій.

Експериментально-теоретичні дослідження і наукові розробки в області міцності зварних з'єднань і конструкцій представляють традиційний розділ в тематиці інституту.

Роботи інституту не обмежуються дослідженнями в області зварювання металевих матеріалів. Інститут займається проблемами зварювання полімерних матеріалів, а також виробів із них. В останні роки з'явився ще один напрямок - зварювання м'яких тканин живих організмів. В результаті зроблено вагомий внесок у теоретичне обґрунтування процесів зварювання живої тканини, а також розробку відповідного зварювального обладнання та створення і відпрацювання досконалих хірургічних інструментів стосовно конкретних органів людини, які підлягають зварюванню. Робота виконана колективом інституту у тісній співпраці з хірургами відкриває нові можливості в медицині технологіях.

Подумайте і дайте відповідь

1. Який розряд називають несамостійним?
2. Який розряд називають самостійним?
3. Як пояснити механізм ударної іонізації?
4. Що таке іскровий розряд?
5. Що таке тліючий розряд?
6. Що таке електрична дуга?
7. Який стан газу називають плазмою?

§ 47. БЕЗПЕКА ЛЮДИНИ ПІД ЧАС РОБОТИ З ЕЛЕКТРИЧНИМИ ПРИЛАДАМИ І ПРИСТРОЯМИ

► **1. Коротке замикання.** Виконуючи роботи з електричним струмом, необхідно пам'ятати, що струм, проходячи крізь тіло людини, може бути небезпечним для здоров'я. Тому слід суворо дотримуватись правил техніки безпеки. Необхідно враховувати, що кожне електричне коло розраховане на певну силу струму. Тому кожне електричне коло слід захистити від надмірного зростання сили струму в ньому.

Причиною значного зростання сили струму в мережі може бути або одночасне вмикання потужних споживачів струму (електричних плиток, електронагрівачів), або коротке замикання.

Опір кола за короткого замикання дуже незначний, тому в колі, згідно з законом Ома, виникає дуже велика сила струму.

► **2. Запобіжники.** Оскільки сила струму короткого замикання може бути значною, то проводи електричної мережі при цьому можуть сильно нагріватися і навіть спричинити пожежу. Щоб уникнути цього, в мережу вмикають спеціальні пристрої – запобіжники, призначення яких – відразу вимкнути лінію, тільки не сила струму перевищить допустиму.

На рисунку 162 показано запобіжник із плавкою вставкою, який до цього часу застосовують у квартирній проводці. Головна його частина – дротина з легкотопко-

Коротким замиканням ділянки кола називають з'єднання її провідником з дуже малим опором, внаслідок чого відбувається різке збільшення сили струму.



Рис. 162. Запобіжник із плавкою вставкою



Рис. 163. Зовнішній вигляд запобіжника

го металу (наприклад, із свинцю), що міститься всередині фарфорової вставки.

Якщо сила струму перевищить допустиме значення, то свинцева дротина розплавиться і коло розімкнеться. Тому такі запобіжники й називають *плавкими*.

Плавку вставку можна легко замінювати, якщо вона перегорить.

Нині широко застосовуються запобіжники, дія яких ґрунтується на тепловому розширенні тіл під час нагрівання. На рис. 163 зображено зовнішній вигляд такого запобіжника. У разі перевантаження електричне коло розмикається. Ввімкнення кола здійснюється натисненням кнопки. На рисунку 164 зображено сучасний блок запобіжників різного призначення.

Використання запобіжників захищає електричні кола від перевантаження.

► 3. Дія електричного струму на організм людини. Щоб захиститися від дії електричного струму, тим, хто працює з електрикою, слід суворо дотримувати певних заходів безпеки.

Дослідження показали що сила струму близько 0,01 А в разі проходження крізь тіло людини спричинює легке подразнення за струму 0,03 А м'язи можуть втратити здатність скорочуватися, а струм силою 0,1 А вважається небезпечним. Оскільки електричний опір тіла людини може змінюватися від 500 кОм до 1 кОм, то при випадковому попаданні під напругу 220 В крізь тіло людини може проходити струм

силою $I = \frac{220\text{В}}{10000\text{Ом}} = 0,22\text{А}$, який також є



Рис. 164. Запобіжники, які використовують в радіопристроях

небезпечним.

Тому за несприятливих умов не те що 220 В, а лише 50–60 В можуть нашкодити здоров'ю життя людини. Навіть напруга 12 В вже небезпечна для здоров'я!

Слід мати на увазі, що ступінь ураження електричним струмом залежить не лише від сили струму, а й від шляху, яким струм проходить крізь тіло людини.

Найбільша небезпека для людини виникає тоді, коли при ураженні струм проходить крізь нервові центри органів дихання і кровообігу. Тому будьте уважні, користуючись електричним струмом у побуті та в кабінеті фізики.

► **4. Правила техніки безпеки під час роботи з електричним струмом.** Щоб бути гарантованим від неприємностей, кожний, хто має справу з електрикою, має виконувати такі *основні правила: ніколи не працювати під напругою; користуватися тільки електроізолюваним інструментом; бути особливо обережним під час роботи у вологих приміщеннях.*

Особливо небезпечно доторкатися до увімкнених в електричне коло приладів мокрими руками. Неправильне поводження з електрикою може спричинити й пожежу. Тому не залишайте без нагляду електропраски, плитки, паяльника, теле-і радіоприладів, якщо вони увімкнені в мережу.

Слід зазначити, що електричний опір людського тіла не завжди однаковий, він залежить від багатьох факторів: вологості шкіри, стану нервової системи, стану здоров'я, втоми. Також треба пам'ятати, що ймовірність ураження електричним струмом зростає, якщо людина стоїть на кам'яній, земляній чи вологій дерев'яній підлозі, доторкається до газових, водопровідних, каналізаційних труб чи інших металевих предметів.

Основні правила: ніколи не працювати під напругою; користуватися тільки електроізолюваним інструментом; бути особливо обережним під час роботи у вологих приміщеннях.

Пам'ятайте, що ураження струмом найчастіше буває внаслідок:

- дотику до неізольованих, оголених проводів, рубильників, лампових патронів, запобіжників та інших приладів, які перебувають під напругою;
- дотику до робочих частин електростанка, електродвигуна, які внаслідок пошкодження електричної ізоляції опинилися під небезпечною напругою;
- перебування поблизу місця падіння на землю обірваного провада електромережі;
- недодержання правил безпеки в побуті.

Подумайте і дайте відповідь

1. Чому потрібно дотримуватись правил безпеки під час роботи з електричним струмом?
2. Чим пояснити, що за короткого замикання сила струму в колі може бути дуже великою?
3. Для чого потрібні запобіжники, які вмикають у мережу?
4. Чому слід ретельно перевіряти стан електроізоляції проводів, особливо у вологих приміщеннях?
5. Чому не можна залишати без нагляду електронагрівальні прилади?

Розширте науковий кругозір

Іноді під час грози коронний розряд з блискавковідводу стає настільки сильним, що біля вістря виникає чітко видиме свічення. Таке свічення іноді виникає й біля інших загострених предметів: на кінцях корабельних щогл, гострих верхівок дерев та ін. Це явище було відоме ще декілька віків тому отримало назву «вогни святого Ельма» і викликало містичний жах у мореплавців.

Красиве, але й небезпечне явище природи – блискавка – це не що інше, як іскровий розряд в атмосфері.

Повітря в каналі блискавки нагрівається до температури понад $10\,000\text{ }^{\circ}\text{C}$ і перебуває у стані плаз-



Рис. 165. Блискавка

ми. Раптова зміна тиску у плазмовому каналі, діаметр якого становить 10 – 20 см, при зміні сили струму і припиненні розряду викликає звукове явище – грім.

Фізичні дослідження в Україні

Значний внесок в розвиток вчення про електричний струм зробили також і українські вчені, зокрема:

Олександр Смакула (1900-1983) народився в с. Доброводи на Тернопільщині. Олександр Смакула увійшов в історію науки як один із найвидатніших українських фізиків ХХ століття. Він є гордістю не лише українського народу, а й світової науки. Понад 40 років свого життя Олександр Смакула віддав науці за межами України. «Але свої Батьківщини не забув і повік не забуду», – писав він у 1964 році. У 1927 році написав роботу «про питомий опір рідкого повітря», в якій вивів формулу для розрахунку питомого опору рідкого повітря, провів перевірку закону Ома.

Іван Пулюй (1845-1918), народився в місті Гримаїлові (Тернопільська область). Вдосконалив технологію виготовлення розжарювальних спіралей для освітлювальних ламп. У 1881 році на Всесвітній електротехнічній виставці в Парижі сконструйовані Пулюєм електричні лампи розжарювання відзначено дипломами. Масштабна діяльність І. Пулюя в галузі електротехніки, як практичної, так і теоретичної, отримала широке визнання. Він проявив себе як учений-дослідник, інженер-конструктор, винахідник, технолог, проєктант електростанцій, керівник їх будівництва, державний експерт.

Михайло Авенаріус (1835-1895), народився в Царському Селі. Завідувач кафедри фізики, професор Київського університету (1865 – 1891 рр.), організатор і керівник Київської школи фізиків-експериментаторів. Сформулював залежність електрорушійної сили термоелементів від температури. Активно займався науковими дослідженнями, керував фізичною лабораторією університету, завідував Метеорологічною обсерваторією, вів підготовку наукових кадрів. Викладав експериментальну фізику, метеорологію, спеціальні курси механічної теорії тепла (термодинаміки), теорії електрики та магнетизму, оптики.

Навчальний проект

Електрика в житті людини. Сучасні побутові електричні прилади

Вступ

Сьогодні рівень забезпечення населення електричними приладами є дуже високим. Тому обізнаність із технічними характеристиками та особливостями роботи електричних побутових приладів забезпечить їх правильну експлуатацію та своєчасне вживання заходів щодо усунення несправностей. Це дозволить подовжити термін служби електричних побутових приладів, а також запобігти ураженню електричним струмом і запобігти пожежі в разі короткого замикання.

Мета проекту

Розширити і поглибити знання й уміння з розділу 5 «Електричний струм. Закони постійного струму» і розділу 6 «Застосування законів постійного електричного струму». Ознайомитись з правилами використання електричних побутових приладів, з можливостями виявлення й усунення незначних несправностей. Навчитись використовувати інструкції до приладів, одержувати з них необхідну інформацію. Ознайомитись із правилами попередження уражень електричним струмом при експлуатації побутових електричних приладів. Набути умінь моделювання деяких електричних пристроїв.

Знання з яких навчальних предметів будуть необхідні при роботі над проектом?

1. Фізика.
2. Природознавство.
3. Біологія.
4. Трудове навчання.

Орієнтовні напрями роботи над проектом

Теоретична частина проекту:

1. Електропроводка у кабінеті фізики, її основні елементи та їх призначення. Правила експлуатації електропроводки. Причини ви-

никнення та можливості усунення короткого замикання.

2. Електроосвітлювальні прилади. Принцип дії електроосвітлювальних приладів, їх технічні характеристики. Правильний підбір освітлювальних приладів у квартирі.

3. Електронагрівальні прилади. Види електронагрівальних приладів та їх технічні характеристики. Правила техніки безпеки при використанні електронагрівальних приладів у побуті.

4. Електричні прилади для виконання господарських робіт. Їх види, призначення, технічні характеристики. Економія електроенергії при виконанні господарських робіт із використанням електричних приладів. Заміна запобіжників у разі перевантаження електричного кола при одночасному ввімкненні декількох електричних приладів.

5. Електричні прилади для створення мікроклімату в оселі. Призначення та правила застосування приладів, їх технічні характеристики.

6. Прилади для регулювання напруги в електричному колі. Призначення приладів, схеми та правила їх увімкнення в коло.

7. Придбання електричних побутових приладів. Порівняння їх технічних характеристик, визначення параметрів, за якими слід обирати прилад (економічність, безпека у використанні тощо).

8. Техніка безпеки при використанні електричних побутових приладів. Заземлення приладів. Прийоми надання першої медичної допомоги у разі ураження електричним струмом.

Експериментальна частина проекту:

Увага! Усі завдання експериментальної частини проекту рекомендуються виконувати під керівництвом учителя.

1. Традиція запалювати вогні на новорічній ялинці зародилася задовго до появи електрики, тому у якості такої прикраси спочатку використовувалися свічки. Проте вони були дуже небезпечні, оскільки могли викликати пожежу. Ситуація кардинально змінилася, коли з'явилися електричні ялинкові гірлянди. Але був період, коли знайти такі гірлянди можна було лише у великих містах. Тому у той час еди-

ною можливістю зробити ілюмінацію у квартирі на Новий рік була самодільна ялинкова гірлянда. А схему її виготовлення знав кожний школяр! Чи зможете ви зробити модель ялинкової гірлянди?

2. Найпростішими джерелами струму є батарейки. Але їх використання породжує серйозну екологічну проблему – утилізацію батарейок. Адже у них містяться шкідливі речовини, а тому їх небезпечно викидати разом з іншим сміттям, адже для утилізації батарейок необхідні спеціальні контейнери. Але цікавим є той факт, що деякі овочі й фрукти можуть бути використані у якості джерел живлення. До того ж такі джерела струму будуть екологічно безпечними!

Виконайте дослідження щодо використання природних плодів лимона, апельсина, яблука, цибулі, картоплі тощо, для створення найпростіших джерел струму. Встановіть електричні характеристики природних джерел струму (силу струму, який вони виробляють, напругу на полюсах джерела струму, потужність джерел струму).

За результатами експериментів зробіть висновки:

- які природні елементи є найбільш ефективними джерелами струму;
- як залежить напруга на полюсах джерел струму від розмірів природних елементів, які ви досліджували;
- що необхідно зробити для забезпечення більшої потужності природного джерела струму;
- для яких приладів можна використовувати джерела струму, одержані з природних елементів.

Важливо! Виконуючи це завдання проекту, ви робите свій особистий внесок у справу охорони природи України!

СИСТЕМАТИЗУЙТЕ ЗНАННЯ З РОЗДІЛУ 6.

«Застосування законів постійного електричного струму»

► *Робота електричного струму* A на ділянці кола дорівнює добутку напруги на кінцях цієї ділянки кола U на електричний заряд q , що пройшов по ній: $A = U \cdot q$, а потужність електричного струму P дорівнює добутку напруги U на силу струму в колі I : $P = UI$.

► *Закон Джоуля – Ленца*: кількість теплоти Q , яку виділяє провідник зі струмом, дорівнює добутку квадрата сили струму I , опору R й часу проходження струму провідником t : $Q = I^2Rt$.

► *Електролізом* називають процес розкладання речовини електричним струмом, який супроводжується виділенням на електродах складових речовин, які входять до складу електроліту.

Маса речовини m , що виділяється на електроді під час електролізу, прямо пропорційна електричному заряду q , що пройшов через електроліт (перший закон Фарадея): $m = kq$, $m = kIt$, (бо $q = It$), де k – електрохімічний еквівалент.

► *За несамоїтного* газового розряду вільні носії заряду – електрони і позитивно заряджені йони – утворюються під дією зовнішнього іонізатора. Газовий розряд називають самоїтним, якщо він не потребує зовнішнього іонізатора для свого підтримування (вільні електрони та йони утворюються внаслідок процесів, що відбуваються в самому газі). Розрізняють: іскровий, тліючий, дуговий, коронний газові розряди

► *Іонізація* – це процес утворення носіїв струму в газі, зокрема, в повітрі;

Рекомбінація – це процес зворотній до процесу іонізації, а саме, процес приєднання електронів до позитивних йонів і утворення нейтральних молекул;

Види самоїтних газових розрядів:

- *тліючий розряд* – це розряд, який виникає в газах за низьких тисків;
- *іскровий розряд* виникає в повітрі між двома електродами за звичайного тиску. Найяскравішим прикладом іскрового розряду є блискавка;

- *коронний розряд* – це проміжний розряд між тліючим та іскровим. Виникає на загострених електродах під високою напругою, навколо проводів високовольтних ліній електропередач;

- *дуговий розряд* є неперервним потужним самоїтним електричним розрядом між двома електродами.

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДО РОЗДІЛУ 6
«Застосування законів постійного електричного струму»

Початковий рівень

1. Робота електричного струму вимірюється у:
А джоулях; Б кулонах; В ватах; Г вольтах.
2. Потужність електричного струму можна визначити за формулою:
А $U=IR$; Б $P=UI$; В $A=UIt$; Г $I=U/R$.
3. Якими носіями електричних зарядів створюється струм в електродіодах?
А негативними йонами;
Б позитивними йонами;
В вільними електронами;
Г позитивними і негативними йонами.

Середній рівень

4. Газовий розряд, що продовжується після припинення дії зовнішнього іонізатора, називається:
А самостійним; Б несамостійним; В видимим; Г невидимим.
5. Потужність електропаяльника 220Вт, опір 55 Ом. Під якою напругою працює паяльник?
А 110 В; Б 220 В; В 55 В; Г 410 В.
6. Як називається процес протилежний до процесу іонізації?
А рекомбінація; Б кавітація; В газифікація; Г реабілітація.

Достатній рівень

7. Опір електричного чайника 22 Ом. Напруга, за якої він працює 220 В. Визначте потужність струму, яку споживає чайник.
А 2,2 Вт; Б 10 Вт; В 2200 Вт; Г 4840 Вт.
8. Вибрати вірні відповіді для кожного із питань за умови, що до резистора 20 Ом прикладена напруга 6 В.
1) сила струму в резисторі;

2) потужність струму в резисторі;

3) за 10 с струм виконує роботу.

А 1,8 Вт;

Б 18 Дж;

В 0,3 А.

9. Необхідно виготовити нагрівач потужністю 1200 Вт, опором 24 Ом. На яку напругу він розрахований?

А 100 В; б) 85 В; в) 169 В; г) 220 В.

Високий рівень

10. У скільки разів робота струму за один і той же час буде більшою, у випадку коли два опори по 5 Ом кожний з'єднали перший раз послідовно, чи коли в другий раз паралельно? Напруга в обох випадках 4,5 В.

А $\frac{A_2}{A_1} = 0,4;$

Б $\frac{A_2}{A_1} = 4;$

В $\frac{A_2}{A_1} = 0,25;$

Г $\frac{A_2}{A_1} = 1.$

11. При проходженні однакового заряду через два провідники, в одному з них виконувалася робота 240 Дж, а в другому 200 Дж? До якого провідника прикладена більша напруга і в скільки разів?

А до першого більша в 1,2 рази;

Б до другого більша в 1,4 рази;

В однакова;

Г до першого менша в 1,5 рази.

12. Яку роботу виконує електричний струм за 10 хв під час проходження через алюмінієвий дріт довжиною 2 м при силі струму 2А? Площа поперечного перерізу дроту 0,2 мм². (Питомий опір тіла)

А. 627 Дж

Б. 540 Дж

В. 605 Дж

Г. 762 Дж

ЗАДАЧІ ДО РОЗДІЛУ 6

1. Визначити товщину осажденного шару нікелю, якщо електроліз триває 1 год при густині струму $0,4 \text{ А/дм}^2$. (Відповідь: $0,005 \text{ мм}$).

2. При нікелюванні виробу протягом 1,5 год на ньому утворився шар нікелю завтовшки $0,03 \text{ мм}$. Визначити середнє значення густини струму.

(Відповідь: 164 А/м^2).

3. При якому струмі відбувається електроліз у розчині мідного купоросу, якщо за 30 хв. на катоді виділилося 5 г міді? $k = 0,01 \text{ } 10^{-6} \text{ кг/Кл}$.

(Відповідь: 278 А).

4. Яку роботу виконує електричний струм за 10 хв під час проходження через алюмінієвий дріт довжиною 2 м при силі струму 2 А ? Площа поперечного перерізу дроту $0,2 \text{ мм}^2$.

(Відповідь: 672 Дж).

5. Транспортєр піднімає за 1 хв вантаж масою 300 кг на висоту 6,5 м. ККД транспортера 65 %. Визначити силу струму через двигун транспортера, якщо напруга в мережі 380 В.

(Відповідь: $\approx 1,3 \text{ А}$).

6. Два провідники, опором по 5 Ом кожний, з'єднані спочатку послідовно, а потім паралельно і в обох випадках перебувають під напругою 4,5 В. У якому випадку робота струму за той самий час буде більшою і в скільки разів? (Відповідь: в другому випадку; в 4 рази).

7. Пилосос потужністю 500 Вт працює при напрузі 220 В. Визначте:

а) силу струму, що споживається; б) опір; в) витрату електричної енергії за 30 хв. (Відповідь: $2,27 \text{ А}$; $96,8 \text{ Ом}$; 900 кДж).

8. На затискачах дуги зварювальної електричної машини підтримується напруга 60 В. Опір дуги 0,4 Ом. Розрахуйте витрати електричної енергії для зварювання протягом 4 год.

(Відповідь: $\approx 130 \text{ МДж}$).

9. Електроплитка розрахована на напругу 220 В і силу струму 3 А. Визначте потужність струму в плитці. (Відповідь: 660 Вт).

10. За який час при електролізі водного розчину CuCl_2 на катоді виділиться 4,74г міді при струмі 2А. Електрохімічний еквівалент міді.

(Відповідь: $\approx 7181 \text{ секунда}$, $\approx 2 \text{ години}$).

ВІДПОВІДІ ДО ТЕСТОВИХ ЗАВДАНЬ

Тестові завдання до розділу 1

1. В. 2. Б. 3. А. 4. Б. 5. А. 6. Г. 7. В. 8. Б. 9. В. 10. Г. 11. В. 12. А.

Тестові завдання до розділу 2

1. Б. 2. Г. 3. Б. 4. Б. 5. А. 6. Б. 7. Г. 8. Б. 9. В. 10. Г. 11. Б. 12. А.

Тестові завдання до розділу 3

1. В. 2. Б. 3. Г. 4. А. 5. В. 6. Б. 7. Г. 8. Б. 9. А. 10. Г. 11. А. 12. В.

Тестові завдання до розділу 4

1. Г. 2. А. 3. Г. 4. Б. 5. Г. 6. А. 7. Б. 8. А. 9. Г. 10. А. 11. Г. 12. А.

Тестові завдання до розділу 5

1. Б. 2. В. 3. А. 4. А. 5. Б. 6. Б. 7. В. 8. В. 9. А. 10. Б.

11. 1) а; 2) в; 3) б; 4) а. 12. Б.

Тестові завдання до розділу 6

1. А. 2. Б. 3. Г. 4. А. 5. А. 6. А. 7. В. 8. 1) в; 2) а; 3) б.

9. В. 10. Б. 11. А. 12. А.

ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

Абсолютна температура 22	Горіння 119
Агрегатний стан 27, 30	Двигун внутрішнього згорання 133, 137, 143
Аморфні тіла 31	Джеймс Уатт 131
Ампер Андре Марі 217	Джон Джозеф Томсон 167
Ампер 218	Джерело струму 212
Амперметр 219	Джоуль Джеймс Прескот 262
Андрес Цельсій 20	Дифузія 12
Атомне ядро 170	Діелектрики 177, 206
Атом 207	Дуговий розряд 277
Бенджамін Франклін 179	Електрична іскра 137
Броунівський рух 13,14,15	Електростатика 159, 162, 185
Випаровування 99	Електризація 160
Внутрішня енергія тіла 58	Електрофорна машина 163
Вольтметр 222	Електроскоп 166
Галілео Галілей 25	Ернест Резерфорд 170
Гальванометр 204	Електрон 170
Газовий розряд 272, 276	Електричне поле 182
Георг Ріхман 179	Електрична схема 210
	Електричне коло 210
	Електропровідність 225

-
- Електронагрівальні прилади 264
Електроліз 266, 268
Енергія 187
- Заряд 162, 167, 172, 178, 184, 192
Закон збереження електричного заряду 174
Закон Кулона 191
Закон Джоуля – Ленца 262
Закон Фарадея
Запобіжники 281
- Іскровий розряд 276
- Йенс Верцеліус 45
Йонізація 275
- Калориметр 84
Кипіння 101, 102
Кількість теплоти 75, 77
Коефіцієнт корисної дії 130
Конвекція 64, 69, 70
Конденсація 100
Компресор 143
Коронний розряд 277
Коротке замикання 281
Крутильні терези 191
Кристалізація 93
- Ленц Еміль Християнович 263
- Майкл Фарадей 183, 268
Магнітна дія 203
- Нанотехнології 47
Напівпровідники 177, 206
Напруга 221, 236
- Опір 225, 228, 237, 242
Отто фон Геріке 163
- Пароутворення 98
Парова машина 128
- Питома теплота 94, 106, 120
Питома теплоємність 77
Плавлення 93
Плазма 29, 33
Полімери 45
Потужність 258
Провідник 177, 266
- Реостат 232
Рекомбінація 267, 273
Реперні точки 20
Роберт Броун 13
Робота 61, 221, 257
Рідкі крстали 43
- Сила струму 216, 224, 236, 242
Струм 204
- Турбіна 141
Температура 9, 22
Теплові явища 7
Теплові машини 8
Теплова рівновага 10
Теплообмін 10, 11, 60, 72
Теплове розширення 36, 40
Теплопровідність 63
Теплове випромінювання 65, 67, 72
Теплоємність 75, 76
Тепловий баланс 82, 83
Тепловий двигун 125, 126
Температурний коефіцієнт опору 234
Тліючий розряд 276
Тяга 121
- Уільям Гільберт 160
- Фотоелемент 213
Фулерени 49
- Шкала Цельсія 20
- Шарль Кулон 190

Навчальне видання

**Шут Микола Іванович
Мартинюк Михайло Тадейович
Благодаренко Людмила Юріївна**

ФІЗИКА

Підручник для 8 класу загальноосвітніх навчальних закладів

Увага! © Авторські та видавничі права ВТФ «Перун» захищено Законом України
«Про авторське право і суміжні права».

Відповідальна за випуск *Тетяна Боброва*
Комп'ютерна верстка та дизайн *Юрій Боровика*
Комп'ютерний дизайн малюнків *Тимофія Бусела*

Підп. до друку 17.09.2015. Формат 70x84/16. Гарнітура «School Book». Папір офсетний.
Друк офсетний. Ум. друк. арк. . Ум. Фарбовідб . Обл.-вид. Арк. .
Зам. № Тираж прим.

Видавничо-торгова фірма «Перун». 08200, Київська обл., Ірпінь, вул. Київська, 73-а.
Свідоцтво про внесення до державного реєстру: серія ДК № 2650 від 12.10.2006 р.

Віддруковано в друкарні

Видруковано в Україні. Printed in Ukraine.