

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

ФІЗИКА 8



УДК 53(075.3)
ББК 22.3я721
Ш97

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
(Наказ від 10.05.2016 р. № 491)

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

Гайналій Л. І., методист Закарпатського інституту післядипломної педагогічної освіти, кабінет методики викладання природничо-математичних дисциплін.

Каплун С. В., Комунальний вищий навчальний заклад «Харківська академія неперервної освіти», завідувач кафедри методики природничо-математичної освіти, кандидат педагогічних наук, доцент

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

Ш97 **Фізика** : підруч. для 8 кл. загальноосвіт. навч. закл. / М. І. Шут, М. Т. Мартинюк, Л. Ю. Благодаренко — К.: м. Ірпінь: ВТФ «Перун», 2016 — 272 с.: іл.

ISBN 978-966-569-307-9

УДК 53(075.3)
ББК 22.3я721

ВИДАНО ЗА РАХУНОК ДЕРЖАВНИХ КОШТІВ. ПРОДАЖ ЗАБОРОНЕНО.

ISBN 978-966-569-307-9

© 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	18
§ 4. Агрегатні стани речовини. Фізичні властивості твердих тіл, рідин і газів.....	25
§ 5. Залежність розмірів фізичних тіл від температури	33
§ 6. Рідкі кристали та їх використання. Полімери. Наноматеріали.....	39
Тестові завдання до розділу 1.....	46
Задачі до розділу 1	48
Розділ 2. Внутрішня енергія тіла. Теплові процеси.....	49
§ 7. Внутрішня енергія тіла і способи її змінення.....	50
§ 8. Види теплообміну.....	56
§ 9. Теплообмін в побуті, техніці та у природі.....	61
§ 10. Розрахунок кількості теплоти під час нагрівання або охолодження тіла. Теплоємність	65
§ 11. Тепловий баланс. Рівняння теплового балансу.....	72
Лабораторна робота № 1.....	77
Лабораторна робота № 2.....	79
§ 12. Плавлення тіл. Температура плавлення. Питома теплота плавлення. Розрахунок кількості теплоти під час плавлення або кристалізації тіл.....	82
§ 13. Пароутворення і конденсація.	88
§ 14. Питома теплота пароутворення (конденсації). Розрахунок кількості теплоти під час пароутворення (конденсації).....	96
Тестові завдання до розділу 2	101
Задачі до розділу 2	104

Розділ 3. Теплова енергія. Теплокористування	105
§ 15. Горіння палива. Теплота згорання палива	106
§ 16. Теплові двигуни. Парова машина	114
§ 17. Двигун внутрішнього згорання	121
§ 18. Види двигунів внутрішнього згорання	125
§ 19. Парова турбіна. Газотурбінний тепловий двигун	128
§ 20. Теплові двигуни та їх вплив на забруднення оточуючого середовища	133
Навчальний проект	138
Тестові завдання до розділу 3	140
Задачі до розділу 3	142

Частина II
ЕЛЕКТРИЧНІ ЯВИЩА. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ

Розділ 4. Електричні явища	143
§ 21. Електричні явища. Електризація тіл. Електричний заряд	144
§ 22. Прилади для виявлення електризації тіл. Дискретність електричного заряду	151
§ 23. Будова атома. Механізм електризації тіл. Закон збереження електричного заряду	155
§ 24. Провідники, напівпровідники, діелектрики. Електризація через вплив	161
§ 25. Електричне поле	166
§ 26. Закон Кулона	174
Тестові завдання до розділу 4	179
Задачі до розділу 4	182

Розділ 5. Електричний струм. Закони постійного струму	183
§ 27. Електричний струм. Дії електричного струму	184
§ 28. Електрична провідність матеріалів: провідники, напівпровідники, діелектрики	188
§ 29. Струм у металах	189
§ 30. Електричне коло та його основні елементи	192

§ 31. Джерела електричного струму	194
§ 32. Сила струму. Амперметр.	198
§ 33. Електрична напруга. Вольтметр.....	202
§ 34. Закон Ома для ділянки електричного кола. Електричний опір.....	205
Лабораторна робота № 3.....	208
§ 35. Залежність опору провідника від його довжини, площі перерізу та матеріалу	209
§ 36. Реостати	212
§ 37.* Залежність опору провідника від температури	214
§ 38. Послідовне з'єднання провідників	216
Лабораторна робота № 4.....	220
§ 39. Паралельне з'єднання провідників	221
Лабораторна робота № 5.....	228
Тестові завдання до розділу 5	229
Задачі до розділу 5	231
Розділ 6. Застосування законів постійного електричного струму	232
§ 40. Робота і потужність електричного струму	233
§ 41. Закон Джоуля – Ленца	238
§ 42. Електронагрівальні прилади	240
§ 43. Природа електричного струму в розчинах і розплавах електролітів	242
§ 44. Закон Фарадея для електролізу.....	244
§ 45. Електричний струм у газах Несамостійний газовий розряд.....	247
§ 46. Електричний струм у газах. Самостійний газовий розряд	249
§ 47. Безпека людини під час роботи з електричними приладами і пристроями	256
Навчальний проект	261
Тестові завдання до розділу 6	264
Задачі до розділу 6.....	266
Відповіді до тестових завдань і вправ.....	267
Предметний покажчик	270

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?

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 *теповим*.

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

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.

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

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.

Безперервний хаотичний рух атомів і молекул називають тепловим рухом.

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



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

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» ВВС України.

► **2. Температура – характеристика теплового стану тіла.** З поняттям температури ви знайомі з дитинства і знаєте, що її можна охарактеризувати на дотик як міру нагрітості тіл (холодне, тепле, гаря-

че). 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 нагрітості 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 $36,6^{\circ}\text{C}$ до 37°C). Спробуємо усвідомити: що ж таке температура? З одного боку, як ми вже встановили, це міра нагрітості 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 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



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.

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 теплообміну 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.

Подумайте і дайте відповідь

1. Який рух називається тепловим? Від чого залежить швидкість теплового руху?
2. Назвіть теплові явища, які вам відомі.
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.
3. Як ви розумієте поняття «фізичний стан тіла». Які фізичні величини називають параметрами стану?
4. Поясніть механізм встановлення стану теплової рівноваги у системі тіл. Якою у цьому випадку повинна бути система тіл?

§ 2. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ПІДТВЕРДЖЕННЯ ТЕПЛООВОГО 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.

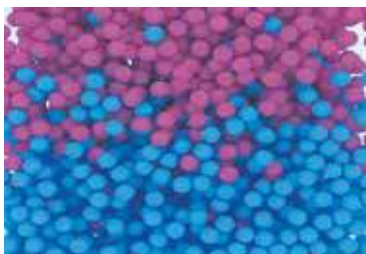


Рис. 3. При змішуванні речовин відбувається їх взаємне проникнення та вирівнювання густин



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.*

Прикладом *дифузії в газах* є 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*.

Найшвидше дифузія відбувається у газах, повільніше – у рідинах, ще повільніше – у твердих тілах. Це зумовлено особливостями теплового руху частинок у цих середовищах. Дійсно, 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 свинцева і золота 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 нагрівати речовини. Так, наприклад, цинк дифундує у мідь при температурі 300 °С 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.

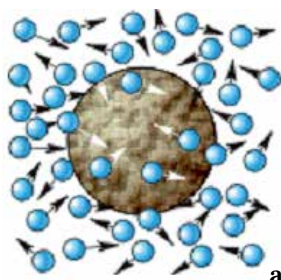
Висловіть свою думку

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 р р.) 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 швидкості руху завислих частинок з підвищен-

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.



а.

Рис. 5. Причиною броунівського руху є неврівноважені поштовхи, яких зазнають завислі частинки з боку молекул рідини (або газу).

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).

Швидкість броунівського руху не залежить від речовини завислих частинок, а залежить лише від їх геометричних розмірів та форми

ням 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.

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 руху завислих частинок можна також спостерігати в освітленій збоку області запиленого повітря або диму. У цьому випадку роль броунівських частинок відіграють окремі пилінки 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 завислу частинку не врівноважуються (рис. 5). 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 завжди 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. 6). 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*.

► **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.

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 замінника цього об'єкта, який у певній мірі відтворює особливості досліджуваного об'єкта.

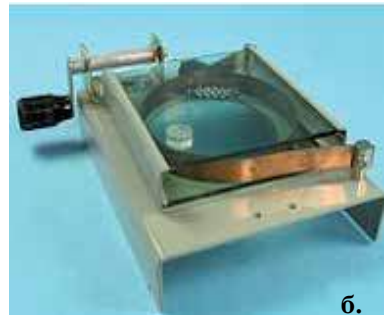


Рис. 6. Механічна модель броунівського руху

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.

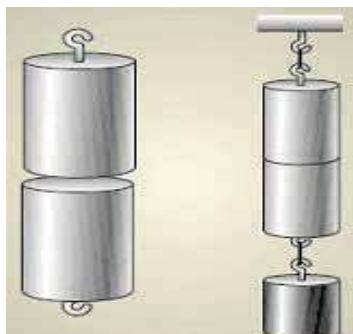


Рис. 7. Свинцеві циліндри після притирання їх відшліфованими поверхнями витримують вагу гирі

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). Це підтверджує дослід із свинцевими циліндрами, які після притиснення їх відполірованими свіжими зрізами витримують значний розтяг (рис. 7). 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 помітніше проявляється притягання. 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. А при деформації розтягу відстані між молекулами збільшуються і починають переважати сили притягання.

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 карбоном (цементування), азотом (азотування), алюмінієм (алітування). Чому процес насичення відбувається при високих температурах?
2. На рисунку 8 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 скористайтеся 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.

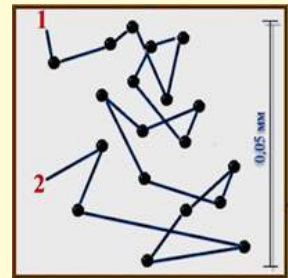


Рис. 8.
Схематичне подання руху броунівської частинки

§ 3. ТЕРМОМЕТРИ. ШКАЛА ЦЕЛЬСІЯ. АБСОЛЮТНА ШКАЛА ТЕМПЕРАТУР

*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. Основною для вимірювання температури може бути зміна будь-якої з цих властивостей, якщо для неї відома залежність від температури.

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

► 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 склалося 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 (водень, гелій, азот).

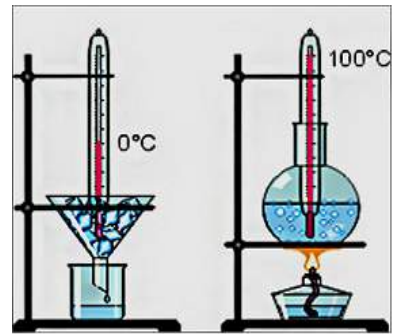
Процес вимірювання температури полягає в тому, що термометричне тіло вміщують у спеціальну посудину і приводять у дотик з тілом, температуру якого потрібно виміряти. З часом настає стан теплової рівноваги і температура термометричного тіла зрівнюється з температурою досліджуваного тіла (або середовища). **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 контактi з тілом 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 9, а, б. Точці шкали, у якій встановлюється верхній рівень стовпчика рідини, коли резервуар термометра розміщено у посудині з льодом, що тоне, 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.

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



а) б)
 Рис. 9. Принцип побудови шкали Цельсія



Андерс Цельсій
 (1701-1744 рр.)

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

Температурна шкала Цельсія має певні недоліки. По-перше, температури танення льоду та кипіння води залежать від атмосферного тиску, а, отже, можуть не відповідати значенням 0 °С та 100 °С. По-друге, розширення термометричного тіла при зміні температури може відбуватися нерівномірно, що особливо суттєво вплине на точність вимірювань на значному температурному інтервалі.

Теоретично розраховано, що температура -273,16 °С є найнижчою з можливих температур. Зрозуміло, що температура танення льоду за абсолютною шкалою дорівнює 273,16 °С, а температура кипіння води 373,16 °С.

ри – градус Цельсія (1 °С). Літера «С» є першою літерою прізвища Цельсія, який запропонував саме такий спосіб побудови шкали.

Таким чином, шкала Цельсія є стоградусною, з опорними (реперними) точками 0 °С та 100 °С. Нижче від точки 0 °С і вище від точки 100 °С 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. 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 нуль градусів за цією шкалою прийнята температура -273,16 °С, яка називається *абсолютним нулем* і позначається 0К (це і є реперна точка шкали Кельвіна). Одиницею температури за абсолютною шкалою є *кельвін* (1К). Один кельвін дорівнює одному градусу Цельсія: $1\text{К} = 1^{\circ}\text{С}$.

Зв’язок між температурою за шкалою Кельвіна та шкалою Цельсія виражається формулою:

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

► **4. 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.

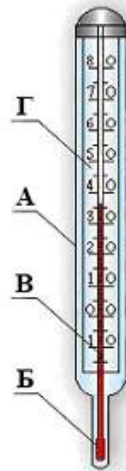
На рисунку 10 зображено зовнішній вигляд (а) та будову (б) рідинного термометра. Він складається з корпусу А, до якого приєднано невеликий скляний резервуар В, сполучений з трубкою В вузьким внутрішнім каналом. Резервуар В та частину трубки В наповнюють деякою рідиною (спиртом, ртуттю та ін.). Температуру 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*.



а)



б)

Рис. 10. Зовнішній вигляд (а) та будова (б) 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 робочий 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. 11, 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. 11, б).



а) Рис. 11. Цифрові термометри:

а) термометр для вимірювання температури повітря у приміщенні;

б) медичний термометр для вимірювання температури тіла людини.



б)

Розширте науковий кругозір**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 .

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. 12 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. 12.
Біметалічний вуличний термометр

2. На рис. 13, 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. 14 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.



Рис. 13.
Фасадний термометр



Рис. 14
Побутовий вуличний термометр

3. Що можна сказати про швидкість теплового руху молекул повітря в кабінеті фізики, якщо покази кімнатного термометра зменшилися? збільшилися?

§ 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 в 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

*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. 15. Оксид Гідрогену може одночасно перебувати в твердому, рідкому та газоподібному станах

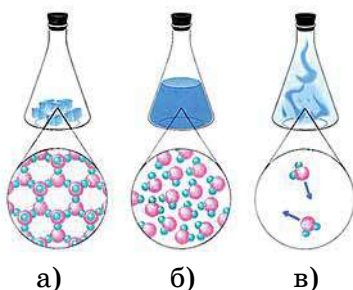


Рис. 16. Відмінності у розміщенні молекул оксиду Гідрогену в різних агрегатних станах

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

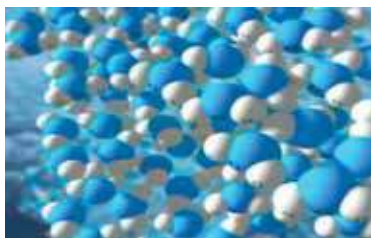


Рис. 17. Молекули рідин щільно прилягають одна до одної, але не мають стабільних положень

вигляді води та газоподібному – у вигляді пари (рис. 15).

Відмінність цих станів зумовлена лише розміщенням, взаємодією і рухом молекул речовини (рис. 16).

Так, лід (*твердий стан*) зберігає свої об'єм і форму. Це пояснюється тим, що 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. 16, 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. 16, б). Рух молекул рідини обмежений, але впорядкованих положень вони не мають (рис. 17). Молекули стрибками переходять на вільні місця, при цьому вони 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 набирає 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. 18). 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. 16, в). На таких відстанях молекули дуже слабо взаємодіють між собою. Вони постійно знаходяться в русі, а тому водяна пара, як і 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. 19).

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.

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

Ще один агрегатний стан речовини – *плазма* (рис. 20). Це газ, який складається з позитивних і негативних йонів. Такий стан речовини використовують, зокрема, у плазмових телевизорах.



Рис. 18. За звичайних умов лише маленькі краплі води мають свою форму – форму кульки

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)

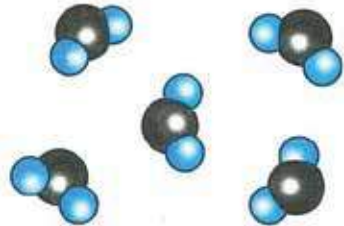


Рис. 19. У газах міжмолекулярні сили не можуть утримати молекули одну біля одної, а тому вони розлітаються у всіх напрямках

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



Рис. 20. У Всесвіті плазма – це найбільш поширений стан речовини

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

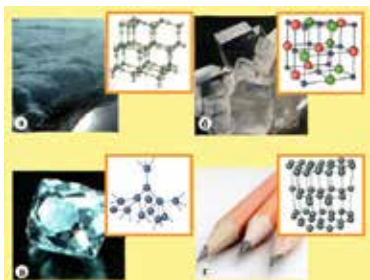


Рис. 21. Кристалічні ґратки окремих тіл: льоду (а), кухонної солі (б), алмазу (в), графіту(г)

► 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. 21).

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 комірочки, 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 розрізняти атоми різних речовин, з яких утворений даний кристал, їх зображають різними кольорами (рис. 21).

Кристали мають правильну форму. Наприклад, якщо розглядати кухонну сіль через лупу, то можна побачити, що кристали солі мають форму куба (рис. 21, б). А форма сніжинки свідчить про геометричну правильність будови кристалічного тіла – льоду (рис. 23).

Фізичні властивості речовин залежать від будови їх кристалічних ґраток. Напри-

клад, за хімічним складом і алмаз, і графіт є простими речовинами, що складаються з атомів Карбону. Але їх кристалічні ґратки суттєво різні (рис. 24, рис. 25 відповідно), отже, різні й властивості.

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).

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 перетворюються на рідини. Кристалічні – за *нев-*

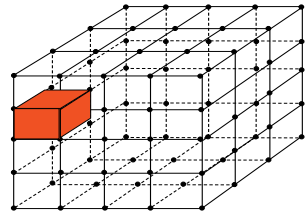


Рис. 22. Основа кристалічної ґратки — елементарна комірка



Рис. 23. Сніжинка – це кристалічне тіло, яке утворює в просторі кристалічну ґратку

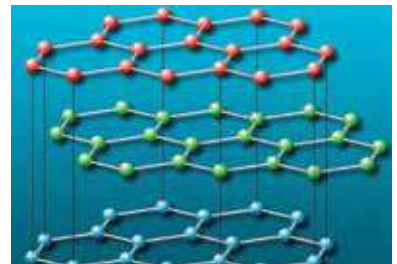


Рис. 24. Кристалічна ґратка графіту

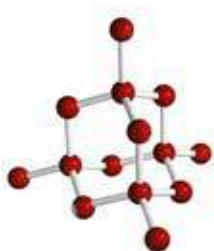


Рис. 25. Кристалічна ґратка алмазу

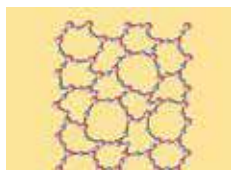
Відмінності у властивостях твердих тіл пояснюються різною будовою їх кристалічних ґраток.

ної 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 теплоту або проводити електричний струм. Із такими їх особливостями ви ознайомитеся при подальшому вивченні фізики.



а)



а)



б)



б)



в)



г)

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

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

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

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 у печерах (температура у них досягає 65°C).



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

Фізичні дослідження в Україні**Вирощування штучних кристалів**

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). 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.



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

Від теорії до практики**Що таке сапфірове скло?**

Це не скло, а кристалічне тіло. Воно виготовляється із сапфірів, одержаних



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

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).

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. Визначте за наведеним описом, про який агрегатний стан речовини йдеться:
 - а) речовина рухлива, не має певних об'єму і форми;
 - б) речовина легко змінює форму, але погано стискається;
 - в) речовина має власний об'єм і форму, а також важко стискається.
2. 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, внаслідок утворення в ньому кристалів. Користуючись цими фактами, які вам відомі з особистого досвіду, обґрунтуйте, який стан твердого тіла є стійкішим: кристалічний чи аморфний?
3. 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

► 1. Теплове розширення – важлива 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°C гази збільшують свій об'єм на $\frac{1}{273}$ об'єму, який вони мають при 0°C . Залізо при нагріванні на 1°C лінійно розширюється на 0,012 мм на кожний метр довжини (рис. 31).

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.

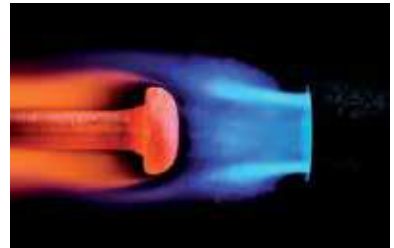


Рис. 31. Залізний цвях довжиною 10 см при нагріванні на 1°C збільшує свою довжину на 0,0012 мм.

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 °С.

У твердих тіл об'ємне теплове розширення є незначним, тому об'єм при 0 °С дуже мало відрізняється від об'єму при більш високих температурах. Навпаки, у рідин і газів збільшення об'єму внаслідок теплового розширення є суттєвим.

Коефіцієнт об'ємного розширення β залежить від природи речовини.

► 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 °С його об'єм збільшиться на ΔV – 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).

► 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,

Лінійне теплове розширення є незначним для більшості твердих тіл і пропорційне до температури тіла.

Зв'язок коефіцієнтів лінійного і об'ємного розширення

$$b \gg 3a$$

Значення коефіцієнтів розширення різних тіл визначаються експериментально і наводяться в таблицях.



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

Гази розширюються під час нагрівання значно більше, ніж рідини і тверді тіла. І це зрозуміло. Молекули газу дуже слабо 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 взаємопов'язані.

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.

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-

вого лінійного розширення до них незастосовне.

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

ПОГЛИБТЕ СВОЇ ЗНАННЯ

Аномалія води

Найпоширеніша на Землі рідина – вода, має особливу властивість у своєму тепловому розширенні. Ця особливість дістала назву *аномалії* (відхилення від норми) *теплового розширення води*. На відміну від інших рідин, при нагріванні води від 0 до 4 $^{\circ}\text{C}$ її об'єм не збільшується, а зменшується, і лише з 4 $^{\circ}\text{C}$ починає зростати. Отже, при температурі 4 $^{\circ}\text{C}$ вода має мінімальний об'єм, тому її густина при цьому найбільша. Ця властивість води має важливе значення для клімату на Землі та життя, 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) охолоджувалася б до температури 0 $^{\circ}\text{C}$ 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.

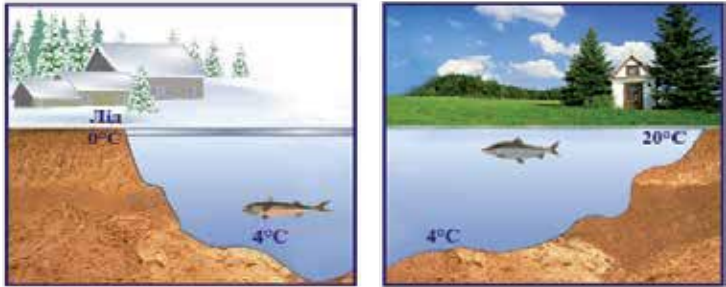


Рис. 34.

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

Подумайте і дайте відповідь

1. Чи зміниться кут φ при нагріванні металевого диска ? (рис. 35).
2. За якою формулою обчислюється об'єм тіла при тепловому розширенні? Що називають коефіцієнтом об'ємного розширення?
3. Як пояснити той факт, що гази під час нагрівання розширюються більше, ніж тверді тіла і рідини?
4. Назвіть приклади теплового розширення тіл та його практичного застосування.
- 5*. У чому полягають особливості теплового розширення води?
- 6*. Чим відрізняється коефіцієнт об'ємного розширення від коефіцієнта лінійного розширення?

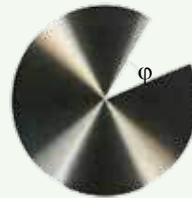


Рис 35.
Металевий диск з вирізаним сектором

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, $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, 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 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, якщо при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ газ займав об'єм 50 м^3 ?

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

► 1. Унікальні властивості рідких кристалів.

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 — така властивість притаманна рідким кристалам.

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 молекули у рідкому кристалі можуть рухатися лише вздовж своєї осі, повертатися на певний кут, але при цьому не можуть змінити напрям свого розташування (на відміну від молекул рідини, які можуть рухатися у всіх напрямках). Така внутрішня будова рідких кристалів визначає їх властивості і застосування. Відомо декілька сотень рідких кристалів.

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

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 заліз-

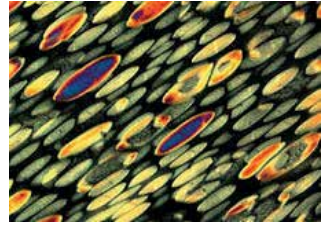


Рис. 36. Молекули рідких кристалів мають витягнуту паличкоподібну форму і розташовуються у певному порядку

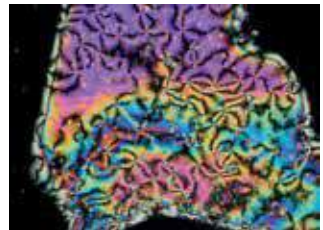
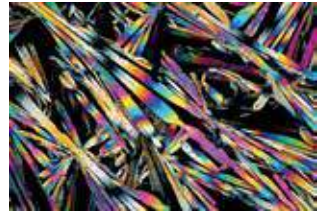


Рис. 37. Фотографії рідких кристалів, одержані при їх спостереженні за допомогою мікроскопу

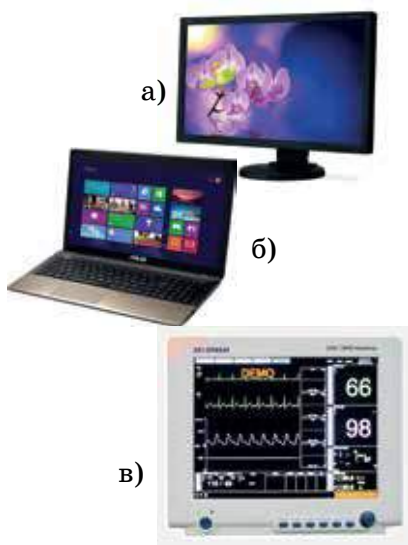


Рис. 38. Пристрої на рідких кристалах використовуються у системах відображення інформації та вимірювальних приладах:

- а) телевизор з рідкокристалічним екраном;
- б) ноутбук з рідкокристалічним монітором;
- в) рідкокристалічний індикатор для інтенсивної терапії (в медицині)

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

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

ничних вокзалах та в аеропортах, рекламні білборди зі зміною зображення – теж побудовані на рідких кристалах. Сьогодні більшість телевизорів мають рідкокристалічні екрани. Ефективно використовуються рідкі кристали у медицині. Вони дуже чутливі до змін температури (десяті долі градуса) і при цьому змінюють своє забарвлення. А при запальних процесах температура шкіри людини на певних ділянках тіла підвищується. 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.

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

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. 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). 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). 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, поліпропілен, фторопласт та інші.

Сучасне машинобудування, авіація, космічна техніка, автомобілебудування, електро- і радіотехніка немислимі без полімерних матеріалів. Полімери використовуються також в медицині, текстильному виробництві, сільському господарстві. Вироби з полімерів відрізняються надійністю та високою якістю (рис. 40). Так, вікна з полівінілхлориду стійкі проти атмосферних впливів, безпечні для людини, забезпечують необхідний повітрообмін та зву-

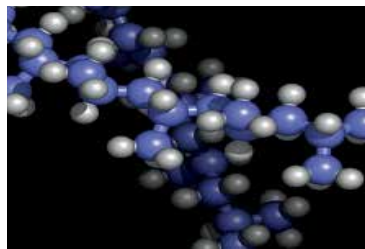


Рис. 39. Модель полімерної макромолекули поліетилену

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

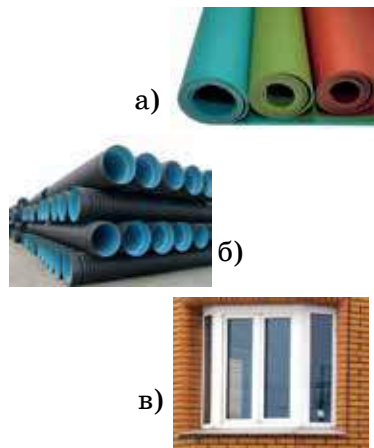


Рис. 40. Вироби з полімерів:

- 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 впорядковувати атоми в новому порядку і одержувати речовини з необхідними та надзвичайними властивостями.

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

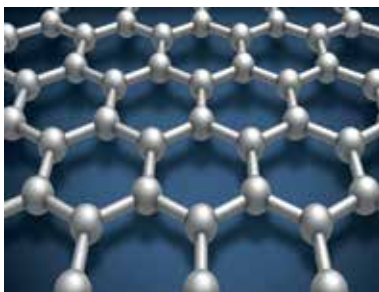


Рис. 41. Структура графену – найтоншої речовини у світі!

коізоляцію. 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 галузь фізики. Наноматеріали

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).

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

Нанотехнології широко використовуються, зокрема, в *матеріалознавстві* для одержання високоміцних матеріалів, в *електроніці* для створення електронно-обчислювальних машин наступного покоління, 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).

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

нанотрубки.

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

У чому ж полягає цінність нанопорошків?

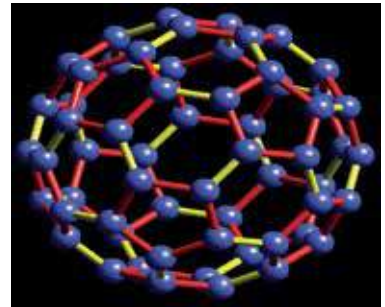
Кераміка, виготовлена на основі нанопорошків має таку міцність, що використовується для створення броні військової техніки! Нанопорошки також дозволяють одержувати тверді сплави, нові міцні матеріали. Нанопорошки використовуються у виробництві сонячних батарей.

Вуглецеві нанотрубки (або фулерени) – це великі молекули, які складаються лише з атомів вуглецю. 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).



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



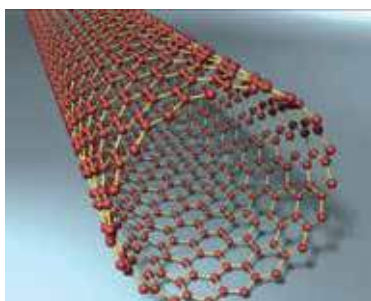
а)



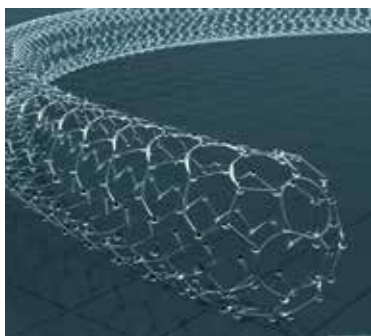
б)

Рис. 43. Фулерени – великі молекули, що складаються з атомів вуглецю:

- а) найбільш симетричний та найбільш досліджений фулерен C₆₀;
б) за формою фулерен C₆₀ нагадує футбольний м'яч.



а)



б)

Рис. 44. Модель вуглецевої нанотрубки:

вуглецева нанотрубка складається з молекул, які містять надзвичайно велике число атомів (близько 10^6).

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

Однією з найбільш перспективних галузей застосування нанотехнологій і наноматеріалів у першій половині ХХІ століття стане космонавтика. Передбачається, що роботи-молекули будуть запущені у навколосемний космічний простір і згодом зроблять придатними для заселення людьми Місяць та найближчі планети.

У нанотехнологіях використовуються найбільш передові наукові результати, а тому їх можна із впевненістю віднести до високих технологій. Основні відкриття, які були передказані у галузі нанотехнологій, ще не зроблені. Кожного року новітні досягнення нанотехнологій представляються на Міжнародному форумі. Україна приділяє великої уваги 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 6.

1. Користуючись рис. 36, 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 45, 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 IBM викладений окремими атомами з використанням нанотехнологій

**ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДО РОЗДІЛУ 1
«ТЕПЛОВИЙ РУХ АТОМІВ І МОЛЕКУЛ. ТЕМПЕРАТУРА»**

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. Яке з перерахованих нижче тіл характеризується просторовою періодичністю в розміщенні рівноважних положень частинок?
А Алмаз.
Б Смола.
В Пластмаса.
Г Скло.

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. Які речовини одночасно мають властивості як рідин, так і твердих тіл?
А Рідкі кристали.
Б Полімери.
В Наноматеріали.
Г Метали.
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.

В Дифузії.

Б Броунівського руху.

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°C . На скільки градусів підвищилась температура за шкалою Кельвіна?

А На 32 К.

В На 20 К.

Б На 12 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. Який метод застосовується для утворення полімерів з новими властивостями?

А Полімерні зразки нагрівають до високої температури.

Б Полімерні зразки охолоджують до низької температури

В До полімерних зразків додають різні хімічні добавки.

Г Змінюють зовнішній тиск на полімерні зразки.

12. При температурі 0°C скляна трубка має довжину 2000 мм. Обчисліть, на скільки збільшиться довжина трубки при 100°C . Коефіцієнт лінійного розширення скла $0,000009$ град $^{-1}$.

А На 2 мм.

В На 4 мм.

Б На 1 мм.

Г На 0,5 мм.

ЗАДАЧІ ДО РОЗДІЛУ 1

1. 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).

2. 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).

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

4. Завантаження нафтового танкера здійснювалося при температурі $30 \text{ }^\circ\text{C}$, 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 $-5 \text{ }^\circ\text{C}$.

(Відповідь: на 54 м^3).

5. 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).

6. Для підвищення міцності сталі її цементують, внаслідок чого одержують твердий загартований шар на поверхні сталевих виробів. Поясніть, на якому фізичному явище 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).

7. 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 сіллю?
- Чому при сильних морозах для одержання гладкої ковзанки її поливають гарячою водою?



§ 7. ВНУТРІШНЯ ЕНЕРГІЯ ТІЛА І СПОСОБИ ЇЇ ЗМІНЕННЯ

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.

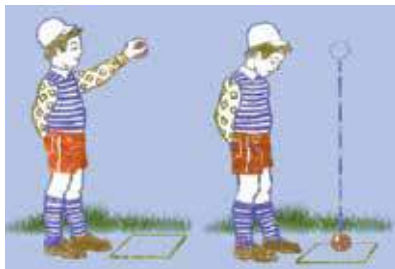


Рис. 46. Зменшення механічної енергії кулі супроводжується зміною теплових станів кулі та плити – вони нагріваються

► 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 свинце-

ву плити одночасно із зміною механічної 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 тепловим станом тіла, 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 $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ має певне значення внутрішньої енергії. При цьому воно буде однакоvim 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 однакоvu 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 досліду, не зникла, а перетворилась на внутрішню

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, іонів);

– 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.



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

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. 46 та 47 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 впливає 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 товстостінна посудина щільно закрита пробкою і з'єднана шлангом з повітряним насосом (рис. 48, а). У посудину до початку досліді 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 вилітять 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 досліді, 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 на 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

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 незмінної температури внутрішньої 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

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.

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.

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, як зміниться внутрішня енергія 1 т води після падіння до підніжжя водоспаду, якщо на цю зміну витрачається 60% роботи сили тяжіння (втрати енергії в навколишньому середовищі не враховувати).
2. Тіло масою 5 кг падає з висоти 3 м. На скільки і як зміниться внутрішня енергія тіла (втрати енергії в навколишньому середовищі не враховувати).
3. На рисунку 47, а проілюстровано забивання цвяха у дерев'яну дошку. Які перетворення енергії при цьому відбуваються? Поясніть їх механізм.
4. Поясніть, як зміниться внутрішня енергія нагрітого тіла при зануренні його у холодну воду: а) збільшиться;. б) зменшиться; в) спочатку збільшиться, а з часом зменшиться.
5. Наведіть і опишіть власні приклади перетворення внутрішньої енергії тіла на механічну енергію. Як при цьому змінюється температура тіла?

§ 8. ВИДИ ТЕПЛООБМІНУ

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



а)



б)

Рис. 49. Спостереження теплопровідності на дослідах з металевими дротинами: а) при нагріванні дротини поступово підвищується температура кожної наступної її частини; б) мідна дротина має більшу теплопровідність, ніж сталеві, що пояснюється відмінностями у їх будові та відстанях між частинками

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

Як саме передається енергія дротиною? При нагріванні дротини 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 дротини, а, отже, внутрішня енергія.

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

Теплопровідність рідин характеризу-

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-

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 теплий потік повітря від нагрітої лампи розжарення обертається паперова стрічка

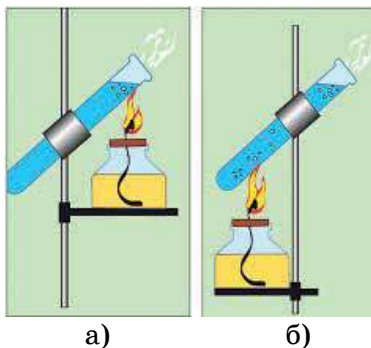


Рис. 51. З урахування малої теплопровідності рідин і газів, їх нагрівають знизу для прискорення конвекції

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.

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.

З тепловим випромінюванням ми зустрічаємось повсякденно – сидячи 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.*

Дослідним шляхом встановлено: *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.

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

Тіло, яке поглинає більше енергії, випромінює теж більше.

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.

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.

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?
5. Який одяг краще одягати влітку – світлий чи темний? З чим це пов'язане?
6. Чому сніг захищає рослини у ґрунті від вимерзання?

Розв'яжіть задачі та оцініть результати

Вправа 8.

1. Користуючись рис. 52, 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. Для чого водопровідні труби заривають в землю на значну глибину?
4. Чому для захисту від морозів використовується хутрянний одяг?
- 5*. Поясніть, чи виконується робота і чи здійснюється теплообмін під час виходу у космічному просторі?

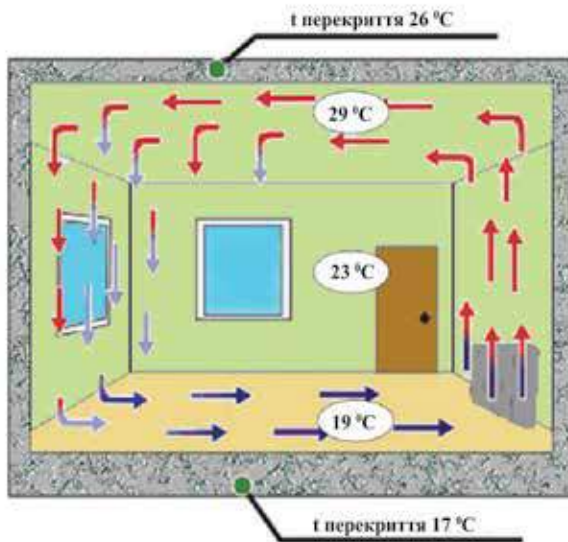


Рис. 52.

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. 53 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.

У § 8 ми розглянули так звану *природну конвекцію*. Якщо ж нерівномірно нагріту рідину (або газ) механічно перемішувати насосом (вентилятором), то відбуватиметься *вимушена конвекція*. На рис. 54, 55 показано приклади використання вимушеної конвекції.

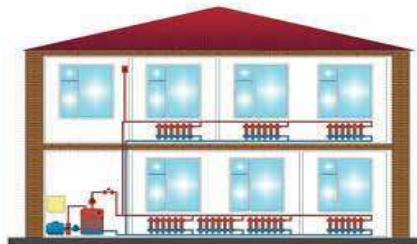


Рис. 53. Схема водяного опалення будинку

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



Рис. 54. Обігрівання помещанья побутовим електротепло ventilлятором



Рис. 55. Охолодження повітря за допомогою кондиціонера



а)



б)

Рис. 56. Використання теплового випромінювання в побуті та медицині: а) обігрівач «UFO»; б) високоекоекологічний радіатор-конвектор «Ера-Нова», створений українськими інженерами (м. Київ);

У побуті теплове випромінювання широко використовують з метою підвищення якості умов життєзабезпечення людини (рис. 56, а, б). У медицині теплове випромінювання застосовується в лікувальних цілях (рис. 57).

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.

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. 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 1–2 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 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.

В Україні одна з найбільших сонячних електростанцій «Іванівка» (рис. 58) 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.



Рис. 57. Апарат теплового випромінювання для інтенсивної терапії.

Явища, пов'язані з конвекційними потоками в атмосфері чинять значний вплив на життя людей, зокрема, призводять до змін у погоді. Вітровий режим слід враховувати при польоті літаків, і, оскільки під дією вітру літак може загубити орієнтацію у просторі або потрапити у повітряний круговорот.

Сьогодні сонячна енергія є альтернативним джерелом енергії. В Україні освоєння цього виду енергії йде швидкими темпами, у різних областях будується багато сонячних електростанцій



Рис. 58. Сонячна електростанція «Іванівка» (Україна)

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, як у термосі здійснюється захист від втрат теплоти внаслідок трьох видів теплообміну: теплопровідності, конвекції, променевого теплообміну.
2. Чому кондиціонери у приміщеннях розміщують біля стелі? Поясніть механізм дії кондиціонера.
3. Чому у холодному приміщенні у нас, насамперед, замерзають ноги?
4. 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, 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 та 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.

Якщо тілу передається енергія у вигляді теплоти, то збільшується енергія хаотичного теплового руху частинок, що призводить до збільшення лише внутрішньої енергії тіла.

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.

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.

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.

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:

$$C \sim m.$$

При дослідженні теплових властивостей речовини зручно розглядати теплоємність *одиниці 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 малою 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 °С та нормальному атмосферному тиску).

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 °С потрібна енергія 140 Дж, а при охолодженні 1 кг свинцю на 1 °С виділяється 140 Дж енергії.

Питома теплоємність деяких речовин $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$

Таблиця 1

Золото	130
Ртуть	125
Свинець	120
Срібло	250
Мідь	380
Цинк	400
Латунь	380
Залізо	460
Сталь	460
Пісок	970
Повітря	1000

Графіт	750
Скло лабораторне	840
Цегла	880
Алюміній	920
Олія	1700
Лід	2100
Гас	2140
Дерево (дуб)	2400
Вода	4200
Спирт	2500

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.

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

► 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 . Узагальнюючи ці залежності, можна записати:

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

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

– для обчислення питомої теплоємності речовини

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

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

► 5. Застосування формули для обчислення кількості теплоти.

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:

$$m_1 = 0,8 \text{ кг}$$

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

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

$$m_2 = 0,4 \text{ кг}$$

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

$$t = 50 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$Q_1 - ?$$

$$Q_2 - ?$$

Розв'язання

Кількість теплоти при охолодженні та нагріванні тіла визначають за формулою

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta t, \text{ де}$$

m – маса тіла;

c – питома теплоємність тіла (в даному при-

кладі це вода, тому згідно з табличними дани-

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

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:

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

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

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.

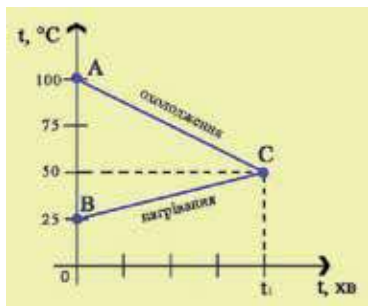


Рис. 59. Графіки теплових процесів нагрівання і охолодження води

► **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. 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 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ і моментом початку відліку часу t_0 . На горизонтальній осі абсцис відкладатимемо покази годинника (секундоміра), а на вертикальній осі ординат – покази термометра. Тоді тепловий процес охолодження окропу на графіку зобразатиметься прямою лінією АС, а тепловий процес нагрівання води – прямою лінією ВС, розміщеними під деяким кутом до осі абсцис. Точка С відповідає часу t_1 – встановленню стану теплової рівноваги суміші при температурі $50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

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 240 Дж енергії. Визначте, з якого металу виготовлено деталь.

§ 11. ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС. РІВНЯННЯ ТЕПЛООВОГО 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.

► 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 темпе-

Рівняння теплового балансу є проявом закону збереження енергії, сформульованого з урахуванням особливої форми передачі енергії у вигляді теплообміну.

Закон збереження є фундаментальним законом фізики. Він встановлений у результаті ґрунтовних експериментальних і теоретичних досліджень у галузі фізики і хімії.

ратура суміші в стані теплової рівноваги, який встановиться після змішування 200 г окропу при 100 °С і 100 г води при температурі 18 °С.

Дано:

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

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

$$t_1 = 100 \text{ °С}$$

$$t_2 = 18 \text{ °С}$$

$t - ?$

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:

Отже:

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

Розв'язуємо отриману рівність відносно шуканої величини:

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

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

звідки

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

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

Перевіримо правильність одиниці шуканої величини:

$$[t] = \frac{\text{кг} \cdot \text{°С} + \text{кг} \cdot \text{°С}}{\text{кг}} = \frac{\text{кг} \cdot \text{°С}}{\text{кг}} = \text{°С}.$$

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

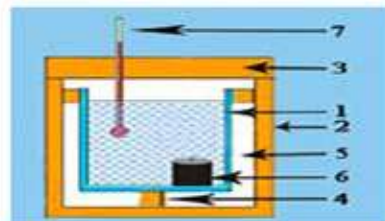
Відповідь: температура суміші дорівнює 72,7 °С.

► **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).

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 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 досліді буде достовірним. Проте

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



а)



б)



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

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.

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. У 0,3 кг води, взятої при температурі 10°C , опускають шматок заліза масою 0,2 кг, нагрітий до 100°C . Визначте остаточну температуру води. Теплою, що витрачається на нагрівання посудини, знехтувати.
3. Визначте температуру води, яка встановилась після змішування 39 л води при 20°C і 21 л води при 60°C . Тепловими втратами на нагрівання посудини знехтувати.
4. Сталеву деталь, нагріту до 500°C , опустили в посудину, яка містить 18,6 л води при 13°C . Визначте масу деталі, якщо вода нагрілася до 35°C . Тепловими втратами на нагрівання посудини знехтувати.

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

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

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

14. 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 *с* 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 температурі холодної води, яка знаходиться в калориметрі);

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

Тоді

$$Q = Q_1 + Q_2 \quad \text{або}$$

$$cm(t - t_0) = c_1m_1(t - t_1) + c_2m_2(t - t_1)$$

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).

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

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

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

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

11. Результати вимірювань і обчислень запишіть у таблицю 3.

Результати вимірювань і обчислень (до лабораторної роботи № 2)
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 , Дж/(кг $^\circ\text{C}$)

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. Так, завдяки цим процесам у металургії отримують метали та їх сплави.

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.

► **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. (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.

► **2. Плавлення і кристалізація.** Вам відомо, що тверді тіла зберігають свої 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 частинками, послаблення міжмолекулярних зв'язків, і, як кінцевий результат – руйнування кристалічної ґратки. Тіло стає рідким, тобто відбувається процес плавлення.

Плавлення – це процес переходу твердого 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 під час танення льоду стає 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.

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 перехід 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

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 тоне при одній і тій самій температурі (0 °C). Досліди показують, що й інші речовини також плавляться й кристалізуються 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.

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 $1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$; $[\lambda] = \left[\frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \right]$

Для визначення кількості теплоти Q , необхідної для претворення речовини з твердого стану на рідкий 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 кристалізації речовини.

**Температура плавлення і питома тепло-
та плавлення деяких речовин (за нормаль-
ного атмосферного тиску)**

Таблиця 4

Назва речовини	$t_{пл}$	$\lambda, \frac{Дж}{кг}$
	$^{\circ}C$	
Водень	-259	$0,59 \cdot 10^5$
Кисень	-219	$0,14 \cdot 10^5$
Спирт	-114	$1,1 \cdot 10^5$
Ртуть	-39	$0,12 \cdot 10^5$
Лід	0	$3,4 \cdot 10^5$
Олово	232	$0,59 \cdot 10^5$
Свинець	327	$0,25 \cdot 10^5$
Цинк	420	$1,12 \cdot 10^5$
Золото	1064	$0,67 \cdot 10^5$
Мідь	1085	$2,1 \cdot 10^5$
Сталь	1500	$0,84 \cdot 10^5$
Залізо	1539	$2,7 \cdot 10^5$
Платина	1772	$1,18 \cdot 10^5$
Вольфрам	3387	$0,25 \cdot 10^5$

► **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.

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.

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

Розглянемо його окремі ділянки:

АВ – нагрівання льоду від температури $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до температури плавлення $0\text{ }^{\circ}\text{C}$; **BC** – плавлення льоду при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$; **CD** – нагрівання води від $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $40\text{ }^{\circ}\text{C}$; **DE** – охолодження води від $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $0\text{ }^{\circ}\text{C}$; **EF** – кристалізація води при $0\text{ }^{\circ}\text{C}$; **FK** – охолодження льоду від $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$.

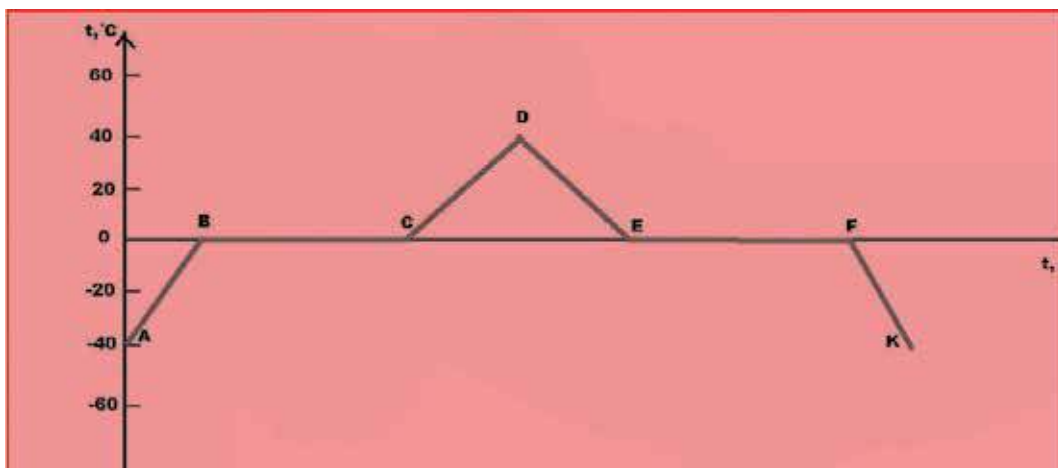


Рис. 62, а. Графік зміни агрегатного стану оксиду Гідрогену (лід – вода – лід)

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 теплою 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. Яку кількість теплоти слід витратити, щоб розплавити 100 г льоду при 0°C ?
2. Яку кількість теплоти слід витратити, щоб розплавити 3 кг заліза, взятого при температурі плавлення?
- 3*. Лід масою 5 кг знаходиться при температурі -20°C . Визначте кількість теплоти, яка необхідна для перетворення льоду на рідину.
4. 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?

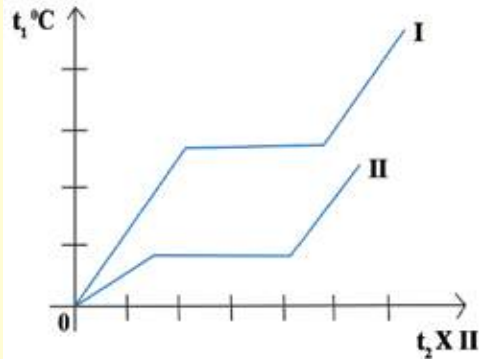


Рис. 62, б.

Графіки процесів нагрівання і плавлення до задачі 4

- Які ділянки графіків відповідають процесам плавлення тіл?
- 5.* Відомо, що водойми взимку не промерзають до дна, що рятує від загибелі риб. Дайте пояснення цьому факту.
 6. Поясніть, чому під час снігопаду теплішає.

§ 13. ПАРОУТВОРЕННЯ 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.

Розрізняють два види пароутворення – випаровування і кипіння.

► 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, нашатиру. 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 прийдеться 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.

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

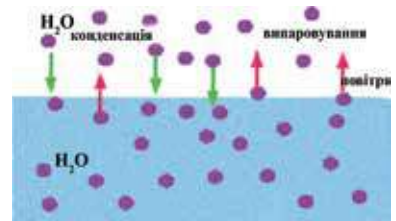


Рис. 63, а. Під час випаровування з поверхні рідини вилітають молекули з найбільшою енергією; у процесі конденсації молекули, які загубили свою енергію, повертаються в рідину

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

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 рослин і тварин.

Швидкість випаровування залежить від температури: чим вища температура рідини, 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.

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

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 паром 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 аерозолі, 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 паром. 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 відбувається, 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



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.

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 .



(а)



(б)

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

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.

Температура кипіння рідини залежить від атмосферного тиску: із зростанням тиску температура кипіння збільшується, а із зниженням – зменшується.

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

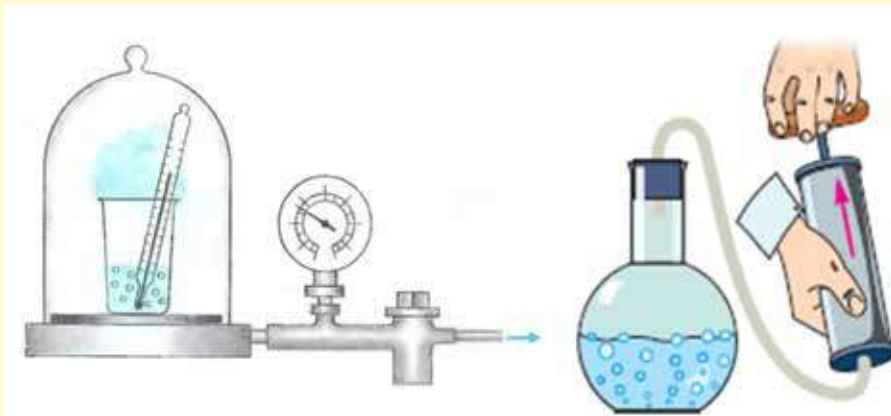
1. Які взаємні перетворення рідин і газів ви знаєте. Що називають пароутворенням?
2. Який процес називають випаровуванням? Який механізм випаровування? Від чого залежить швидкість випаровування?
3. Чи можуть випаровуватись тверді тіла? Що таке сублимація? десублимація?
4. Що таке конденсація? Як визначити 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. Каструля-скороварка – це герметично закрита посудина, з якої пара може виходити лише через запобіжний клапан. Чому в такій каструлі їжа готується 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.



д)

е)

Рис. 65. Кипіння при зниженому тиску

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

Досліди показують, що чим вища температура рідини, тим менше енергії потрібно витратити на процес випаровування. 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. При температурі кипіння кількість теплоти, необхідна для перетворення речовини з рідкого стану в газоподібний, є найменшою.

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

► 1. **Питома теплота пароутворення.** Експериментально встановлено, що після початку кипіння рідини її температура перестає 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 .

Різним речовинам для пароутворення потрібна різна кількість теплоти, оскільки різними є міжмолекулярні сили, які необхідно подолати 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 ній у величезних масштабах.

► **2. Формула для обчислення питомої теплоти пароутворення.**

З таблиці 5 видно, що для випаровування 1 кг води ($t_k = 100$ °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 $1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$*

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

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

На рис. 66 зображено графік теплового процесу нагрівання і кипіння води. Роз-

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.

глянемо його окремі ділянки:

АВ – нагрівання води від $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ (температура кипіння води за нормального атмосферного 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	$t_k, ^{\circ}\text{C}$	$r, \text{кДж/кг}$	Назва речовини	$t_k, ^{\circ}\text{C}$	$r, \text{кДж/кг}$
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

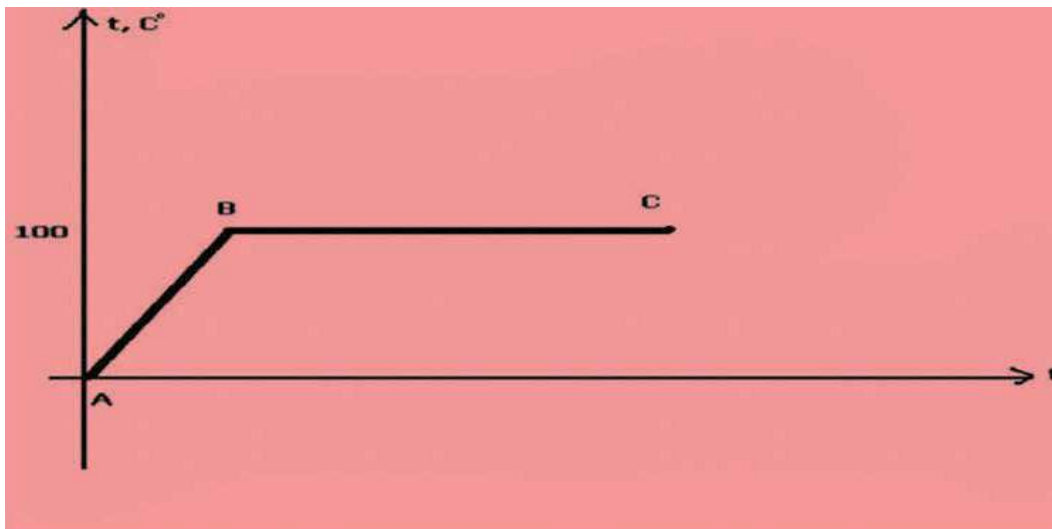


Рис. 66. Графік процесу нагрівання і кипіння води

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, отримуємо 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*.

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 тепловою конденсацією?
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, взятого при температурі 20 °С. Питома теплоємність спирту $2500 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$.
4. Обчисліть, скільки теплоти виділиться при конденсації 200 г водяної пари з температурою 100 °С та при охолодженні одержаної води до 20 °С.
5. У посудину, яка містить 400 г води при температурі 17 °С, впускають 10 г пари при температурі 100 °С, яка перетворюється на воду. Визначте кінцеву температуру води. Теплоємністю посудини та втратами тепла можна знехтувати.

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДО РОЗДІЛУ 2
«ВНУТРІШНЯ ЕНЕРГІЯ ТІЛА. ТЕПЛОВІ ПРОЦЕСИ»

Початковий рівень

1. Внаслідок чого здійснюється передача енергії від Сонця до Землі?
А Теплопровідності. В Конвекції.
Б Випромінювання. Г Виконання роботи.
2. Від чого залежить внутрішня енергія тіла?
А Від швидкості механічного руху тіла.
Б Від положення тіла відносно інших тіл.
В Від маси і густини тіла.
Г Від руху і взаємодії атомів і молекул.
3. Яка одиниця вимірювання внутрішньої енергії тіла?
А Па. В Н.
Б Дж. Г Вт.

Середній рівень

4. Ви наливаєте чай у склянку з цукром і у склянку без цукру. У якій склянці чай буде холоднішим? Чому?
А У склянці без цукру, оскільки на розчинення цукру витрачається енергія.
Б У склянці з цукром, оскільки на розчинення цукру витрачається енергія.
В У обох склянках температура чаю буде однаковою, оскільки швидкість охолодження чаю залежить лише від плану 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 у 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 15°C до 35°C необхідно 260 Дж. Визначте питому теплоємність свинцю.

А $130 \frac{\text{Н}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}}$

Б $130 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}}$

В $130 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$

Г $130 \frac{\text{Дж}}{^{\circ}\text{C}}$

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 0°C ?

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 м^3 води при температурі 90°C , яка виходить з будинку при температурі 50°C .

А $2,69 \times 10^8$ Дж.

В $2,69 \times 10^{11}$ Дж.

Б $2,69 \times 10^{11}$ 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 °С).

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 °С і 100 °С треба змішати, щоб одержати 300 л води при температурі 40 °С.

(*Відповідь*: 225 л і 75 л відповідно).

7. У посудину, ізольовану від притоку теплоти ззовні, налито 500 г води при 20 °С. У неї кидають шматочки льоду при –10 °С. 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 °С, а виходить з них при 40 °С. До якої температури прогріється повітря в кімнаті об'ємом 90 м³, якщо початкова температура в кімнаті 6 °С, а через радіатори пройде 40 л води? Втрати тепла через стіни, вікна та підлогу складають 50% (*Відповідь*: приблизно на 20 °С).

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 пальне?
- 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

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 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).

► **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. Види палива подано на рис. 68, а.

► **2. Як виділяється енергія під час горіння палива?** Спосіб отримання енергії внаслідок згоряння палива є одним з найстаріших та найбільш вживаних у сучасному житті.

Розглянемо процесі горіння природного газу – метану. У процесі 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

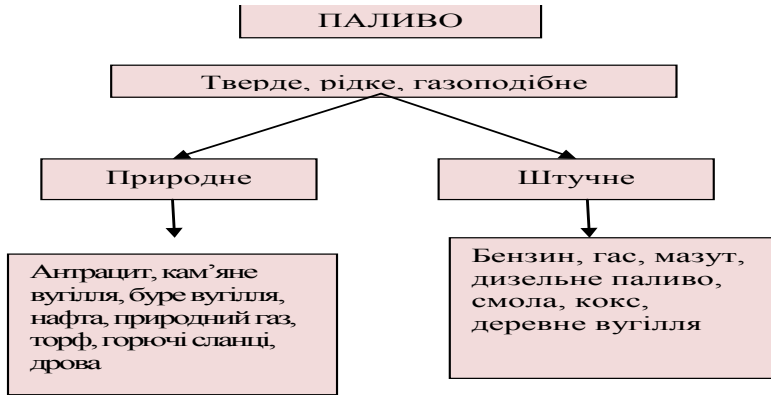


Рис. 68, а. Види природного та штучного палива

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 теплову.

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

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

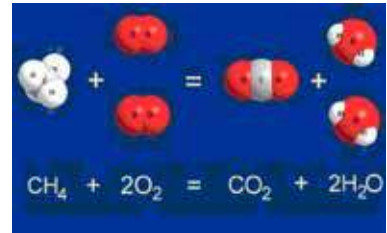


Рис. 68, б.
Реакція горіння метану

Горіння – це фізико-хімічний процес з'єднання молекул кисню з речовиною, який є швидкоплинним, самопідтримуванним 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 .

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

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

Це означає, що внаслідок повного згорання 1 кг кам'яного вугілля виділяється $2,7 \cdot 10^7$ Дж енергії.

Для початку процесу горіння необхідна початкова енергія, за рахунок якої розпочнеться 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 хімічної реакції окислення) виділяється значна кількість теплоти. Ця теплота поглинається молекулами навколишнього середовища, внаслідок чого енергія теплового руху молекул прогресує 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.

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

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

$$Q = q \cdot m.$$

Одиницею питомої теплоти згорання палива є $1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$

$$[q] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

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

Найбільшу (з наведених у табл. 6) питому теплоту згорання 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 згорання водню утворюється чиста вода, а не шкідливі для організму людини вуглекислий і, особливо, чадний газ.

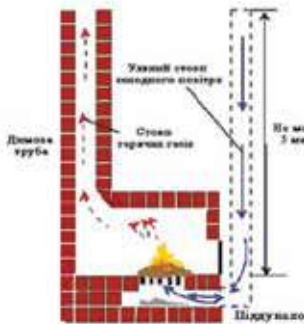
Питома теплота згорання деяких видів палива

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	$12 \cdot 10^7$



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;

► **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 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 виділяється від згоряння будь-якої маси m палива:

$$Q = q \cdot m.$$

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

Запам'ятайте! Шкідливим і небезпечним явищем є так звана *зворотна тяга*. У цьому випадку піч димить. Це може відбутися у разі, якщо температура повітря ззовні більша, ніж у приміщенні (наприклад, влітку). Зворотна тяга може також виникнути, якщо у димовій трубі є наскрізні тріщини. За цим треба слідкувати!

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

Дано:

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

$$m_{к.в.} — ?$$

Розв'язання

Масу кам'яного вугілля визначаємо за формулою:

$$m_{к.в.} = Q_{к.в.}$$

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

$$Q_{к.в.} = Q_m = q_m \cdot m_m, \text{ а } Q_{к.в.} = q_{к.в.} \cdot m_{к.в.}$$

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

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

$$q_T = 1,4 \cdot 10^7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}};$$

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

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

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 : $\text{C} + \text{O} = \text{CO}$. Чадний газ – це небезпечна отрута, яка не має запаху. Його попадання в організм людини блокує процеси транспортування кисню та унеможлиблює клітинне дихання. Основними джерелами чадного газу в атмосфері є лісові пожежі та викиди промислових підприємств, вихлопні гази 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.

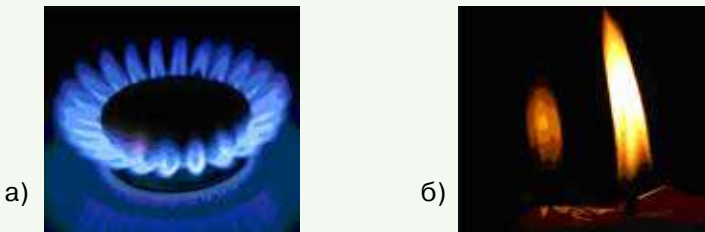


Рис. 70. Колір полум'я залежить від того, які речовини у ньому згорають: а) газова горілка світиться голубим кольором, тому що у полум'ї газової горілки присутній чадний газ CO ; б) жовтогарячий колір верхівки полум'я свічки обумовлений світінням частинок сажі, які піднімаються вгору потоком гарячого 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 згоряння палива? питомою теплотою згоряння палива? Яка одиниця питомої теплоти згоряння палива?
5. Для чого у процесі горіння необхідно створювати і підтримувати тягу?
6. Запишіть формулу, за якою визначають кількість теплоти, що виділяється під час згоряння палива.
7. Чому водень є найбільш економічно вигідним видом палива?

Розв'яжіть задачі та оцініть результати**Вправа 15.**

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

$$0,7 \cdot 10^3 \frac{\text{КГ}}{\text{М}^3}, \quad \text{густина спирту} — 0,8 \cdot 10^3 \frac{\text{КГ}}{\text{М}^3}.$$

3. Яку масу природного газу слід спалити, щоб нагріти 20 кг води від 14 °С до 50 °С, якщо вся теплота, що виділиться внаслідок згоряння 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. У якому випадку буде досягнуто вищої температури полум'я – коли один і той самий газовий пальник горить у повітрі чи у кисні? Відповідь обґрунтуйте.
- 5*. Що відбувається в організмі людини при попаданні в нього чадного газу? Назвіть основні джерела чадного газу.

§ 16. ТЕПЛОВІ ДВИГУНИ. ПАРОВА МАШИНА

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

У теплових двигунах використовується властивість теплового розширення тіл.

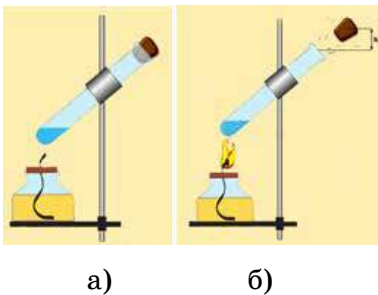


Рис. 71. а, б. За рахунок енергії палива пара води нагрівається (а) і виконує роботу по переміщенню пробки за рахунок своєї внутрішньої енергії (б)

► 1. Що таке тепловий двигун. Неймовірно великі обсяги теплової енергії, яку отримують нині (і ще більше зможуть отримувати у майбутньому), потрібно вміти перетворювати 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 тощо.

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

► 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 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.

Повернемося до досліду (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 тепловий двигун, незалежно від його конструктивних особливостей, складається з трьох основних частин: робочого тіла, нагрівника і холодильника (рис. 73).

Робоче тіло – газ або пара – при розширенні виконує роботу, одержуючи від нагрівника деяку кількість теплоти $Q_{\text{н}}$. Температура нагрівника $T_{\text{н}}$ при цьому залишається сталою за рахунок згоряння палива. При стисненні робоче тіло передає деяку кількість теплоти $Q_{\text{хол}}$ холодиль-

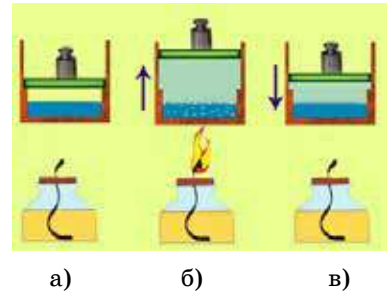


Рис. 72, а, б, в. Принцип дії теплового двигуна поршневого типу: стиснена пара нагрівається за рахунок енергії палива і виконує роботу над поршнем за рахунок зміни своєї внутрішньої енергії

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.



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

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.

нику – тілу зі сталою температурою $T_{\text{хол}}$, яка є нижчою за температуру нагрівника $T_{\text{н}}$.

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

$$A = T_{\text{н}} - T_{\text{хол}} > 0,$$

отже,

$$A = Q_{\text{н}} - Q_{\text{хол}} > 0.$$

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

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 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

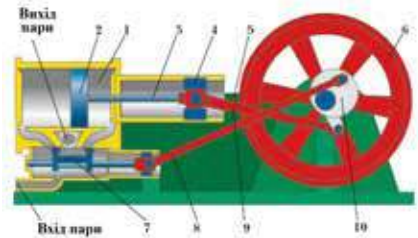
передбачає наявність крім теплового двигуна ще й з'єданого з ним передавального механізму, який буде передавати дію на тіло, що приводиться у рух.

► **4. Парова машина.** Перша універсальна парова машина (рис. 74, а) була побудована у 1784 р. англійським винахідником Джеймсом Уаттом (1736 — 1819 рр.). Ознайомимося з конструкцією та принципом дії теплової машини (рис. 74, 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, після чого впускається у парову машину (вхід пари). За допомогою парарозподільного 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 па-



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



а)



б)



в)

Рис. 75. З парових машин починалося автомобілебудування, а також розвиток морського та річкового транспорту: а) паровий омнібус (працював на двох парових двигунах і розвивав швидкість $40 \frac{\text{км}}{\text{год}}$); б) перший легковий автомобіль класу «люкс», який працює і сьогодні (досягає швидкості $60 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ в) найстаріший у світі діючий пароплав «Skibladner» (перевозить туристів, пошту і вантажі по озеру Мьйоса у Норвегії).

ра 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 починалося автомобілебудування (рис. 75, а, б), а також розвиток морського та річкового транспорту (рис. 75, в). 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».

► **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:

$$\eta = \frac{A}{Q_{\text{н}}} \cdot 100\%$$

де A – корисна робота, яку виконує тепловий двигун;

$Q_{\text{н}}$ – 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 – 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



Джеймс Уатт
(1736 – 1819)

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. Завдяки 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 холодильника має бути нижчою за температуру нагрівника?
2. ККД теплової машини дорівнює 60%. В скільки разів кількість теплоти, віддана нагрівником, більша за кількість теплоти, одержаної холодильником?
3. Використавши 1 т кам'яного вугілля парова машина виконала роботу $10,8 \cdot 10^6$ кДж. Визначте ККД парової машини.
4. Парова машина потужністю 147 кВт споживає за годину роботи 8,1 кг палива. Температура парового котла 200°C , а холодильника 58°C . Визначте ККД цієї парової машини. На якому паливі працює машина?
5. Нагрівник теплової машини одержує $8,36 \cdot 10^3$ Дж енергії і 80% з них передає холодильнику. Обчисліть ККД теплової машини і корисну роботу, яку вона виконує.

§ 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 *чотиритактного 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).



а)



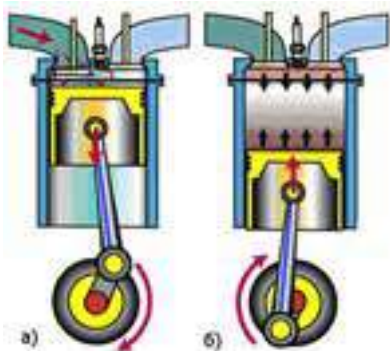
б)

Двигуни внутрішнього згоряння встановлюють на автомобілях і літаках, мотоциклах, річкових і морських суднах, 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.

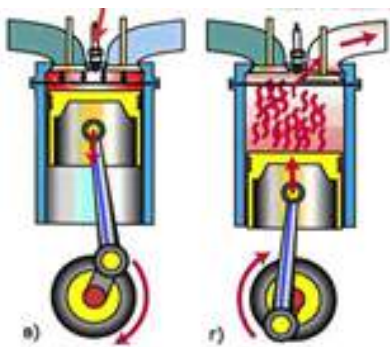
Всередині циліндра рухається поршень, забезпечений металевим стержнем, який з'єднує поршень з шатуном (рис. 77, див.

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)



1-й такт
(впуск)

2-й такт
(стискання)



3-й такт
(робочий хід)

4-й такт
(випуск)

Рис. 77. Схема чотиритактного циклу роботи двигуна внутрішнього згорання

також рис. 79). Шатун 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 – стискання суміші. Впускний клапан закривається. Поршень, рухаючись вгору, стискає паливну суміш, яка при цьому нагрівається (рис. 77, б).

3-й такт – робочий хід. Суміш запалюється 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. 77, в).

4-й такт – випуск (вихлоп). Відкривається випускний клапан. Відпрацьовані продукти згорання через глушник

викидаються в атмосферу. Поршень повертається у вихідний стан (рис. 77, г).

Цілковито 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, суднах встановлюють два, чотири, шість або вісім циліндрів (є навіть десяти-, і дванадцятициліндрові двигуни). У багатоциліндровому двигуні (рис. 78, а, б) 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.

У наш час, коли зростають ціни на паливо, коли відбувається глобальне потепління та погіршення екологічної ситуації (у чому звинувачують також й двигуни внутрішнього згоряння), виникає запитання: чи є у них майбутнє? Можна стверджувати, що, незважаючи на недоліки таких двигунів, ми будемо використовувати їх ще протягом багатьох десятиліть. Але на основі нових технологій.



а)



б)

Рис. 78. У багатоциліндровому двигуні забезпечується майже постійна дія на передавальний механізм (наприклад, на карданний вал, що через спеціальні пристрої передає рух від двигуна до коробки передач та до коліс автомобіля): а) шестициліндровий дизельний двигун – один з найкращих двигунів BMW; б) восьмициліндровий двигун, встановлюється на гоночних автомобілях

Фізичне знання в техніці

Як довго будуть існувати двигуни внутрішнього згоряння? Ці двигуни у тому чи іншому вигляді домінують у техніці протягом майже 100 років. Але фізичне знання і технічна думка не стоять на місці. Так, починають з'являтися екологічні електромотори, які демонструють певні переваги порівняно із двигунами внутрішнього згоряння. Але ще ніхто не винайшов подібну систему, яка б мала такий коефіцієнт корисної дії, надійність, зручність і автономність. Саме тому двигуни внутрішнього згоряння технічно удосконалюються і продовжують успішно працювати на користь людям й у XXI столітті.

Подумайте і дайте відповідь

1. Які двигуни називають двигунами внутрішнього згоряння?
2. Що є основною частиною двигуна внутрішнього згоряння?
3. Поясніть принцип дії двигуна внутрішнього згоряння.
4. Назвіть основні такти робочого циклу двигуна внутрішнього згоряння.
5. З якою метою двигун внутрішнього згоряння забезпечується маховиком?
6. Які переваги багаточиліндрових двигунів внутрішнього згоряння?

Розв'яжіть задачі та оцініть результати

Вправа 17.

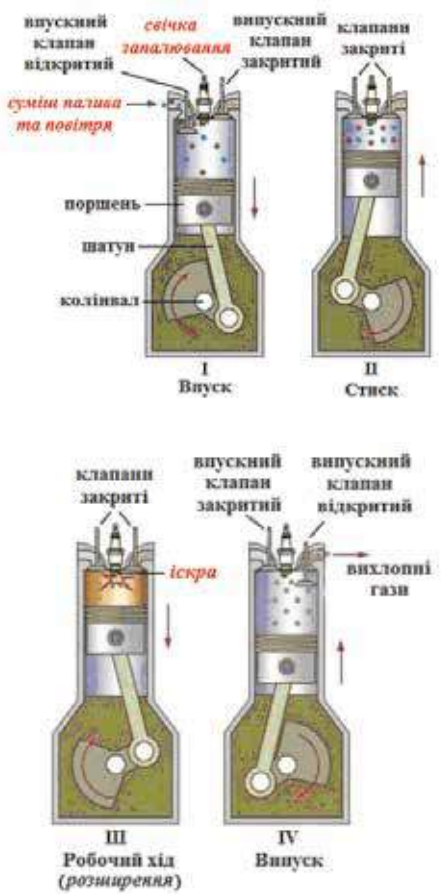
1. Коефіцієнт корисної дії теплового двигуна дорівнює 32%. Поясніть, що означає це число. Яка робота теплового двигуна є корисною?
2. Чому при згорянні паливної суміші тиск у циліндрі двигуна сильно зростає?
3. Чи можна використовувати двигун внутрішнього згоряння на підводному човні, який перебуває у підводному режимі плавання?
4. Яку роботу можна виконати, якщо у двигуні з ККД 20% витратити 0,5 кг бензину?
5. Двигун внутрішнього згоряння витрачає за 1 год 25,3 кг нафти. ККД двигуна 25%. Визначте потужність двигуна.

§ 18. ВИДИ ДВИГУНІВ ВНУТРІШНЬОГО ЗГОРЯННЯ

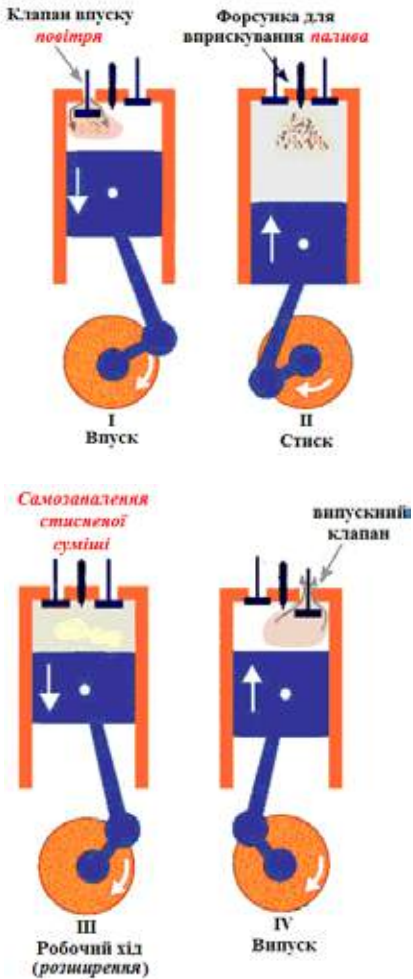
► **1. Карбюраторні (бензинові) та дизельні двигуни.** Залежно від способу приготування та запалення паливної суміші, чотиритактні двигуни внутрішнього згоряння поділяють на два види: *карбюраторні* (бензинові) та дизельні. Схема чотиритактного циклу роботи карбюраторного (а) та дизельного (б) двигунів подана на рис. 79.

► **2. Карбюраторний (бензиновий) двигун** працює на суміші палива і повітря. Свою назву він отримав від наявного в ньому пристрою – карбюратора. *У якості палива в таких двигунах можна використовувати спирт, зріджений газ пропан-бутан, газ. 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 положенні 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 поршня вгору відкривається випускний клапан і відпрацьований газ виштовхуєть-

Карбюратор – від французького слова carburation – утворення суміші.



a)



б)

Рис. 79. Схема чотирьохтактного циклу роботи карбюраторного (а) та дизельного (б) двигунів

ся 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%.*

► 3. Дизельний двигун.

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 стискується (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 самозапалюється. 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 авто-

транспорт, для якого у якості палива використовується солярка.

ККД дизельних двигунів лежить в межах від 29% до 44%.

► **4. 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. Відповідно більшою є потужність двигуна. У цьому випадку автомобіль може розвивати більшу швидкість. 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).

Подумайте і дайте відповідь

1. У чому полягає відмінність між карбюраторними (бензиновими) та дизельними двигунами?
2. У яких двигунів внутрішнього згоряння ККД є більшим: карбюраторних чи 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 згоряння?
2. Поясніть, як впливає неповне згоряння палива у двигуні внутрішнього згоряння 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 $30 \frac{\text{км}}{\text{год}}$.

§ 19. ПАРОВА ТУРБІНА. ГАЗОТУРБІННИЙ ТЕПЛОВИЙ ДВИГУН

*Турбіна – від латинського слова *turbo* – вихор, обертання з великою швидкістю)*

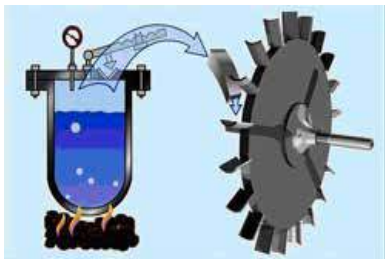


Рис. 80, а. Модель дії турбіни: енергія палива перетворюється на механічний (обертальний) рух колеса

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 електростанціях турбіни набули широкого використання, оскільки вони є економічними і розвивають значні потужності.

► 1. Турбіни – основний рушійний елемент на сучасних теплових електростанціях. У розглянутих вище теплових машинах (паровій машині, карбюраторному та 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*.

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, вибиваючись з трубки у кришці посудини, за рахунок своєї внутрішньої енергії здійснює дію на лопатки колеса і приводить його у рух.

► 2. **Парова турбіна.** Парова турбіна (рис. 80, б) складається із залізного циліндра, всередині якого знаходиться вал 5 із закріпленим на ньому масивним диском – робочим колесом 4. На колесі закріплені лопатки 2 (вони призначені для переміщення потоків пари або газу). Нагріта

і стиснена пара (утворена в спеціальному паровому котлі) витікає із сопла 1, в якому вона розширюється. Під час розширення пари її об'єм збільшується, а внутрішня енергія зменшується і йде на збільшення кінетичної енергії струмینی пари. Тому струміна 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. 82, 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

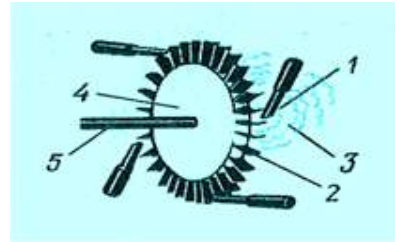


Рис. 80, б. Будова та принцип дії парової турбіни

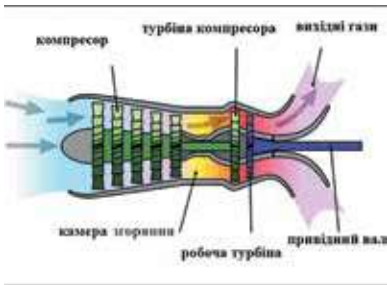


а)



б)

Рис. 81. Сучасні парові турбіни використовуються у різних галузях промисловості: а) багатоступінчата турбіна; б) монтаж парової турбіни



а)



б)



в)

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 згоряння, куди подається й паливо. За рахунок цього у камері згоряння утворюється паливна суміш, яка виділяє енергію у процесі згоряння. Далі струмина вихідних газів під великим тиском поступає на лопатки робочої турбіни і починає їх обертати. Робоча турбіна з'єднана з приводним валом, який приводить у рух певний механізм.

Частина енергії, отриманої від згоряння паливної суміші витрачається на стиснення повітря для наступної подачі у компресор, а інша йде на приводний 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 згоряння.* Крім того, гази, які відпрацювали в турбіні, випускаються в атмосферу, а, отже, не потрібні пристрої для охолодження.

Паливом для газотурбінного двигуна може бути гас, бензин, мазут, природний газ, дизельне паливо, спирт, дрібне вугілля. Газотурбінні теплові двигуни знаходять широкого застосування на морських суднах, залізничних потягах, гвинтокрилах, у танках і літаках (рис. 82, б), у різних галузях промисловості (рис. 82, в, г).

Промислові газотурбінні двигуни розви-

вають 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%.

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.

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.



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 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?
5. Чим відрізняються між собою процеси перетворення внутрішньої енергії палива на механічну енергію у поршневих та турбінних теплових двигунах?

Розв'яжіть задачі та оцініть результати

Вправа 19.

1. Яким видом енергії є енергія пари, що діє на лопатки турбіни?
2. Поясніть, для чого парові (газові) турбіни виготовляють багатоступінчастими.
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. У паровій турбіні для одержання пари з температурою спалюють дизельне паливо масою 0,35 кг. При цьому пара виконує роботу 1 кВт·год. Обчисліть ККД турбіни.
5. Визначте потужність газотурбінного двигуна, який працює на природному газі і споживає за 3,5 год. роботи 140 м³ газу. ККД двигуна 30 %. Густина природного газу 0,85 $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

Висловіть свою думку

Які переваги турбін порівняно із двигунами внутрішнього згорання зумовлюють попит на них у промисловості, енергетиці, у сфері житлово-комунального господарства?

§ 20. ТЕПЛОВІ ДВИГУНИ ТА ЇХ ВПЛИВ НА ЗАБРУДНЕННЯ ОТОЧУЮЧОГО СЕРЕДОВИЩА

► 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. 83, а), окремі об'єкти теплоенергетики (теплоелектроцентралі, котель-

Наближений вміст шкідливих речовин в атмосфері великих міст України складає:
CO (чадний газ) – 45%,
SO₂ – 18%,
C₂₀H₁₂ – 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.



а)



б)



в)

ні) 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. 83, 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 котельнь, якими опалюються житлові будинки.

Ще одною екологічною проблемою є утилізація сміття. Уже зараз його масово спалюють у котельнях, особливо у Києві та інших великих містах. Викиди чадного газу, важких металів та інших канцерогенних речовин 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 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% (рис. 83, в).

За оцінками фахівців, щорічні автомобільні викиди в Україні досягають 40 млн. т.

Тому сьогодні конструюються фільтри, розробляються нові види палива, які містять меншу кількість шкідливих речовин. 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. 83, 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



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

Чистим повітрям славляться такі країни, як Швейцарія, Швеція, Норвегія, Фінляндія, Австрія. Зокрема, повітря в Австрії навіть вважається корисним для здоров'я. Уряди і населення цих країн дбайливо відносяться до оточуючого середовища.

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.

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 легеневі та серцево-судинні захворювання.

Найбільш токсичною речовиною є бензопірен. Він має здатність накопичуватися в організмі людини, що може призвести до виникнення тих або інших захворювань.

Збільшення концентрації в атмосфері вуглекислого газу є однією з причин глобального потепління, що пов'язане з парниковим ефектом.

А де на Землі найбільш чисте повітря? Такі місця ще є. Наприклад, Антарктида, де немає великих міст і промислових підприємств.

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

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. 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 сьогодення. 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 розроблений 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 домішок 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
«ТЕПЛОВА ЕНЕРГІЯ. ТЕПЛОКОРИСТУВАННЯ»**

Початковий рівень

1. Яка з наведених нижче одиниць є одиницею питомою теплоти плавлення?

А $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}}$

В $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$

Б $\frac{\text{Дж}}{^\circ\text{С}}$

Г $\frac{\text{Дж} \cdot \text{кг}}{^\circ\text{С}}$

2. Яке з видів палива є природним?

А Бензин.

В Мазут.

Б Нафта.

Г Смола.

3. У тепловому двигуні відношення $\frac{A}{Q_n} = 0,25$. Визначте коефіцієнт корисної дії двигуна у %.

А 2,5%.

В 50%.

Б 5%.

Г 25%.

Середній рівень

4. Яке паливо при згорянні виділить більшу кількість теплоти?

А Нафта.

В Дрова.

Б Кам'яне вугілля.

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.

В 400 кг.

Б 4 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 м^3 .

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.

В 2.

Б 4.

Г 8.

9. Обчисліть ККД двигуна автомобіля потужністю $36,8 \text{ кВт}$, що витрачає 12 кг бензину за 1 год .

А 24% .

В 34% .

Б 20% .

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 $A=1225 \text{ Дж}$?

А 4900 Дж .

В 490 Дж .

Б 6125 Дж .

Г $612,5 \text{ Дж}$.

12. При згорянні 20 г вугілля, яке містить 10% домішок, 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 домішок, що не горять?

А $6,23 \text{ кг}$.

В $6,23 \text{ т}$.

Б 623 кг .

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: $518,4 \cdot 10^{12}$ 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 $25 \cdot 10^3$ 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 згоряння).

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

Учення про електрику і магнетизм охоплює величезну сукупність явищ мега-, макро- і мікросвіту, які відбуваються внаслідок електромагнітної взаємодії.

Електричні і магнітні явища були відкриті вже декілька тисяч років тому, проте пояснення їх виявилось досить складним. Лише в середині XIX століття з'явилась теорія, яка пояснила і передбачила безліч нових явищ і фактів.

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. 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.

Отже, знайомство з електромагнітними 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 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, пухинки, 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 взаємодіють 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 палич-

Цікаво, що ще давньо-грецький філософ Фалес Мілетський за 600 років до нашої ери описав здатність бурштину, 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 бурштину.

*Електрика – від грецького слова *elektron* – смола, янтар, від якого надалі утворились слова «електричний», «електризація» тощо.*



Рис. 84 а. Циліндрик відштовхується від палички, відхиляється на деякий кут і залишається у такому положенні.



Рис. 84 б. Циліндрик притягується до палички

кою. 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. 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*.

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.

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, насаджену 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

Техніка безпеки проти статичної електрики. Статична електрика може бути небезпечною для людей. Тому на великих заводах і фабриках проводиться робота щодо виявлення впливу статичної електрики на здоров'я робітників і інженерно-технічного персоналу та засобів боротьби з її шкідливим впливом. Цією роботою займається інженер з техніки безпеки.

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.

Електризація – причина аварій. На текстильних і прядильних фабриках, у друкарнях, на паперових фабриках, у гумовій промисловості електризація може стати причиною різних аварій. Тому для робітників цих підприємств (інженерів, швачок, прядильниць, кушнірів, друкарів, операторів стрічкопротяжних механізмів) професійно необхідно є обізнаність із засобами запобігання електризації.

Розширте науковий кругозір

Бурштин – закам'яніла смола. В давнину на Землі було дуже багато покладів янтарю. Тому з нього виготовлялись прикраси, предмети побуту та деякі знаряддя для праці.

Бурштин – це викопна смола особливого виду сосни третинного періоду. Колір янтарю може бути медово-жовтим, бурим, червоно-бурим, чорним, білим. Інколи в шматках бруштину зустрічаються комахи, які в свій час зав'язли у смолі і закам'яніли в ній.

Сьогодні бурштин застосовується для виготовлення прикрас, лаків в хімічній промисловості тощо. Україна багата на поклади бруштину. Перші розробки бруштину в Україні відомі біля Києва (район Міжгір'я та Вишгорода), а також на Рівненщині та Волині (Клесівське родовище).

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?
6. Чи може електричний заряд існувати сам по собі, за відсутності тіл або частинок речовини?

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

Статична електрика в техніці і в побуті.

Способи запобігання шкідливої дії статичної електрики.

§ 22. ПРИЛАДИ ДЛЯ ВИЯВЛЕННЯ ЕЛЕКТРИЗАЦІЇ ТІЛ. ДИСКРЕТНІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОГО ЗАРЯДУ

► 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.

Існує також електроскоп більш складної конструкції, який називається електрометром (рис. 88). Електрометр представляє собою металевий корпус, зашкленний 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 визначати, *більшим чи меншими є наданий тілу заряд* залежно від кутів відхилення стрілки-показчика.



Рис. 87. Електроскоп



Рис. 88. Більш складний електроскоп-електрометр



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

► 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 відхилияться 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 Томсон 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.*

Заряд електрона негативний. Він позначається літерою e . $e = -1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Отже, електрон є носієм елементарного негативного заряду. Негативний заряд будь-якого тіла складається з цілого числа елементарних зарядів (зарядів 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.

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).

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.

Розширте науковий кругозір

Чому серед елементарних частинок електрон займає особливе місце?

Практично всі фізичні процеси в тілах відбуваються за його участі. Тому не випадково, що саме електрон став першою зарядженою частинкою, відкритою експериментально. 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.

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?
5. 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

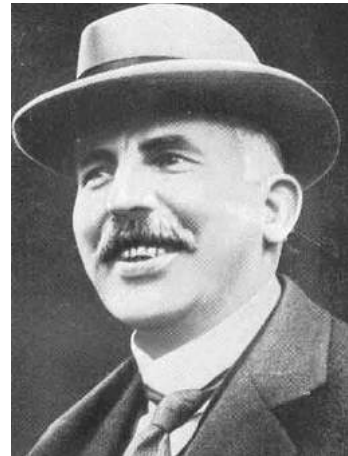
► 1. **Ядерна (планетарна) модель атома.** Для того, щоб зрозуміти, чому і як відбуваються електричні явища, зокрема електризація тіл, необхідно пригадати будову речовини, з якою ви ознайомились в курсі фізики 7-го класу. Тоді вам стало відомо, що підґрунтям сучасної фізики є ядерна (планетарна) модель 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

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

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.

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 90 зображено атом берилію (а) та його позитивний (б) і негативний (в) іони.

Зверніть увагу! На рис. 91 зображені не 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 наявності 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 висно-

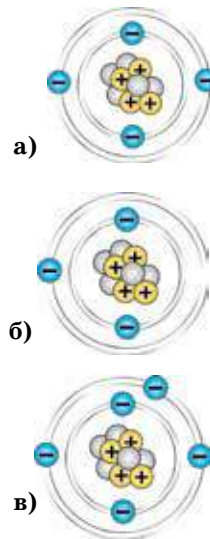


Рис. 91. а,б,в. Зображено атом берилію (а) та його позитивний (б) і негативний (в) іони



Рис. 91. а. Стрілка електрометра відхилена на однакові кути



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.

вок: при електризації заряджаються обидва 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: сумар-

ний заряд тіл до електризації дорівнює їх 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.

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.

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 замкнутою?
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, ДІЕЛЕКТРИКИ. ЕЛЕКТРИЗАЦІЯ ЧЕРЕЗ ВПЛИВ

► 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 відхилялась 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 металеві 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-



Рис. 92 а. Стрілки обох електрометрів відхилились на однакові кути



Рис. 92 б. Стрілка другого електрометра залишиться нерухомою

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. Така внутрішня будова притаманна лише металам і зумовлена тими процесами, які відбуваються при утворенні металів.

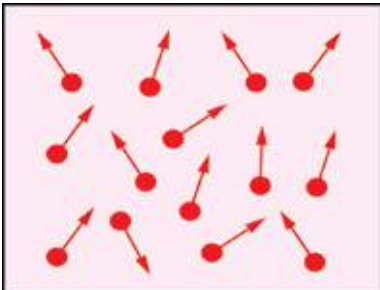


Рис. 93. Модель провідника

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-

ду з електризації, в якому ми заряджали циліндрик з металевої фольги за допомогою наелектризованої палички. Але тепер трохи змінимо умови досліду: піднесемо позитивно заряджену скляну паличку до циліндрика, але торкатись його не будемо. Циліндрик 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 циліндрик залишається нейтральним.

Що ж відбувається в металевому циліндрику, до якого піднесене заряджене тіло? Адже ви знаєте, що притягуються лише різнойменно заряджені тіла.

При піднесенні до циліндрика з металевої фольги позитивно зарядженої скляної палички негативно заряджені вільні електрони будуть притягуватись 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 циліндрик залишиться нейтральним (рис. 96). Після прибирання зарядженої палички циліндрик 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).

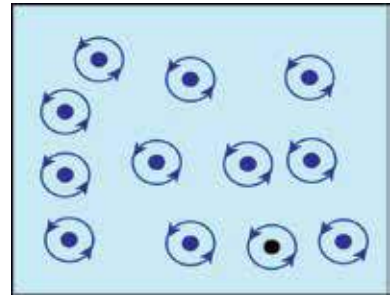


Рис. 94. Електрони в атомах ізоляторів рухаються навколо ядер



Рис. 95. Циліндрик відхилиться від свого початкового положення і буде притягуватись до палички

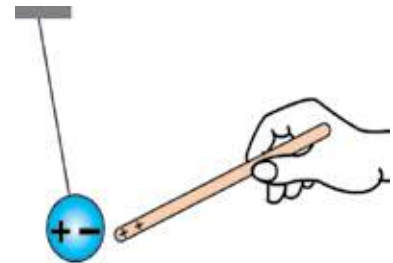


Рис. 96. Циліндрик залишається нейтральним

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 "лідеру"), 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. 97: 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

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.

Розв'яжіть задачі та оцініть результати**Вправа 24.**

1. Виготовте дві легких кульки з металеві 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 склянню (або пластмасовою) паличкою. Виконайте в зошиті рисунок досліду і поясніть його результат.
2. Поясніть, чи можна, тримаючи у руці, зарядити склянню 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.

§ 25 ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ

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 ненаелектризовані 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 ненаелектризоване? 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 XIX 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.

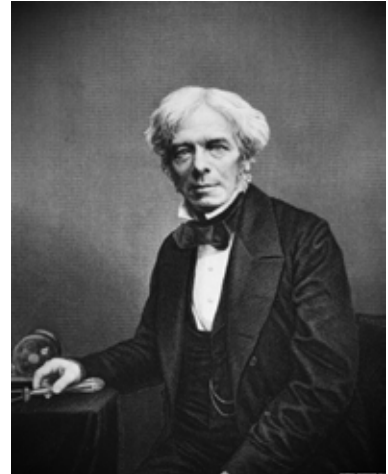
І от нарешті наприкінці XIX століття найвидатніший із експериментаторів

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 вів 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 скінченною 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 вміщенні 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:

$$[E] = \frac{Н}{Кл} .$$

Напруженість електричного поля, як і сила, є величиною векторною \vec{E} . Напрямок напруженості електричного поля співпадає з напрямком 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

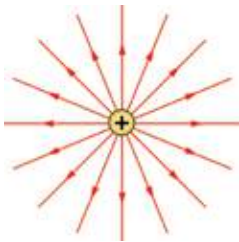


Рис. 99, а. Схематичне зображення ліній напруженості електричного поля, створеного позитивним зарядом

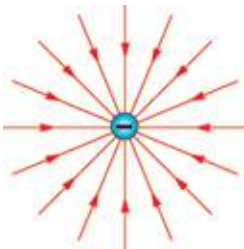


Рис. 99, б. Схематичне зображення ліній напруженості електричного поля, створеного негативним зарядом

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 електростатичного поля (електричного поля)**.



Рис. 100, а. Два султани, заряджені почергово різноіменними зарядами.



Рис. 100, б. Два султани, заряджені почергово однойменними (позитивними) зарядами.

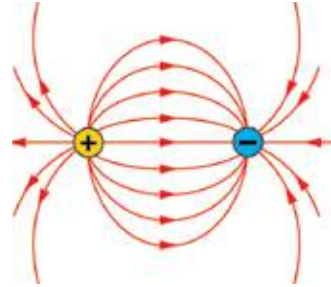


Рис. 101. Схематичне зображення силових ліній електричних полів двох різноіменних зарядів

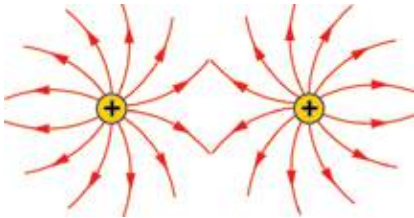


Рис. 102. Схематичне зображення силових ліній електричних полів двох однойменних зарядів

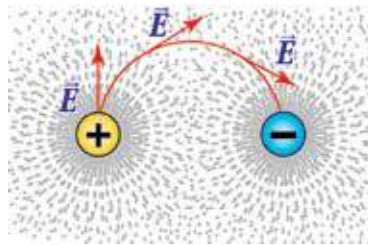


Рис. 103. Дотична, проведена в будь-якій точці до лінії напруженості, співпадає з напрямом вектора напруженості електричного поля в даній точці

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 шкідливих димових газів, які у великих кількостях викидаються витяжними трубами заводів, фабрик, теплових електростанцій тощо використовуються електрофільтри. 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 йони. Ці йони осідають на частинках диму і притягуються до негативно заряджених стінок труби, утво-

рюючи на них шар шкідливих відходів. Відходи падають в спеціальний збірник, з якого їх відправляють на переробку.

Розширте науковий кругозір

Як виростити багато картоплі? Експериментально доведено, що дія електричного поля збільшує врожай картоплі на 30 – 40 %. Якщо вас зацікавить цей метод, ознайомтесь з ним детальніше і перевірте на своїх присадибних ділянках.

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 ізолятора (зокрема, скла). На кінцях коромисла закріплені металева кулька A і противага (для зрівноваження коромисла). Для перешкоджання 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

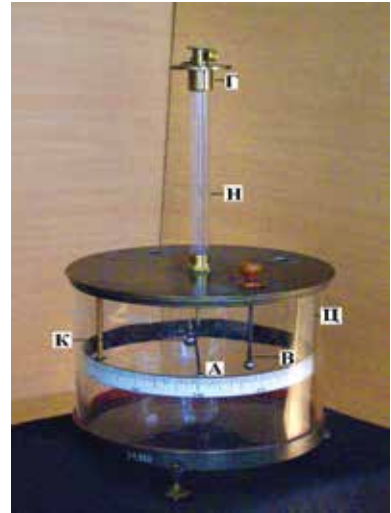


Рис. 104.
Крутильні терези

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.

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:

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Кл}^2}{\text{Н} \cdot \text{м}^2}.$$

Якщо розглядається взаємодія двох точкових зарядів у вакуумі (або повітрі), то коефіцієнт

$$k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}.$$

► **3. Як впливає середовище на силу взаємодії електричних зарядів?** На практиці заряджені тіла взаємодіють на 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 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

Відносна діелектрична проникність речовин

Таблиця 7

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:

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

Закон Кулона справджується для нерухомих точкових зарядів, а також для заряджених тіл кулеподібної форми, якщо їх заряди рівномірно розподілені по об'єму або по поверхні цих тіл.

Розширте науковий кругозір

Один кулон – це багато чи мало? 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. Подумайте і дайте відповідь

1. Які заряди називаються точковими?
2. Опишіть будову крутильних терезів і поясніть суть дослідів Кулона.
3. Як формулюється закон Кулона? Запишіть формулу цього закону.
4. Як записується закон Кулона для взаємодії зарядів у непровідному середовищі? У чому полягає зміст діелектричної проникності середовища?
5. Чому сила взаємодії двох точкових зарядів у вакуумі завжди більша, ніж у будь-якому середовищі?

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 7.
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 7.
- *6. 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. Скількома електронами створений заряд кожної кульки?

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДО РОЗДІЛУ 4

«ЕЛЕКТРИЧНІ ЯВИЩА»

Початковий рівень

1. Який з перерахованих 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.

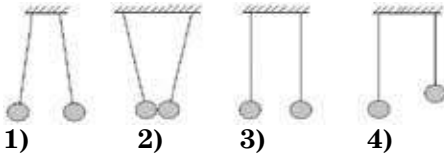
2. На рисунку зображені легкі кульки, підвішені на шовкових нитках. Яка пара кульок заряджена однойменними зарядами?

А 2).

Б 4).

В 1).

Г 3).



3. Частинка, яка має найменший негативний заряд, називається

А Молекулою.

В Протоном.

Б Атомом.

Г Електроном.

Середній рівень

4. В ядрі 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.

В У процесі польоту з корпуси літаків охолоджуються.

Б У процесі польоту корпуси літаків електризуються.

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
незнищеності
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*: $4 \cdot 10^8$).

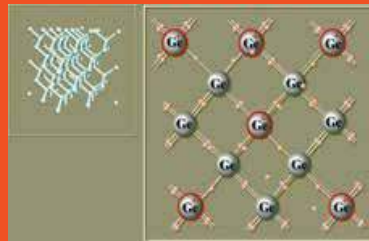
10. Визначте, з якою силою діє електричне поле Землі, напруженість якого $-100 \frac{\text{Н}}{\text{Кл}}$, на тіло із зарядом $1 \cdot 10^{-6}$ Кл.

(*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 (напрямлений) 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:

► 1. 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.

► 2. Напря́м 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 — негатив-

но 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.

► **3. 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. Нитка лампочки нагрівається і починає світитися. *Теплова дія* струму використовується в усіх побутових електронагрівних приладах (рис. 105), 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

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

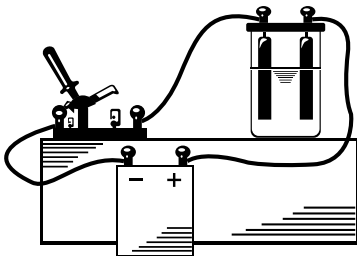


Рис. 108. При пропусканні струму через розчин мідного купоросу (CuSO_4) на негативно зарядженому електроді виділяється мідь (Cu)

ітиме струм. При цьому цвях намагнічуватиметься 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.

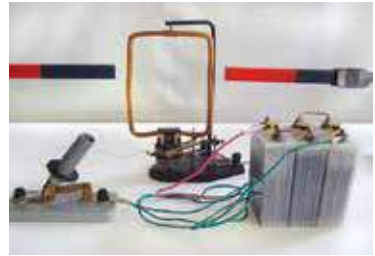


Рис. 109. Явище взаємодії провідника зі струмом і магніту

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 $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $300\text{ }^{\circ}\text{C}$. Для наукових цілей існують термістори для вимірювання як дуже низьких температур, так і дуже високих ($\approx 1000\text{ }^{\circ}\text{C}$).

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 $0,3\text{ мм/с}$. Але чому ж достатньо увімкнути вимикач і змить спалахує електрична лампа? Як же узгодити цю суперечність – повільне переміщення електронів уздовж проводу і миттєве пере-

давання 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 $300\,000 \frac{\text{км}}{\text{с}}$!

Якщо хтось на кінці телеграфного проводу, скажімо в Ужгороді, змінить напругу на 10 В, то спостерігач у Києві помітить появу струму через $\frac{620_{\text{км}}}{300000_{\text{км/с}}} = 0,002$ 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.**

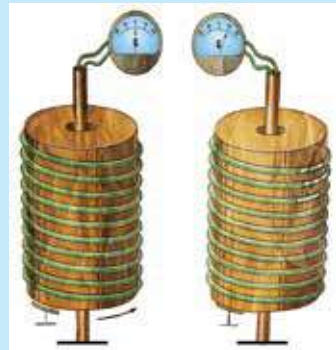


Рис. 111. Удосконалений дослід Л.І. Мандельштама та М.Д. Папалексі

§ 30. ЕЛЕКТРИЧНЕ КОЛО ТА ЙОГО ОСНОВНІ ЕЛЕМЕНТИ

Джерело струму, пристрій для замикання і розмикання кіл, електровимірювальні прилади, з'єднані між собою проводами, складають найпростіше електричне коло.

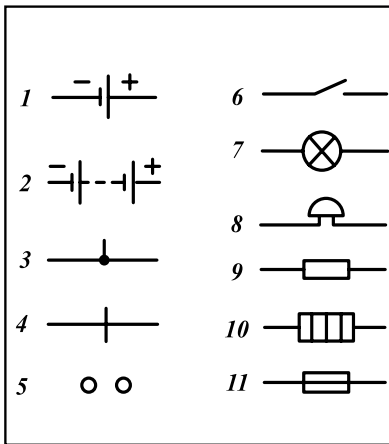


Рис. 112. Умовні позначення знаками приладів на схемах

► **1. 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, електрочисельники, 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.

► **2. 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.

► **3. Напря́м 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.**

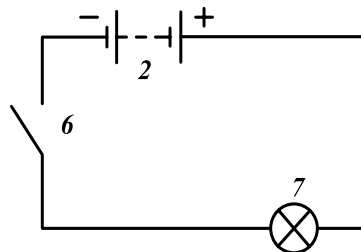


Рис. 113. Схема найпростішого електричного кола

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

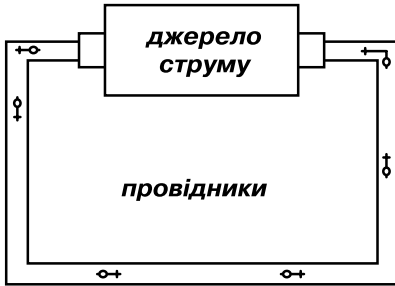


Рис. 114. При з'єднанні полюсів джерела провідником, виникає електричний струм



Рис. 115.
Електрофорна машина

► 1. 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.

Підтримувати електричне поле в провіднику можна за рахунок перетворення інших видів енергії в енергію електричного поля.

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.

► 2. 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 міс-

ця, 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.

► **3. 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, теплова, 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.

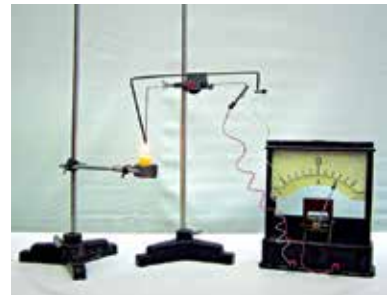


Рис. 116. Виникнення електричного струму в спаяних дротинах, виготовлених із різних металів і нагрітих в місці спаю.

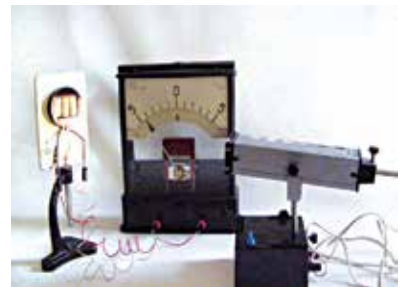


Рис. 117. Будова і дія фотоелементів



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, кожна 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).

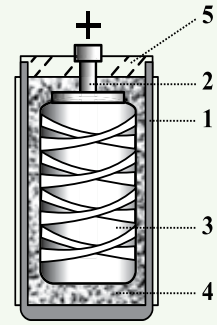


Рис. 119.
Будова гальванічного елемента

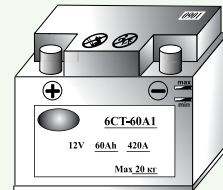


Рис. 120. Акумулятор, який складається з трьох елементів

Із історії фізики: вчені і факти

Відкриття хімічних джерел струму.

У другій половині XVIII ст. проводились різноманітні досліди 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 Алессандро 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 :

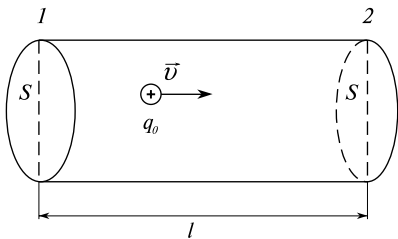


Рис. 121. Провідник з поперечним перерізом площею S



Ампер Андре Марі
(1775–1836) –
французький фізик
і математик.

► **1. Сила струму.** 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 (рис. 121). 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.

► **2. Одиниця сили струму.**

Оскільки $I = \frac{q}{t}$ то сила струму рівна 1Кл/1с.

Така одиниця вимірювання сили струму називається ампером (А) на честь французького фізика Андре Ампера, $1\text{А} = 1 \frac{\text{Кл}}{\text{с}}$. 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.

Визначимо одиницю сили струму – ампер. 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 $2 \cdot 10^{-7}$ Н.

► 3. Одиниці сили струму і заряду.

Через одиницю сили струму – 1 А визначають одиницю електричного заряду – 1 Кл, яка Вам вже відома:

1 кулон = 1 Ампер · 1 секунда,
або 1 Кл = 1 А · 1 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.

$$I = \frac{q}{t}, \quad q = It.$$



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).

$$1 \text{ мА} = 0,001 \text{ А} = 10^{-3} \text{ А},$$

$$1 \text{ мкА} = 0,000001 \text{ А} = 10^{-6} \text{ А},$$

$$1 \text{ кА} = 1000 \text{ А} = 10^3 \text{ А}.$$



Рис. 123. Шкільний демонстраційний амперметр

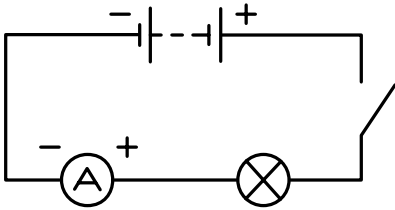


Рис. 124. Схема вмикання амперметра в коло і його умовне позначення.

► **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.

Кожний амперметр розрахований на певну максимальну силу струму. Якщо ж сила струму у колі буде більшою, амперметр може вийти з ладу.

Поглибте свої знання

Залежність сили струму від швидкості впорядкованого руху носіїв струму в провіднику.

Для металевого провідника цей зв'язок виражається формулою:

$$I = envS,$$

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.

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 27.

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

Напруга – це фізична величина, що характеризує електричне поле на певній ділянці електричного кола, або у всьому колі.

► **1. Напруга.** 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:

$$A = q \cdot U.$$

► **2. 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):

$$1 \text{ В} = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ Кл}}.$$

На практиці використовують частинні й кратні одиниці: мікровольт (мкВ), мілівольт (мВ), кіловольт (кВ), мегавольт (МВ).

$$1 \text{ мкВ} = 0,000001 \text{ В} = 10^{-6} \text{ В},$$

$$1 \text{ мВ} = 0,001 \text{ В} = 10^{-3} \text{ В},$$

$$1 \text{ МВ} = 1000000 \text{ В} = 10^6 \text{ В}.$$

► **3. 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. 126 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 рухоми 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.

► **4. 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. 126 а, зображено, як треба приєднати вольтметр, щоб виміряти напругу на ділянці кола електричної лампи, а на рис. 126 б, щоб виміряти напругу на полюсах джерела струму.



Вольта Алессандро (1745 – 1827) – італійський фізик, один із засновників вчення про електричний струм.



Рис. 125. Шкільний демонстраційний вольтметр

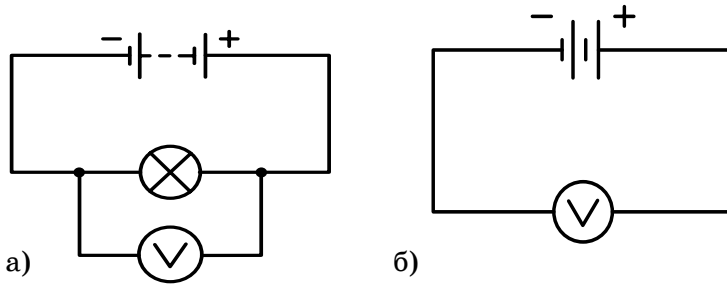


Рис. 126. Умовне позначення на схемах вольтметра

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 28.

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

► 1. Зв'язок між силою струму в провіднику та напругою на його кінцях. 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. 127, а) з одним гальванічним елементом або акумулятором. Вольтметр приєднаний до однорідної ділянки кола 1–2 паралельно. На ділянці кола 1–2 приєднано нікелінову дrottину (може бути частина спіралі нагрівача). Замкнемо коло і запишемо покази приладів. Потім приєднаймо до першого акумулятора послідовно такий самий акумулятор (рис. 127, 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

Ділянка замкненого електричного кола, яка не містить джерела струму, називається однорідною

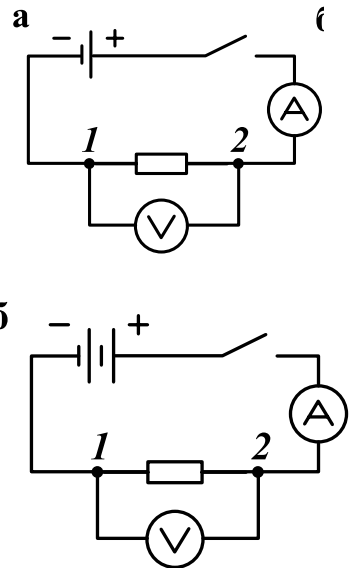


Рис. 127. Схема з одним (а), гальванічним елементом або акумулятором, та двома (б) послідовно з'єднаними акумуляторами.



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. 128).

Графік залежності сили струму від напруги є прямою лінією (залежність прямо пропорційна).

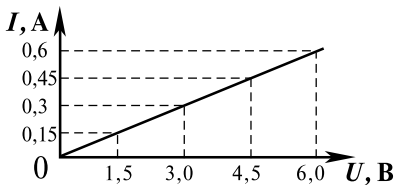


Рис. 128. Графік залежності сили струму від напруги

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.

► **2. 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*.

► **3. 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 ділянки 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.**

► **4. Одиниці опору.** За одиницю опору 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 опору: кілоом (кОм), мегаом (МОм).

$$1 \text{ кОм} = 1000 = 10^3 \text{ Ом}$$

Сила струму на однорідній ділянці кола прямо пропорційна напрузі на кінцях цієї ділянки і обернено пропорційна її опору.

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:

$$R = \frac{U}{I} \quad (4)$$

Розв'яжіть задачі та оцініть результати

Вправа 29.

- Напруга на клеммах електричної праски 220 В. Опір нагрівального елемента 50 Ом. Яка сила струму в нагрівальному елементі.
- 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?
- З формули закону Ома можна виразити опір (дивись формулу 4). А чи можна стверджувати, що опір провідника прямо пропорційний до напруги на його кінцях та обернено пропорційний до сили струму у цьому провіднику? Відповідь обґрунтуйте.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3

Вимірювання опору провідника за допомоги 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. 129).



Рис. 129. 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. Занесите 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.

§ 35. ЗАЛЕЖНІСТЬ ОПОРУ ПРОВІДНИКА ВІД ЙОГО ДОВЖИНИ, ПЛОЩІ ПЕРЕРІЗУ ТА МАТЕРІАЛУ

3. Сформулюйте закон Ома для ділянки кола.

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 вмикаємо 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. 130). 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-

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:

$$[r] = 1 \frac{\text{Ом} \cdot \text{м}^2}{\text{м}} = 1 \text{ Ом} \cdot \text{м}$$



Рис. 130. Установа для визначення залежності опору провідника від його характеристик.

Оскільки найчастіше площу поперечного перерізу провідника виражають у мм², користуються і такою одиницею питомого опору:

$$[r] = 1 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$$

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.

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 8

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 $10^{13} - 10^{21}$ раз більший за питомий опір заліза, тому вони типові діелектрики, практично не проводять електричного струму, їх використовують як ізолятори.

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 30.

1. Як зміниться опір металевої 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 130 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. 131. Повзунковий реостат з ковзаючим контактом



Рис. 132. Важільний реостат



Рис. 133. Реостат у вигляді магазину резисторів

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. 131), важільні (рис. 132) у вигляді магазину резисторів (рис. 133).

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. 134) або потенціометром. Умовне позначення потенціометра зображено на рисунку 135, схему включення подільника напруги зображено на рис. 136.



Рис. 134. Потенціометр

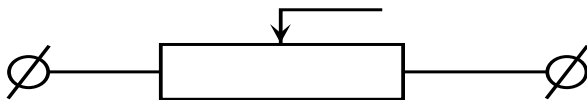


Рис. 135. Умовне позначення потенціометра

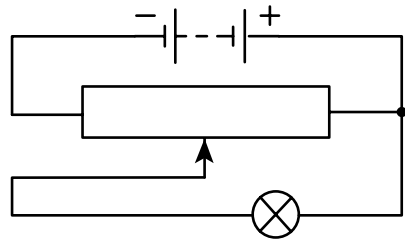


Рис. 136. Схема включення подільника напруги

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.

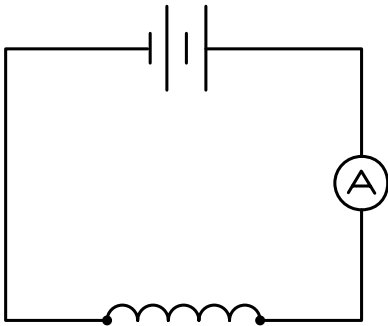


Рис. 137. Електричне коло для спостереження залежності опору від температури

Температурний коефіцієнт опору чисельно рівний відносній зміні опору провідника при його нагріванні на 1 °С.

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. 137 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. 137). 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 °С опір провідника R_0 , 0°С t °С 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,

$t = t^{\circ}\text{C}$ – 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°C .

Залежність опору металів від температури широко використовується для вимірювання температури на практиці у вимірювальній техніці в термометрах опору.

Від теорії до практики

Як виготовляють термометри опору?

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. 136) якщо нагрівати спіраль.
2. Що являє собою термометри опору?
3. Де використовуються термометри опору?

Електричні кола, що застосовуються на практиці, зазвичай, складаються з багатьох елементів: кількох споживачів, вимірювальних

§ 38. ПОСЛІДОВНЕ З'ЄДНАННЯ ПРОВІДНИКІВ

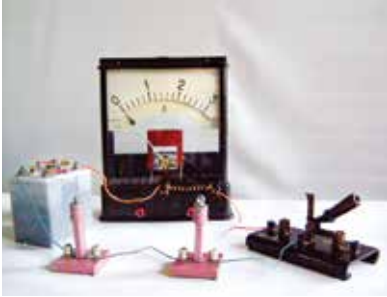


Рис. 138. Коло послідовного з'єднання двох електричних ламп та амперметра

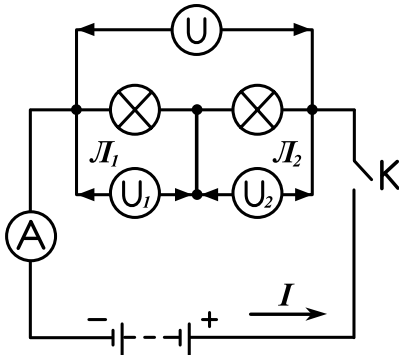


Рис. 139. Схема з'єднання двох електричних ламп та амперметра

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 138, зображено коло послідовного з'єднання двох електричних ламп та амперметра, а на рисунку 139 – 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 пройдётиме 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. Використаємо 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 усієї ділянки кола і окремих її частин, U , U_1 , U_2 – відповідно напруга усієї 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

$$\frac{U_1}{R_1} = \frac{U_2}{R_2},$$

Остаточню

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{R_1}{R_2}$$

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 усієї ділянки кола, складеної з послідовно з'єднаних резисторів, якщо відомий опір кожного з резисторів?

**ПРИКЛАДИ РОЗРАХУНКУ ЕЛЕКТРИЧНИХ КІЛ
ІЗ ПОСЛІДОВНИМ З'ЄДНАННЯМ**

Задача 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. 140)

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'язання

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

$$U = U_1 + U_2 + U_3, \text{ або } U = IR.$$

$$U = 2 \text{ В} + 3 \text{ В} + 5 \text{ В} = 10 \text{ В},$$

$$\text{або } U = 1 \text{ А} \cdot 10 \text{ Ом} = 10 \text{ В.}$$

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

$$U_3 = 5 \text{ В}, \quad U = 10 \text{ В.}$$

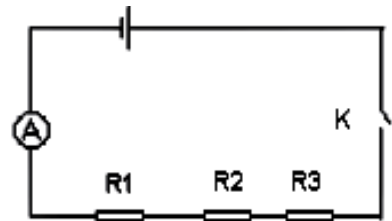


Рис. 140

Задача 2. Ділянка ланцюга складається із сталюого дроту завдовжки 2 м і площею поперечного перерізу $0,48 \text{ мм}^2$ з'єданого 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)

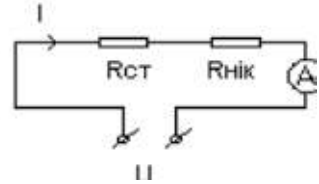


Рис. 141

Дано:

$$\begin{aligned} L_{\text{ст}} &= 2 \text{ м} \\ S_{\text{ст}} &= 0,48 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 \\ L_{\text{нік}} &= 1 \text{ м} \\ S_{\text{нік}} &= 0,21 \cdot 10^{-6} \text{ м}^2 \\ I &= 0,6 \text{ А} \\ \rho_{\text{ст}} &= 12 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м} \\ \rho_{\text{нік}} &= 42 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м} \end{aligned}$$

$U - ?$

Розв'язання

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 31.

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'єдані 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 опору окремих ділянок кола?

§ 39. ПАРАЛЕЛЬНЕ З'ЄДНАННЯ ПРОВІДНИКІВ

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. 143) 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:



Рис. 143. Паралельне з'єднання двох електричних ламп

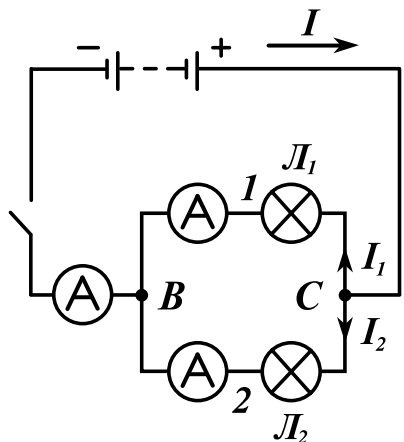


Рис. 144. Схема паралельного з'єднання

Рівність (2) можна пояснити скориставшись тим, що електричний заряд не може нагромаджуватися 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 $\left(q = \frac{I}{t}\right)$, 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.

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

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:

$$I_1 R_1 = I_2 R_2,$$

Остаточо 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.

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 З'ЄДНАННЯМ

Задача 1. 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. 145)

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:

$$I_3 = I_{12} = I = 0,5 \text{ А}$$

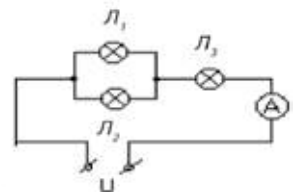


Рис. 145

За законом Ома для ділянки кола:

$$R = \frac{U}{I} = \frac{90 \text{ В}}{0,5 \text{ А}} = 180 \text{ Ом}$$

З формули (1) :

$$R_1 = \frac{R}{4,5} ,$$

$$R_1 = R_2 = \frac{180 \text{ Ом}}{4,5} = 40 \text{ Ом.}$$

Опір лампи L_3 (за умовою) $R_3 = 4R_1 = 160 \text{ Ом}$

За законом Ома для ділянки кола:

$$\begin{aligned} U_3 &= IR_3 \\ U_3 &= 0,5 \text{ А} \cdot 160 \text{ Ом} = 80 \text{ В} \end{aligned}$$

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:

$$\begin{aligned} U_1 &= U_2 = U - U_3, \\ U_1 &= 90 \text{ В} - 80 \text{ В} = 10 \text{ В.} \end{aligned}$$

Згідно з законами послідовного і паралельного з'єднання провідників (маючи на увазі, що $R_2 = R_1$, і $U_1 = U_2$):

$$\begin{aligned} I &= I_{12} = I_3 \\ I_1 &= I_2 = \frac{U_1}{R} = \frac{10 \text{ В}}{40 \text{ Ом}} = 0,25 \text{ А.} \end{aligned}$$

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.

Задача 2. Знайти загальний опір кола та напругу на кожному резисторі. Сила струму в колі 5 А, опори $R_1 = R_4 = 1$ Ом, $R_2 = R_3 = 2$ Ом (рис. 146).

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

$$R_{2-3} = 1 \text{ Ом. Тому } U_3 = U_2 = U_1 = 5 \text{ В.}$$

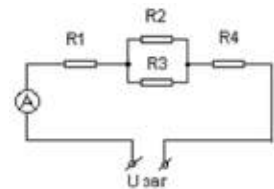


Рис. 146

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 провадах 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. 147. Тут використане так зване змішане з'єднання резисторів. Позначимо: R – опір усієї 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.

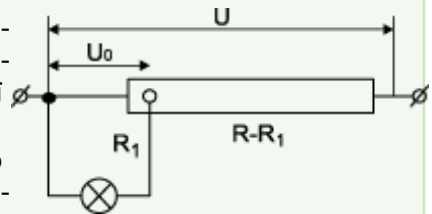


Рис. 147.

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 32.

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.
4. Поясніть, які характерні особливості паралельного з'єднання провідників зумовлюють той факт, що паралельне з'єднання в техніці і в побуті використовують частіше, ніж послідовне.
5. Чому загальний опір провідників, з'єднаних паралельно, менший за опір кожного із з'єднаних провідників? Відповідь підтвердіть на основі математичних розрахунків.

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?

ТЕСТОВІ ЗАВДАННЯ ДО РОЗДІЛУ 5

«ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ. ЗАКОНИ ПОСТІЙНОГО СТРУМУ»

Початковий рівень

1. Які частинки є носіями струму в металевих провідниках?

- А Додатні йони. В Від’ємні і додатні йони.
Б Вільні електрони. Г Від’ємні йони.

2. Що необхідно зробити для отримання в електричному колі струму?

- 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. В Опір.
Б Напруга. Г Робота електричного струму.

Середній рівень

4. Чи зміниться співвідношення струмів у паралельних ділянках кола, якщо напруга в колі збільшиться вдвічі?

- А Збільшиться вдвічі. В Не зміниться.
Б Зменшиться вдвічі. Г Збільшиться вчетверо.

5. Чи залежить опір провідника від сили струму в електричному колі?

- А Залежить. В Частково залежить.
Б Не залежить. Г Залежить за певних умов.

6. При нарузі на кінцях провідника 6 В сила струму дорівнює 1,5 А.

Яка сила струму при нарузі 12 В?

- А 1 А. В 2 А.
Б 3 А. Г 4 А.

Достатній рівень

7. Два резистори опором 10 Ом і 40 Ом з'єднані паралельно. Який їх загальний опір?

А 4 Ом.

В 8 Ом.

Б 16 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. Питомій опір сталі $0,12 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$.

А 5,3 А.

В 2,8 А.

Б 6,6 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.

В 100 В.

Б 60 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 однієї проміжки часу?

А В 2 рази.

В В 0,3 раз.

Б В 3,5 рази.

Г Заряди однакові.

11. Для прикрашання ялинки треба виготовити гірлянду з ламп, кожна з яких розрахована на напругу 6 В. Скільки ламп для цього треба взяти, щоб гірлянду можна було увімкнути в коло з напругою 120 В?

А 25.

В 20.

Б 6.

Г 12.

12. Розрахуйте опір алюмінієвого дроту довжиною 5000 м і площею поперечного перерізу 2 см^2 .

А 1,4 Ом.

В 2,8 Ом.

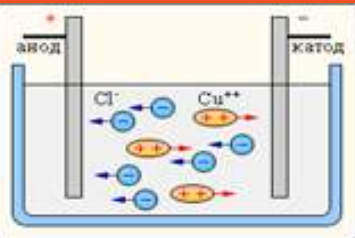
Б 0,7 Ом.

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 \cdot 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 \cdot 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:

$$\begin{aligned} A &= UI t. \\ A &= Uq, A = UI t. \end{aligned} \quad (3)$$

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.

► 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

$$P = \frac{A}{t} = \frac{UIt}{t} = UI$$

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,

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 Вт: 220 В \approx 2,3 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).

$$1 \text{ Вт} \cdot \text{год} = 3600 \text{ Вт} \cdot \text{с} = 3600 \text{ Дж};$$

$$1 \text{ гВт} \cdot \text{год} = 100 \text{ Вт} \cdot \text{год} = 360\,000 \text{ Дж};$$

$$1 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 1000 \text{ Вт} \cdot \text{год} = 3\,600\,000 \text{ Дж}.$$

На практиці використовують також кратні одиниці:

гектоват (гВт),
кіловат (кВт),
мегават (МВт).

$$1 \text{ гВт} = 100 \text{ Вт};$$

$$1 \text{ кВт} = 10 \text{ гВт} = \\ = 1000 \text{ Вт};$$

$$1 \text{ МВт} = 1000 \text{ кВт} = \\ = 1\,000\,000 \text{ Вт} = \\ = 10^6 \text{ Вт}.$$

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 з використанням формул роботи і потужності струму

Задача. 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

Потужність струму $P = UI$:

$$P = 220 \text{ В} \cdot 5 \text{ А} = 1100 \text{ Вт} = 1,1 \text{ кВт};$$

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 33.

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.
6. Ви, мабуть, помічали, що при ввімкненні у приміщенні приладу з великою потужністю, розжарення ламп стає меншим. Поясніть це явище.
7. Дві лампи, що розраховані на однакову напругу, але споживають різні потужності, ввімкнені у коло послідовно. Поясніть, чому одна з них буде горіти яскравіше?

§ 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, стальну, нікелінову. Яка з них більше нагріється?

Розв'яжіть задачі та оцініть результати

Вправа 34.

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. Стальні листи в момент зварювання мають опір 0,0004 Ом. Яка кількість теплоти виділяються під час зварювання за 2 хв?

§ 42. ЕЛЕКТРОНАГРІВАЛЬНІ ПРИЛАДИ



Рис. 148. Електрична лампа розжарювання

Основна частина електролампи розжарювання – спіраль із тонкого вольфрамового дроту. Вольфрам – тугоплавкий метал, його температура плавлення 3387 °С. Температура спіралі у лампі досягає 3000 °С. 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. 148 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 нарізку, що утримує лампу. Середині патрон має пружинний контакт, який стикається з основою цоколя лампи. Патрон під'єднують до електричної мережі.

Нині для освітлення приміщень широко використовуються енергозберігаючі електричні 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. 149). 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. 149. 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.

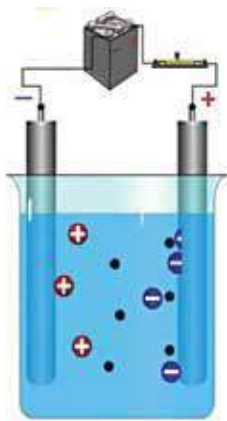


Рис. 150. Схема електролізу

► 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 150. 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. $\alpha\upsilon\omicron\delta\omicron\varsigma$ – *сходження*; негативно заряджений катод – від гр. $\chi\alpha\upsilon\omicron\delta\omicron\varsigma$ – *спуск*).

► 2. Природа електричного струму в електролітах. Струм в електролітах супроводжується електролізом – окисно-від-

новлювальними 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?
5. Поясніть, чому розчин, у якому містяться йони, є електрично нейтральним.
6. У якому випадку більш небезпечно доторкатися до провідників із струмом – коли руки сухі або коли вологі? Відповідь обґрунтуйте.

§ 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:

$$m = kq = kIt$$

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. Він чисельно рівний масі речовини, що виділилась на електроді при проходженні заряду 1Кл.

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 знаходиться 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 300–400⁰С, 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 35.

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?
3. Є дві посудини (електролітичні ванни) з розчином одного й того самого електроліту, які з'єднані послідовно. Концентрація електроліту у різних ваннах – різна. Поясніть, чи однаковою буде маса речовини, що виділиться на електродах цих ванн.
- 4*. Поясніть, яку роль відіграє сірчана кислота при електролізі води.

§ 45. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ У ГАЗАХ. НЕСАМОСТІЙНИЙ ГАЗОВИЙ РОЗРЯД

► 1. За нормальних умов газу (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, рентгеновське випромінювання, космічні промені. Такий процес утворення носіїв струму в газі (повітрі) називається йонізацією газу.

У цьому легко переконатися за допомогою досліду, що зображений на рисунку 151. 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.

Вільні електрони в свою чергу 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-

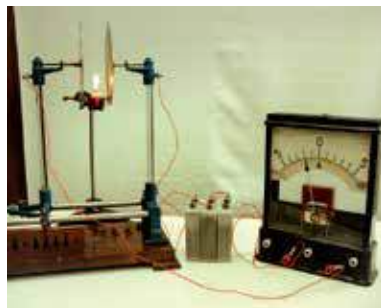


Рис. 151. Струм у газах

Процес проходження електричного струму крізь газ називається газовим розрядом. Несамостійним газовим розрядом називається електропровідність газів, викликана зовнішніми йонізаторами.

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 несамостійного 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 йонізацією газу?
2. Що називається несамостійним газовим розрядом?
3. Яка природа несамостійного газового розряду?
4. Який процес називається рекомбінацією?
- 5*. Поясніть, за яких умов сила струму при несамостійному газовому розряді досягне максимального значення.

§ 46. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ У ГАЗАХ. САМОСТІЙНИЙ ГАЗОВИЙ РОЗРЯД

► 1. Залежність сили струму газового розряду від прикладеної напруги. Щоб установити залежність сили струму від напруги розглянемо такий дослід (рис. 152). 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. 153). 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 154.

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

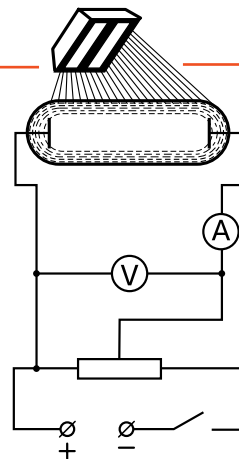


Рис. 152. Дослід, який покаже залежність сили струму від напруги

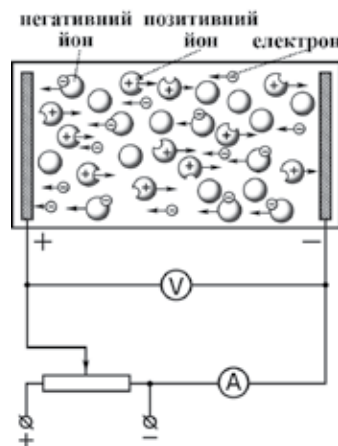


Рис. 153. Позитивно заряджені йони переміщуються до негативного електрода, а негативно заряджені йони та електрони – до позитивного.

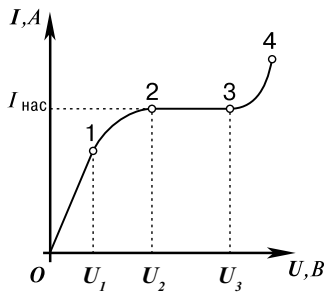


Рис. 154. Графік залежності сили струму газозаряду від прикладеної напруги

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.

газі набуває насичення – $I_{нас}$. – 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-

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. 154).

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. 155).

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 металевої 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. 156).

Він триває короткий інтервал часу. За

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. 155. 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.



Рис. 156. Іскровий заряд



Рис. 157. Коронний розряд



Рис. 158. Дуговий розряд

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. 157).

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. 158). Його можна продемонструвати за допомогою

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 іонів 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.

Іскровий розряд виникає при такій високій напрузі між електродами, коли кількість вільних електронів, які мчать із величезною швидкістю до анода, і позитивно заряджених іонів, які рухаються до катода, наростає, мов лавина. Виникає, так званий, електричний пробій повітряного проміжку.

Розширте науковий кругозір

Плазма.

– **Плазмою** називають стан газу, що має високий ступінь йонізації, за якого концентрація електронів та іонів в газі дуже велика.

Так, **плазмою є стан газу в дуговому, іскровому і тліючому розрядах. В нейтральній плазмі концентрація електронів і позитивних іонів однакові і сумарний об'ємний заряд дорівнює нулю (як і в металах).**

Плазма є особливим станом речовини, який дістав назву четвертого стану речовини (рис. 159).

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. 159. 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. 160).

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 Патонам 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, матеріалів та обладнання; дослідження міцності та несучих властивостей зварних конструкцій і технології їх механізованого виробництва; розробка спец.електрометалургійних 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.



Рис. 160. Утворення електричної дуги

Подумайте і дайте відповідь

1. Який розряд називають несамотійним?
2. Який розряд називають самотійним?
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

Коротким замиканням ділянки кола називають з'єднання її провідником з дуже малим опором, внаслідок чого відбувається різке збільшення сили струму.



Рис. 161. Запобіжник із плавкою вставкою

► 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 161 показано запобіжник із плавкою вставкою, який до цього часу застосовують у квартирній проводці. Голо-

вна його частина – дротина з легкоплавкого 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. 162 зображено зовнішній вигляд такого запобіжника. У разі перевантаження електричне коло розмикається. Ввімкнення кола здійснюється натисненням кнопки.

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. 162. Зовнішній вигляд запобіжника



Рис. 163. Запобіжники, які використовують в радіопристроях

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 електроізольованим інструментом; бути особливо обережним під час роботи у вологих приміщеннях.

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 електроізольованим 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.

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 провoda 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 (рис. 164).

Повітря в каналі блискавки нагрівається до температури понад 10 000 °С і перебуває у стані плазми. Раптова зміна тиску у плазмовому каналі, діаметр якого становить 10 – 20 см, при зміні сили струму і припиненні розряду викликає звукове явище – грім.



Рис. 164. Блискавка

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 своєї 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 виникнення та можливості усунення короткого замикання.
2. Електроосвітлювальні прилади. Принцип дії електроосвітлю-

вальних 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 увімкненні 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 рекомендується 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 єдиною 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? (як дже-

рело струму можна використати акумулятор)

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 із 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 в якості плодів лимона, апельсина, яблука, цибулі, картоплі тощо, в якості найпростіших джерел струму. Встановіть характеристики таких 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 можна зробити для забезпечення більшої потужності природного джерела струму;
- з якою метою можна використовувати джерела струму, одержані з природних елементів.

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. В 0,3 А.
 Б 18 Дж. Г 3,3 А

9. Необхідно виготовити нагрівач потужністю 1200 Вт, опором 24 Ом. На яку напругу він розрахований?

- А 100 В. В 169 В.
 Б 85 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 $\frac{A_2}{A_1} = 0,4$. В $\frac{A_2}{A_1} = 0,25$.
 Б $\frac{A_2}{A_1} = 4$. 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. В Однакова.
 Б До другого більша в 1,4 рази. 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.

- А. 672 Дж. В. 605 Дж.
 Б. 540 Дж. Г. 762 Дж.

ЗАДАЧІ ДО РОЗДІЛУ 6

1. При отриманні алюмінію електролізом розчину Al_2O_3 в розплавленому кріоліті проходив струм $2 \cdot 10^4$ А. Знайти час протягом якого буде виділено 10^3 кг алюмінію. (Відповідь: 149 год).

2. Під час проведення досліду по визначенню електрохімічного еквівалента міді були отримані наступні дані: час проходження струму 20 хв., сила струму 0,5 А, маса катода до досліду 70,4 г, маса після досліду 70,58 г. Яке значення електрохімічного еквівалента було отримано за цими даними? (Відповідь: 0,33 мг/Кл.)

3. При якому струмі відбувається електроліз у розчині мідного купоросу, якщо за 30 хв. на катоді виділилося 5г міді? Електрохімічний еквівалент міді 0,33 мг/Кл. (Відповідь: 8 А).

4. Яку роботу виконує електричний струм за 10 хв під час проходження через алюмінієвий дріт довжиною 2м при силі струму 2А? Площа поперечного перерізу дроту $0,2\text{мм}^2$. (Відповідь: 672 Дж).

5. Транспортёр 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: $\approx 1,3$ 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 А; 96,8 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: ≈ 130 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 4,74 г міді при струмі 2 А. Електрохімічний еквівалент міді 0,33 мг/Кл. (Відповідь: ≈ 7181 секунда ≈ 2 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. В. 3. Г. 4. Б. 5. Г. 6. А. 7. Б. 8. А. 9. Г. 10. А. 11. Г. 12. Б.

Тестові завдання до розділу 5

1. Б. 2. В. 3. А. 4. В. 5. Б. 6. Б. 7. В. 8. В. 9. А. 10. Б. 11. В. 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.

ВІДПОВІДІ ДО ВПРАВ

«РОЗВ'ЯЖІТЬ ЗАДАЧІ ТА ОЦІНІТЬ РЕЗУЛЬТАТИ»

Вправа 2. 1. На явищі дифузії, яка відбувається швидше при високих температурах. 3. Корисні речовини концентруються біля коренів рослин і внаслідок дифузії поширюються вздовж стеблин (стволів). 4. Внаслідок дифузії.

Вправа 3. 1. а) 20 см; б) 10 см. 2. а) 20 см; 1 мм; б) 10 см; 0,5 мм. 3. Швидкість теплового руху молекул повітря зменшилася; збільшилася.

Вправа 4. 1. а) газ; б) рідина; в) тверде тіло. 2. Завдяки упорядкованості частинок кристалу, відстань між ними менша, ніж у аморфних тіл, тому кристалічний стан є стійкішим. 3. 45 кг.

Вправа 5. 1. Якщо скло товсте, то при наливанні окропу внутрішня стінка прогрівається швидше, ніж зовнішня. Тому внутрішня стінка розширюється сильніше, що призводить до деформацій і руйнування. 2. +4 °С. 3. -10 °С; 0 °С; +4 °С. 4. На 3,66 м³.

Вправа 6. 1. Молекули рідких кристалів мають паличкоподібну форму, що і визначає їх взаємне розташування. 2. Нанотехнології дозволяють впорядковувати атоми в новому порядку. 3. 354; 0,98 нм.

Вправа 7. 1. ≈ 580 кДж. 2. Внутрішня енергія тіла збільшиться на 150 Дж. 4. б).

Вправа 8. 1. За рахунок конвекції. Біля стелі завжди тепліше, тому що найбільш прогріті шари повітря піднімаються вгору. 2. Швидше охолоне вода у заварочному чайнику, тому що його випромінювання більше. 3. Грунт має низьку теплопровідність, тому розташування труб на значній глибині захищає воду в них від замерзання. 4. Хутро має малу теплопровідність, тому тепло не витрачається в оточуюче середовище. 5*. Здійснюється лише теплообмін випромінюванням.

Вправа 9. 1. Конвекцію і теплопровідність упереджає безповітряний прошарок між стінками внутрішньої посудини. Теплове випромінювання зменшується за рахунок блискучого металевого шару, яким вкриті внутрішні поверхні цих стінок. **2.** Внаслідок конвекції холодне повітря, яке з них поступає у приміщення, опускається вниз. **3.** Найбільш холодний шар повітря знаходиться біля підлоги.

Вправа 10. 2. Внаслідок малої питомої теплоємності піску він зберігає недостатньо енергії для вирівнювання добових коливань температури. **3.** Вода має високу питому теплоємність, а тому виділяє велику кількість теплоти. Відповідно, й поглинає вона більше енергії, а тому є хорошим охолоджувачем. **4.** На нагрівання води, оскільки у неї більша питома теплоємність. **5.** $5,04 \cdot 10^{10}$ Дж. **6.** Деталь виготовлена зі свинцю.

Вправа 11. 1. Точніше виконав вимірювання той учень, який використовував повністю зібраний калориметр. **2.** ≈ 16 °С. **3.** 34 °С. **4.** 8 кг.

Вправа 12. 1. $3,4 \cdot 10^4$ Дж. **2.** $8,1 \cdot 10^5$ Дж. **3.** $19,1 \cdot 10^5$ Дж. **4.** Температура плавлення більша у тіла І. Горизонтальні ділянки графіків відповідають процесам плавлення тіл при температурі плавлення. **5.** Густина води при замерзанні зменшується, а тому лід залишається на поверхні. **6.** При утворенні снігу (кристалізації) виділяється енергія.

Вправа 13. 1. а) при нагріванні рідини збільшується енергія руху молекул; б) у посудині з вузьким отвором менша площа вільної поверхні рідини, отже, менша кількість молекул, що вилітають. **2.** Тому що в такій каструлі підвищений тиск, а, отже, температура кипіння води є вищою, тому їжа готується швидше. **3.** Можна. **4.** У вітряну погоду швидше відбувається процес випаровування з поверхні мокрої білизни. **5.** В обох випадках зменшується тиск на поверхні води. Тому вода закипить при температурі, значно нижній за 100 °С.

Вправа 14. 1. Під часу дощу пароутворення відбувається за рахунок зменшення внутрішньої енергії повітря. **2.** У субтропічних та тропічних областях Землі густина водяної пари у повітрі більше, що сповільнює випаровування поту, тому людина важче переносить спеку. **3.** $\approx 2 \cdot 10^5$ Дж. **4.** 518,6 кДж. **5.** 32 °С.

Вправа 15. 1. $1,23 \cdot 10^7$ Дж; $4,56 \cdot 10^7$ Дж. **2.*.** $5,91 \cdot 10^7$ Дж. **3.** ≈ 66 кг. **4.** У кисні. **5*.** Чадний газ при попаданні в організм людини блокує процеси транспортування кисню і унеможливорює дихання.

Вправа 16. 1. Це є умовою виконання корисної роботи. **2.** У 2, 5 рази. **3.** $\approx 36\%$. **4*.** 71% . На деревному вугіллі. **5.** 20% . **1,** 67 кДж.

Вправа 17. 2. Тому що виділяється велика кількість теплоти і значно зростає температура. **3.** Не можна, тому що у такому режимі для роботи двигунів не вистачає повітря. **4.** $4,6 \cdot 10^6$ Дж. **5.** 81 кВт.

Вправа 18. 2. ККД зменшується. Збільшується кількість вихлопних газів. **3.** Тому що за рахунок зупинки витрачається більша кількість палива. **4.** $\approx 21\%$. **57,5** кВт.

Вправа 19. 1. Внутрішньою енергією. **2.** Для збільшення кінетичної енергії струмини пари, яка діє на лопатки турбіни. **3.** Кінетична; потенціальна. **4.** $\approx 25\%$. **5*.** ≈ 129 кВт.

Вправа 20. 2. $\approx 1,3$ рази. 3. У 16 разів.

Вправа 21. 3. Внаслідок електризації через тертя. 4. Антистатики утворюють прошарок за рахунок якого зменшується електризація через тертя.

Вправа 22. 3. Не можна; не можна. 4. Не може; може. 5. $N = 625 \cdot 10^{16}$ електронів.

Вправа 23. 1. На противагу планетам: 1) електрони відштовхуються один від одного; 2) маси і заряди електронів рівні. 2. 79 електронів, 79 протонів, 118 нейтронів. 3. На додатній йон Аргентум; $q = +1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. 4. Може; не може. 5. Тіло стало електрично нейтральним; не можна. 6. Негативно. 7. Для того, щоб розрядити корпус літака, який зарядився під час польоту внаслідок електризації.

Вправа 24. 2. Можна; не можна. 3. Тому що метал є провідником. 4. Порівну між кульками. 5. Можна, за рахунок електризації через вилив. 6. В провідниках є вільні електрони, а в діелектриках немає. 7. Тому, що з тіл, які є провідниками, заряди через тіло людини стікають в землю.

Вправа 25. 1. Навколо заряджених тіл існує електричне поле. 2. Будь-якими. 3. Великий пробний заряд викривить силові лінії електричного поля. 4. Не може. 5. В електричному полі виконується робота. 6. В електричному полі, силові лінії якого розташовані менш щільно. 7. 1) в гравітаційному полі між тілами завжди діє сила притягання, а в електричному полі – як сила притягання, так і відштовхування; 2) в гравітаційному полі взаємодіють нейтральні тіла, а в електричному – заряджені. 8. Тому що в кожній точці електричного поля вектор напруженості має певний напрям. 9. Ні. Силова лінія (дотична до неї) визначає напрям вектора напруженості, а траєкторія (дотична до неї) – напрям швидкості руху заряду. 10. $E = 7,5 \cdot 10^4$ Н/Кл. 11. $F = 1,8 \cdot 10^{-3}$ Н.

Вправа 26. 1. Збільшиться в 64 рази. 2. $q_1 = q_2 = 2 \cdot 10^{-5}$ Кл. 3. $q_1 = 1 \cdot 10^{-5}$ Кл; $q_2 = 3 \cdot 10^{-5}$ Кл. 4. $r = 3$ см. 5. $F = 3,3 \cdot 10^8$ Н. 6. $F = 2,3 \cdot 10^{-16}$ Н. 7. $N = 10^{10}$ електронів.

Вправа 27. 1. 840 Кл. 2. 25 А. 3. $2 \cdot 10^{-3}$ А, 0,1 А, 300 А. 4. $5,6 \cdot 10^{20}$ електронів. 5. Включити в коло послідовно із резистором.

Вправа 28. 1. 220 В. 2. $9,2 \cdot 10^{-3}$ Дж.

Вправа 29. 1. 4,4 А. 2. 1 А.

Вправа 30. 1. Збільшиться у 2 рази; зменшиться у 2 рази. 2. Зменшиться у 3 рази. 3. 1 А. 4. $RA = 20$ м; $RB = 40$ м. 5. 11,2 Ом. 6. $\sim 41 \cdot 10^{-8}$ Ом \cdot м.

Вправа 31. 1. 2 А, $R = 2$ Ом.

Вправа 32. 1. 1,2 В; 1,8 В; 3 В. 2. 0,324 А; 4,378 В; 0,972 В; 0,648 В. 3. 2,4 А; 1,2 А; 2 А; 5,6 А; 4,285 Ом.

Вправа 33. 1. $2,9 \cdot 10^{-3}$ Дж. 2. 0,625 Вт. 3. 2,272 А; 96,8 Ом; $9 \cdot 10^5$ Дж. 4. Зросте в $4/3$ рази. 5. $A = 600$ Дж, $P = 1$ Вт.

Вправа 34. 1. 900 кДж. 2. 2,7 МДж.

Вправа 35. 1. 0,0285 кг. 2. 0,4998 А.

ПРЕДМЕТНИЙ ПОКАЖЧИК

- Абсолютна температура 20
Авенаріус Михайло 260
Агрегатний стан 25, 28
Аморфні тіла 29
Ампер Андре Марі 198
Ампер 199
Амперметр 200
Андрес Цельсій 19
Атомне ядро 155
Атом 189
- Бенджамін Франклін 164
Броунівський рух 12,13,14
- Випаровування 89
Внутрішня енергія тіла 52
Вольтметр 192
- Гальванометр 186
Газовий розряд 249, 251
Георг Ріхман 164
Горіння 107,109
- Двигун внутрішнього згоряння 121, 122
Джеймс Уатт 119
Джон Джозеф Томсон 152
Джерело струму 192
Джоуль Джеймс Прескот 238
Дифузія 12
Діелектрики 162, 188
Дуговий розряд 252
- Електрична іскра 148
Електростатика 144
Електризація 145, 157
Електрофорна машина 148
Електроскоп 151
Ернест Резерфорд 155
Електрон 153
Електричне поле 166
- Електрична схема 192
Електричне коло 205
Електропровідність 206
Електронагрівальні прилади 240
Електроліз 242, 244
Енергія 50, 105
- Заряд 144, 146,151
Закон збереження електричного заряду 155
Закон Кулона 174
Закон Джоуля – Ленца 238
Закон Фарадея 244
Запобіжники 256
- Іскровий розряд 251
- Іонізація 250
- Калориметр 75
Кипіння 91
Кількість теплоти 65
Коефіцієнт корисної дії 118
Конвекція 57
Конденсація 90
Коронний розряд 252
Коротке замикання 256
Крутильні терези 174
Кристалізація 83
- Ленц Еміль Християнович 239
- Майкл Фарадей 172, 244
Магнітна дія 185, 187
- Нанотехнології 42
Напівпровідники 162, 188
Напруга 202, 216
- Опір 214, 221, 258
Отто фон Геріке 148

Пароутворення 88
Парова машина 117
Питома теплота 84, 96, 108
Питома теплоємність 66
Плавлення 82
Плазма 253
Полімери 40
Потужність 234
Провідник 162
Пулюй Іван 260

Реостат 212
Рекомбінація 243
Реперні точки 19
Роберт Броун 13
Робота 50, 54, 202
Рідкі кристали 39

Сила струму 198, 205, 207
Струм 184, 189
Смакула Олександр 260

Турбіна 128

Температура 8, 18
Теплові явища 7
Теплові машини 8
Теплова рівновага 9
Теплообмін 10,11, 52, 56
Теплове розширення 33, 35
Теплопровідність 56
Теплове випромінювання 58, 62
Теплоємність 65
Тепловий баланс 72
Тепловий двигун 114, 116
Температурний коефіцієнт опору 214
Тліючий розряд 251
Тяга 110

Уільям Гільберт 145

Фотоелемент 195
Фулерени 43

Шарль Кулон 174
Шкала Цельсія 19

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 *Ірини Білокінь*
Комп'ютерний дизайн малюнків *Тимофія Бусела*
*Ілюстративний матеріал до тексту надано авторами з відкритих
інформаційних джерел*

Підп. до друку 08.06.2016 р. Формат 70х90/16. Гарнітура «School Book». Папір офсетний.
Друк офсетний. Ум. друк. арк. 19,89. Ум. фарбовідб 81,9. Обл.-вид. арк. 21,5.
Тираж 6053 прим. Зам. № 6524.

ВИДАНО ЗА РАХУНОК ДЕРЖАВНИХ КОШТІВ. ПРОДАЖ ЗАБОРОНЕНО.

Видавничо-торгова фірма «Перун». 08200, Київська обл., м. Ірпінь, вул. Київська, 73-а.
Свідоцтво про внесення до державного реєстру: серія ДК № 2650 від 12.10.2006 р.

Віддруковано ТОВ «Поліпрінт».
Україна, 04074, м. Київ, вул. Лугова 1-а.

Видруковано в Україні. Printed in Ukraine.