

Ф. Я. Божинова, М. М. Кірюхін, О. О. Кірюхіна

ФІЗИКА

9

Підручник для загальноосвітніх
навчальних закладів

РЕКОМЕНДОВАНО МІНІСТЕРСТВОМ
ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Харків
ВИДАВНИЦТВО
РАНОК
2009

УДК 371.388:53
ББК 22.3я721
Б76

Підручник виданий за рахунок державних коштів.
Продаж заборонено

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України
(наказ Міністерства освіти і науки України від 02.02.2009 р. № 56)

Відповідальні за підготовку підручника до видання:
О. В. Хоменко, головний спеціаліст МОН України;
І. А. Юрчук, методист вищої категорії
Інституту інноваційних технологій і змісту освіти

Незалежні експерти:

В. Г. Бар'яхтар, директор Інституту магнетизму НАН України, доктор фіз.-мат. наук,
професор, академік НАН України;
І. І. Бродин, доц. кафедри фізики твердого тіла Прикарпатського національного
університету ім. В. Стефаника, канд. фіз.-мат. наук;
М. В. Головкин, заст. директора Інституту педагогіки АПН України, канд. пед. наук;
О. М. Дума, вчитель фізики гімназії № 4 м. Одеси, учитель-методист;
В. М. Карпова, вчитель фізики гімназії № 28 м. Запоріжжя, учитель-методист;
З. Я. Євтушик, методист міського методичного кабінету Ковельського міського
управління освіти;
О. М. Хоренко, методист Київського обласного інституту педагогічної освіти
педагогічних кадрів, учитель-методист

Рецензенти:

С. В. Каплун, зав. кафедри методики природн.-мат. освіти Харківського обласного
науково-методичного інституту безперервної освіти, канд. пед. наук, доцент;
Ю. Є. Крот, професор кафедри фізики Харківського державного технічного
університету будівництва та архітектури, канд. техн. наук;
В. М. Ятвецький, методист Одеського регіонального центру оцінювання якості освіти;
Л. І. Ятвецька, завідувачка науково-методичної лабораторії природничих дисциплін
Одеського обласного інституту вдосконалення вчителів

Божинова Ф. Я.

Б76 Фізика. 9 клас: Підручник для загальноосвіт. навч. закладів /
Ф. Я. Божинова, М. М. Кірюхін, О. О. Кірюхіна. — Х.: Видавництво
«Ранок», 2009. — 224 с.: іл.

ISBN 978-966-672-874-9

Пропонований підручник є складовою частиною навчально-методичного комплексу «Фізика-9», який включає також плани-конспекти всіх уроків, збірник задач, зошит для лабораторних робіт та комплексний зошит для контролю знань.

Основна мета підручника — сприяти формуванню базових фізичних знань, показати їхню необхідність для розуміння навколишнього світу.

УДК 371.388:53
ББК 22.3я721

© Ф. Я. Божинова, М. М. Кірюхін,
О. О. Кірюхіна, 2009
© В. В. Зюзюкін, В. В. Хлистун, іл., 2009
© ТОВ Видавництво «Ранок», 2009

ISBN 978-966-672-874-9

Дорогі друзі!

Ви вивчаєте фізику вже третій рік. Сподіваємося, ви зуміли оцінити достоїнства цієї дивовижної науки про природу, більш того — намагаєтесь, використовуючи набуті знання, усвідомлювати й пояснювати процеси, що відбуваються навколо.

Комусь із вас цікавіше дивитися на світ очима фахівця-оптика, комусь — механіка, комусь — термодинаміка. Проте, навіть досконало володіючи знаннями лише про оптичні, механічні або теплові явища, неможливо зрозуміти, наприклад, принцип роботи ксерокса чи розібратися в електричній схемі найпростішого ліхтарика, а тим більш усвідомити, що саме вимірюють лічильником Вейгера—Мюллера або як працює атомний реактор. Річ у тім, що робота всіх зазначених пристроїв ґрунтується або на законах електромагнетизму, або на законах ядерної фізики. Саме з ними на вас очікує знайомство у курсі фізики 9-го класу.

Із розділу «**Електричне поле**» ви дізнаєтесь про світ нерухомих частинок, що мають електричний заряд. Вивченням таких частинок займається електростатика — наука про властивості та взаємодію нерухомих електричних зарядів.

Напрявлений рух електричних зарядів вивчатиметься в розділі «**Електричний струм**». Ви довідаєтесь, за яких умов електричний струм існує, як він виникає, а головне — де його застосовують.

Розділ «**Магнітні явища**» нерозривно пов'язаний із попереднім, адже магнітні явища є результатом руху заряджених частинок.

У розділі «**Атомне ядро. Ядерна енергетика**» ви почнете знайомство із сильною ядерною взаємодією. Ви «зазирнете» углиб ядра, дізнаєтесь, що таке радіоактивність, коли слід боятися радіоактивного випромінювання, а коли воно є корисним. Ви довідаєтесь, що слугує «паливом» для атомних електростанцій і як вони працюють.

Ясна річ, що без ваших зусиль зрозуміти й полюбити фізику не вийде. Учитися означає учить себе. Учитель і підручник тільки допоможуть вам в одержанні знань: донесуть необхідну інформацію, розшифрують складні поняття, покажуть стежку крізь нетрі фізичних задач. Тому уважно вивчайте зміст кожного параграфа. Зверніть увагу, що параграфи (або пункти в них), позначені зірочкою (*), — для тих, хто прагне дізнатися більше.

Параграфи завершуються рубриками «**Підбиваємо підсумки**», «**Контрольні запитання**», «**Вправа**».



Завдяки рубриці «**Підбиваємо підсумки**» ви маєте можливість ще раз виділити основне у вивченому матеріалі й повторити його.



З'ясувати, як ви зрозуміли вивчене, допоможе рубрика «**Контрольні запитання**». Якщо ви зможете відповісти на всі запитання, то все гаразд, якщо ж на деякі з них ви не знаєте відповіді, знову зверніться до тексту параграфа.



Рубрика «**Вправа**» дозволить вам застосувати отримані знання на практиці. Завдання цієї рубрики під силу кожному, однак доведеться подумати й виявити кмітливість. Завдання, позначені зірочкою (*), — підвищеної складності.



Фізика — наука експериментальна, тому в підручнику на вас очікують **лабораторні роботи** й **експериментальні завдання**. Обов'язково виконуйте їх, і ви почнете краще розуміти та любити фізику.

У ході підготовки до контрольних робіт буде корисною рубрика «**Завдання для самоперевірки**», а рубрика «**Підбиваємо підсумки розділу**» допоможе систематизувати отримані знання й «побачити» весь матеріал розділу в цілому.

Ті ж з вас, хто хоче більше довідатися про розвиток фізичної науки та техніки або планує пов'язати своє майбутнє з фізикою, знайдуть чимало корисного й цікавого у рубриках «**Фізика та техніка в Україні**» і «**Енциклопедична сторінка**».

Кожної подорожі світом фізики, нехай вам щастить!

РОЗДІЛ 1. ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ

§ 1. ЗАРЯД І ЕЛЕКТРОМАГНІТНА ВЗАЄМОДІЯ



З курсу фізики 7-го класу ви, напевне, пам'ятаєте про «таємничу» електромагнітну взаємодію. Таємничу — оскільки тоді було лише зазначено, що ця взаємодія визначає більшість процесів і явищ навколо нас (рис. 1.1). Тепер прийшов час познайомитися з електромагнітними явищами докладніше. Для цього насамперед слід дізнатися, що таке електричний заряд (до речі, властивості та взаємодію нерухомих електричних зарядів вивчає *електростатика* — окремий розділ фізики). Відомо, що гірські інженери та військові називають зарядом вибухівку; інколи слово «заряд» використовують для визначення «запасу почуттів» (заряд бадьорості). А що ж таке заряд у фізиці? Про це ви дізнаєтеся з даного параграфа.



Рис. 1.1. Дія багатьох пристроїв, без яких неможливо уявити життя сучасної людини, заснована на електромагнітній взаємодії

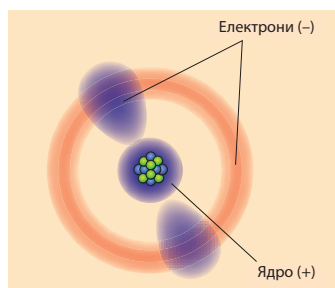


Рис. 1.2. Модель будови атома: електрони ніби «розмазані» по орбіталях — деяких частинах простору, що оточує ядро

1 Знайомимося з електромагнітною взаємодією

Будову атома — елементарного складника будь-якої речовини — ви вже вивчали в курсах природознавства, фізики, хімії*. Отже, згадаємо, що атом будь-якої речовини складається з ядра, навколо якого рухаються електрони. Дещо спрощену будову атома зображено на рис. 1.2. Слід зауважити, що цей рисунок лише приблизно відображає сучасний рівень знань. Проте для курсу фізики 9-го класу подана модель є цілком достатньою.

Електрони в атомі завжди перебувають поблизу ядра. Це означає, що ядро та електрони притягуються одне до одного. Можна було б припустити, що таке притягання обумовлене гравітаційною взаємодією. Але це не так: електрони та ядро занадто легкі, а гравітаційна взаємодія відчутна тільки в тому випадку, коли хоча б одне з тіл, що взаємодіють, має велику масу, наприклад, таку, яку має зоря чи планета. Насправді атом не розпадається завдяки взаємодії іншого типу — вона має назву *електромагнітної*.

Але ж ядро й електрони, з яких складається атом, відкриті порівняно недавно, менш

* У розділі 4 підручника ми повернемося до будови атома, і ви дізнаєтеся, яким чином її вивчали фізики.

ніж 150 років тому. Невже науковці не знали про існування електромагнітної взаємодії раніше? Звичайно ж, знали.

Понад двадцять п'ять сторіч тому грецький філософ *Фалес* із міста Мілета натирав хутром бурштин і спостерігав, як після цього бурштин починав притягувати до себе пір'я птахів, пух, соломинки, сухе листя. Саме від грецької назви бурштину — електрон — процес, у результаті якого тіла набувають властивості притягувати інші тіла, назвали *електризацією тіл*, а тіла, що мають цю властивість, — *наелектризованими*.

З повсякденного життя ми добре знаємо, що після розчісування сухого волосся пластмасовим гребінцем останній набуває властивості притягувати до себе ворсинки, клаптики паперу, волосся. Аналогічної властивості набуває ебонітова паличка в результаті тертя об вовну або паличка з оргскла, якщо її потерти об шовк чи папір (рис. 1.3).

Дехто з вас, імовірно, здивований: чи має відношення взаємодія наелектризованих гребінця, палички чи бурштину і різних дрібних предметів до взаємодії електрона та ядра атома? Виявляється, що в усіх випадках ми маємо справу з електромагнітною взаємодією. Чому так? Давайте розбиратися.

2 Дізнаємося про електричний заряд

Досліди показують, що наелектризовані тіла притягують не тільки ворсинки, соломинки, клаптики паперу, але й металеві предмети, грудочки землі й навіть тоненькі струмені води або масла. Зверніть увагу, що інтенсивність електромагнітної взаємодії, наприклад, наелектризованої палички і води може бути різною: у досліді, зображеному на рис. 1.4, *а*, струмінь води відхилився більше, ніж у досліді, зображеному на рис. 1.4, *б*.

Щоб мати можливість кількісно визначати інтенсивність електромагнітної взаємодії, ввели фізичну величину *електричний заряд*.

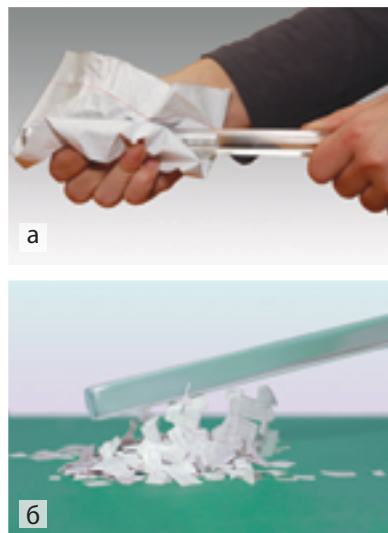


Рис. 1.3. Щоб наелектризувати паличку з оргскла, достатньо потерти її аркушем паперу (*а*). Після не тривалого тертя паличка починає притягувати до себе різні дрібні предмети (*б*)

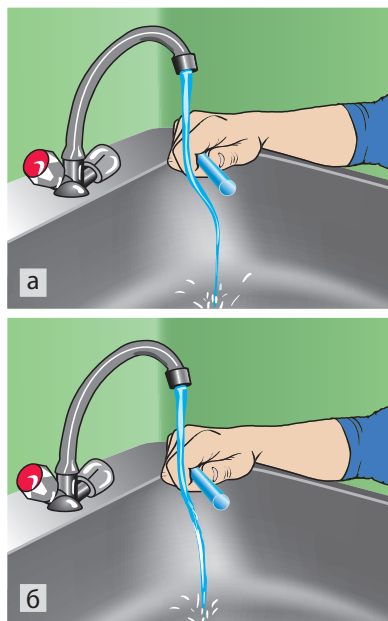


Рис. 1.4. Інтенсивність електромагнітної взаємодії наелектризованої палички та струменя води може бути різною



Рис. 1.5. Шарль Огюстен Кулон (1736–1806) — французький фізик і військовий інженер. У 1785 р. сформулював основний закон електростатики, пізніше названий його ім'ям

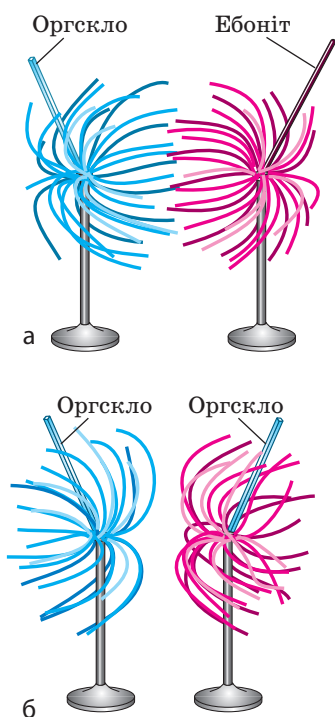


Рис. 1.6. Різнойменно заряджені паперові смужки притягуються (а); однойменно заряджені — відштовхуються (б)

Електричний заряд — це фізична величина, яка характеризує властивість частинок або тіл вступати в електромагнітну взаємодію.

Одиницею електричного заряду в СІ є **кулон** (Кл); вона названа так на честь французького вченого **Ш. Кулона** (рис. 1.5). Ця одиниця є похідною від основних одиниць СІ (визначення кулона буде надано пізніше, у розділі 2 підручника).

Позначають електричний заряд символом q .

Про наелектризоване тіло говорять, що *тілу надано електричний заряд*. Отже, **електризація** — це процес набуття макроскопічними тілами електричного заряду.

3 Вивчаємо основні властивості електричного заряду

1. Існує два роди зарядів — *позитивні та негативні заряди*. Електричний заряд такого роду, як заряд, отриманий на бурштині або ебонітовій паличці, потертих об вовну, прийнято називати негативним, а такого роду, як заряд, отриманий на паличці з оргскла, потертій об папір, — позитивним.

2. Тіла, що мають заряди одного знака, *відштовхуються*; тіла, що мають заряди протилежних знаків, — *притягуються* (рис. 1.6).

3. Носієм електричного заряду є частинка — *електричний заряд не існує окремо від неї*. Тобто під час електризації тіло приймає або віддає деяку кількість частинок, що мають електричний заряд. Одною з частинок, які мають негативний заряд, є *електрон*, а з частинок, що мають позитивний заряд, — *протон* (ця частинка входить до складу атомного ядра). Зазвичай під час електризації тіло приймає або віддає деяку кількість електронів.

4. Електричний заряд є *дискретним, тобто електричні заряди фізичних тіл кратні певному найменшому (елементарному) заряду*. Носієм найменшого негативного заряду є електрон. Цей заряд зазвичай позначають символом e , а значення записують так: $e = -1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Носієм найменшого позитивного заряду є протон, його заряд за модулем дорівнює заряду електрона. Таким

чином, модуль заряду q будь-якого тіла дорівнює: $|q| = N|e|$, де N — ціле число. Отже, мікрочастинок або макроскопічних тіл із зарядом, наприклад, $37,5e$ або $-17,7e$ не існує, оскільки значення цих зарядів не є кратними заряду електрона (протона).

5. *І мікрочастинок, і макроскопічні тіла можуть мати заряд (позитивний або негативний), а можуть бути нейтральними.* Наприклад, нейтральними частинками, заряд яких дорівнює нулю, є *нейтрони* (вони разом із протонами складають ядро атома). До складу атомів входять протони та електрони, які мають заряд, проте самі атоми є нейтральними. Це пов'язане з тим, що в атомі кількість електронів збігається з кількістю протонів. Якщо атом віддає один чи кілька електронів, то він перетворюється на позитивний йон, а якщо приймає — на негативний йон.



Підбиваємо підсумки

Електричний заряд — це фізична величина, що характеризує властивість частинок або тіл вступати в електромагнітну взаємодію. Заряд позначають символом q і вимірюють у кулонах (Кл).

Процес набуття електричного заряду макроскопічними тілами називають електризацією. Під час електризації тіло зазвичай приймає або віддає деяку кількість електронів.

Розрізняють два роди електричних зарядів: позитивні та негативні заряди. Однойменно заряджені тіла (частинки) відштовхуються, а різнойменно заряджені — притягуються.

Електричний заряд є дискретним: існує мінімальний (елементарний) електричний заряд, якому кратні всі електричні заряди тіл і частинок. Електричний заряд не існує окремо від частинки; носієм елементарного негативного заряду є електрон, позитивного — протон.



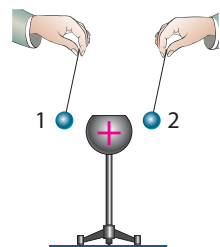
Контрольні запитання

1. Що називають електричним зарядом?
2. Назвіть одиницю електричного заряду.
3. Які роди зарядів існують?
4. Який рід заряду має ебонітова паличка, потерта об вовну? паличка з оргскла, потерта об шовк?
5. Як взаємодіють тіла, що мають заряди одного знака? протилежних знаків?
6. З яких частинок складається атом?
7. Які частинки входять до складу атомного ядра?
8. Яка частинка має найменший негативний заряд? найменший позитивний заряд?
9. Як ви розумієте твердження, що електричний заряд є дискретним?
10. У якому випадку атом перетворюється на позитивний йон? негативний йон?



Вправа № 1

1. На рисунку зображені позитивно заряджена куля й підвішені на нитках кульки, що мають заряди невідомих знаків. Визначте знаки зарядів кульок.
2. На тонкій шовковій нитці висить заряджена паперова кулька. Як, маючи ебонітову паличку та шматок вовни, можна визначити знак електричного заряду кульки?
3. Атом, ядро якого має 12 протонів, утратив 2 електрони. Скільки електронів залишилося?
4. Атом Літію перетворився на позитивний йон Літію. Які зміни відбулися в атомі?





Експериментальне завдання

Складіть план дослідження характеру взаємодії заряджених тіл. Як об'єкти для дослідження візьміть паперову та поліетиленову смужки розміром близько 4×15 см, поліетиленову смужку розміром 2×3 см, підвішену на нитці, пластмасову ручку. Проведіть відповідний експеримент.



ФІЗИКА ТА ТЕХНІКА В УКРАЇНІ

Інститут проблем машинобудування ім. А. М. Підгорного НАН України (Жарків) концентрує свої зусилля на підвищенні ефективності потужного енергетичного устаткування. Досліджуючи процеси роботи, скажімо, турбін, учені знаходять «вузькі місця», що заважають обладнанню ефективно працювати, а потім, базуючись на законах фізики, винаходять засоби вирішення відповідних проблем. Так, у робочому середовищі парових турбін співробітники інституту першими у світі виявили факт наявності електричних зарядів, які негативно впливають на потужність. Скориставшись «*ефектом вістря*» (цей ефект описаний

в Енциклопедичній сторінці до розділу 1 підручника), учені винайшли методи нейтралізації «шкідливих» зарядів. Такі вдосконалені турбіни працюють, наприклад, на Жарківській ТЕЦ-5 і ТЕЦ-2 у селищі Есхар Жарківської області (див. фото).

§ 2. ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ. ВЗАЄМОДІЯ ЗАРЯДЖЕНИХ ТІЛ



Згадайте, як під час розчісування сухе й чисте волосся «тягнеться» за пластмасовим гребінцем. Зрозуміло, що в цьому випадку відбувається електризація тертям: і волосся, і гребінець стають зарядженими. А ось чому волосся навіть на відстані повторює рух гребінця (немов кобра за дудкою індійського факіра), ви дізнаєтеся з цього параграфа.



Спостерігаємо взаємодію заряджених тіл

Із § 1 ви довідалися, що заряджене тіло, наприклад наелектризована паличка, притягує незаряджені клаптики паперу. Якщо ви проводили відповідний експеримент, то, напевне, звернули увагу на те, що клаптики паперу «відчували» наближення палички заздалегідь, іще до того, як паличка їх торкалася. Тобто заряджена паличка діє на інші об'єкти на відстані! З'ясуємо, чому це відбувається.

Нам знадобляться натерта графітом маленька повітряна кулька, підвішена на нитці, ебонітова паличка, шматок вовняної тканини, аркуш паперу та пластина з оргскла.

Наелектризуємо ебонітову паличку, потерши її об вовну. Потім доторкнемося наелектризованою паличкою до підвішеної на нитці кульки. Кулька отримає негативний заряд. Потремо пластину з оргскла папером — пластина набуде позитивного заряду. Почнемо повільно підносити пластину до кульки. У міру її наближення нитка, на якій підвішена куль-

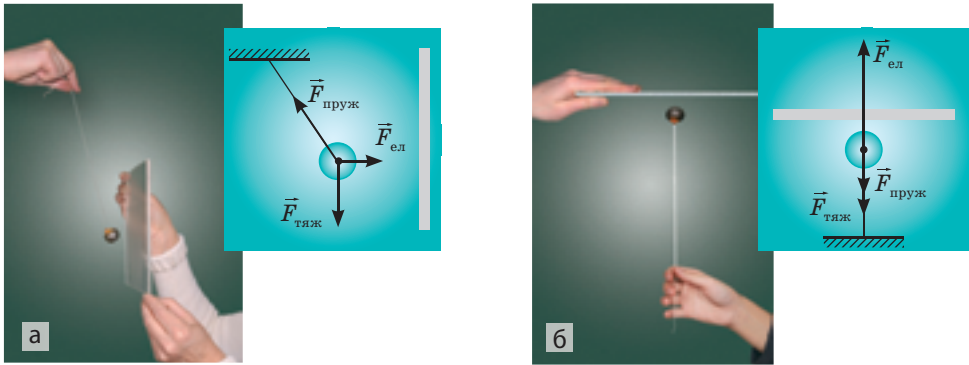


Рис. 2.1. Негативно заряджена кулька притягується до позитивно зарядженої пластини з оргскла. Кулька перебуватиме в спокої, коли сила тяжіння $\vec{F}_{\text{тяж}}$ і сила натягу нитки $\vec{F}_{\text{пруж}}$ будуть скомпенсовані силою $\vec{F}_{\text{ел}}$, що діє на кульку з боку наелектризованої пластини (а, б). Кулька не падає вниз під дією $\vec{F}_{\text{тяж}}$, тому що на неї діє сила $\vec{F}_{\text{ел}}$ (б)

ка, почне відхилятися від вертикалі. Якщо ж зупинити зближування, то кулька так і залишиться неприродно відхиленою (рис. 2.1, а). Понад те, піднявши пластину над кулькою, ми можемо змусити останню завмерти в ще більш не природному для неї положенні (рис. 2.1, б). Що ж відбувається? Чому кулька не повертається у початкове положення? Висновок очевидний: на кульку, крім сили тяжіння та сили натягу нитки, з боку наелектризованої пластини діє третя сила ($F_{\text{ел}}$).

2 Даємо визначення електричного поля

З описаного вище експерименту можна зробити висновок про те, що *наелектризована пластина спричинює певні зміни в просторі навколо себе*. А саме: простір змінюється таким чином, що на заряджену кульку, внесену в нього, починає діяти деяка сила. У цьому випадку кажуть, що *в просторі існує електричне поле*.

Електричне поле — це особлива форма матерії, що існує навколо заряджених тіл або частинок і діє з деякою силою на інші частинки або тіла, які мають електричний заряд.

Таким чином, електрична взаємодія наелектризованої пластини й зарядженої кульки здійснюється за допомогою електричного поля. Коли заряджена кулька потрапляє в електричне поле наелектризованої пластини, це поле починає діяти на кульку з деякою силою, у результаті чого кулька відхиляється.

Слід мати на увазі, що не тільки заряджена пластина своїм електричним полем діє на заряджену кульку, — кулька своїм електричним полем теж діє на пластину. (Спробуйте пояснити, чому пластина при цьому не відхиляється.)

Той факт, що електричне поле діє з деякою силою на заряджені частинки й тіла, учені використали, щоб визначити заряд електрона.



Рис. 2.2. Роберт Ендрус Міллікен (1868–1953) — американський фізик-експериментатор. За точне вимірювання заряду електрона отримав Нобелівську премію (1923 р.)

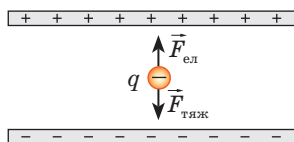


Рис. 2.3. Схема досліду Р. Міллікена з визначення заряду електрона

3 Згадуємо, як було виміряно заряд електрона

Метод, за допомогою якого американський фізик Р. Міллікен (рис. 2.2) визначив заряд електрона, був розроблений ним на початку XX ст. Схему досліду подано на рис. 2.3. У простір між різнойменно зарядженими пластинами, заряд на яких можна було плавно зменшувати або збільшувати, за допомогою спеціального пульверизатора вчений впорскував масло. При впорскуванні утворювалися дуже маленькі краплинки, частина з яких несла негативний заряд. Кожного разу вчений спостерігав за окремою негативно зарядженою краплею. Оскільки краплі дуже маленькі, спостереження велися за допомогою мікроскопа.

На краплю, що потрапила в простір між пластинами, діють дві сили: сила тяжіння $F_{\text{тяж}}$ і сила $F_{\text{ел}}$ з боку електричного поля, створеного зарядженими пластинами; причому сила $F_{\text{ел}}$ напрямлена вгору, а сила $F_{\text{тяж}}$ — униз. Плавно збільшуючи чи зменшуючи заряд пластин, Міллікен домагався зупинки краплі. Зрозуміло, що це відбувалося тоді, коли сила з боку електричного поля пластин зрівнювала силу тяжіння ($F_{\text{ел}} = F_{\text{тяж}}$). Враховуючи рівність сил і те, що сила $F_{\text{ел}}$, яка діє на краплю, пропорційна її заряду, учений обчислював заряд краплі.

Багато разів повторюючи вимірювання (історики стверджують, що досліди тривали майже 4 роки), Міллікен з'ясував, що кожного разу заряд q краплі був кратним деякому найменшому заряду

ду $e = -1,60210 \cdot 10^{-19}$ Кл. Тобто $q = Ne$, де N — ціле число.

Досліджувані краплі масла були заряджені негативно, тобто мали надлишкову кількість електронів. Тому вчений зробив висновок, що найменший заряд є зарядом електрона.

Незалежно від Міллікена такі самі вимірювання проводив російський фізик А. Ф. Йоффе (рис. 2.4), тільки замість крапель масла він використовував металевий пил.

Важливим результатом робіт цих учених є не тільки точне вимірювання заряду електрона, а й доведення дискретної природи електричного заряду.

4 Дізнаємося про вплив електричного поля на організми

Експериментально доведено, що поверхня Землі заряджена негативно, а верхні шари атмосфери — позитивно, отже, в атмосфері Землі існує електричне поле. З розвитком цивілізації це природне поле доповнилось електричними полями, створюваними різними

електротехнічними пристроями, що їх використовує людина.

Сьогодні відомо, що клітини й тканини організму також створюють навколо себе електричні поля. Вимірювання та реєстрацію цих полів широко застосовують для діагностування різних захворювань (електроенцефалографія, електрокардіографія, електроретинографія та ін.).

Отже, ми живемо у справжньому павутинні, зітканому з величезної кількості електричних полів, і довгий час вважалося, що вони не впливають на організми. Проте вплив зовнішнього електричного поля на клітини й тканини організмів, особливо тривалий, призводить до негативних наслідків.

Так, під час роботи комп'ютера на екрані монітора накопичується електричний заряд, який утворює електричне поле. До виникнення електричного поля причетні також клавіатура і комп'ютерна миша, що електризуються від тертя. Під впливом цих електричних полів навіть унаслідок короткочасної роботи в користувача змінюються гормональний стан і біоструми мозку, що спричиняє погіршення пам'яті, підвищену стомлюваність та ін. Ці перші симптоми зі збільшенням тривалості роботи за комп'ютером можуть перетворитися на захворювання нервової, серцево-судинної, імунної та інших систем організму.

Що ж робити? Адже зовсім відмовитися від роботи за комп'ютером, перегляду телевізора, використання будь-якої побутової техніки, яка теж є джерелом електричних полів, дуже важко. Розв'язати проблему можна, послабивши електричне поле, наприклад, шляхом підвищення вологості повітря або застосування антистатиків. Ефективніший, але й дорожчий вихід — штучна йонізація повітря, насичення його легкими негативними йонами. Із цією метою застосовують генератори негативних йонів повітря — їх ще називають йонізаторами повітря (аеройонізаторами).



Підбиваємо підсумки

Якщо в просторі виявляється дія сил на електричні заряди, то кажуть, що в просторі існує електричне поле.

Електричне поле — це особлива форма матерії, яка існує навколо заряджених тіл або частинок і діє з певною силою на інші частинки або тіла, що мають електричний заряд.

Той факт, що електричне поле діє з певною силою на заряджені частинки й тіла, був використаний Р. Міллікеном і А. Ф. Йоффе для визначення заряду електрона ($e = -1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл) і доведення дискретності електричного заряду.



Рис. 2.4. Абрам Федорович Йоффе (1880–1960) — російський, радянський фізик; народився в Україні. Зробив значний внесок у розвиток фізики діелектриків і напівпровідників; ініціював створення фізико-технічних інститутів у Харкові та Дніпропетровську

Від впливу зовнішніх електричних полів залежать загальне самопочуття, увага, працездатність, функціональний стан основних життєзабезпечувальних систем людини.



Контрольні запитання

1. Як експериментально довести, що тіла, які мають електричний заряд, взаємодіють навіть на відстані?
2. Що таке електричне поле?
3. Як дізнатися, що в даній точці простору існує електричне поле?
4. Що вперше виміряв заряд електрона?
5. Опишіть експеримент, який доводить, що електричний заряд є дискретним.
6. Який вплив на організм людини чинять електричні поля, створювані різними електротехнічними пристроями?



Вправа № 2

1. Чи може частинка мати електричний заряд, який дорівнює $8 \cdot 10^{-19}$ Кл? $-2,4 \cdot 10^{-19}$ Кл? $2,4 \cdot 10^{-18}$ Кл? Чому?
2. Якій кількості елементарних зарядів відповідає заряд, що дорівнює 1 Кл?
3. З якою силою взаємодіяли крапелька масла і заряджені пластини в досліді Р. Міллікена, якщо маса крапельки становила 0,3 мг?



Експериментальне завдання

1. Запропонуйте кілька індикаторів електричного поля, випробуйте їх.
2. Приготуйте розпушений шматочок вати діаметром не більше 1 см. Наелектризуйте пластмасову лінійку й помістіть на неї цей шматочок. Різко струснувши лінійку, доможіться, щоб шматочок почав «плавати» над нею в повітрі. Поясніть спостережуване явище. Виконайте рисунок, на якому зазначте сили, що діють на шматочок вати.

§ 3. МЕХАНІЗМ ЕЛЕКТРИЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОСКОП



Рис. 3.1. Вільям Ґільберт (1544–1603) — англійський фізик і лікар, засновник науки про електрику



Вважають, що систематичне вивчення електромагнітних явищ розпочав англійський учений *Вільям Ґільберт* (рис. 3.1). Однак пояснити електризацію тіл змогли більше ніж через три сторіччя — після відкриття електрона. Фізики з'ясували, що частини електронів може порівняно легко відриватися від атома або приєднуватися до нього. Частинку, яка утворюється при цьому, ви добре знаєте з курсу хімії. Це — *йон*. Очевидно, що йон є зарядженою частинкою. А от як відбувається електризація макроскопічних тіл і як відрізняються речовини за електричними властивостями, ви дізнаєтеся з цього параграфа.



Розглядаємо електризацію тертям

Озброївшись знаннями про будову атома, розглянемо процес *електризації тертям*. Візьмемо ебонітову паличку і потremo її об вовну. У цьому випадку, як ви вже знаєте, паличка набуває негативного заряду. З'ясуємо, що спричинило виникнення цього заряду.

Перед натиранням і паличка, і вовна є електрично нейтральними. А от у разі щільного контакту двох тіл, виготовлених із різних матеріалів,

частина електронів переходить з одного тіла на інше. Відстані, на які при цьому переміщуються електрони, не перевищують міжатомних відстаней. Якщо після контакту тіла роз'єднати, то вони виявляться зарядженими: тіло, яке віддало частину своїх електронів, буде заряджене позитивно, а тіло, яке їх одержало, — негативно. Вовна втримує свої електрони менш міцно, ніж ебоніт, тому при контакті електрони в основному переходять з вовни на ебонітову паличку, а не навпаки. Отже, після роз'єднання паличка виявляється негативно зарядженим фізичним тілом, а вовна — позитивно зарядженим. Аналогічного результату можна досягти, якщо розчесати сухе волосся пластмасовим гребінцем (рис. 3.2).

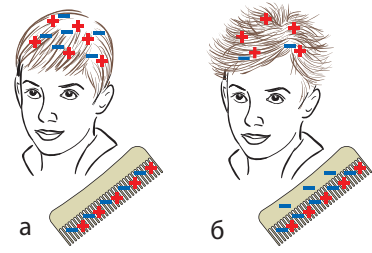


Рис. 3.2. Перед розчісуванням кількість позитивних зарядів на волоссі й гребінці дорівнює кількості негативних (а); під час розчісування частина електронів з волосся перейде на гребінець, у результаті чого волосся зарядиться позитивно, а гребінець — негативно (б)

Слід зазначити, що загальноприйнятий вираз «електризація тертям» є не зовсім точним, правильніше було б говорити про «електризацію дотиком», тому що ми тремо тіла одне об одне тільки для того, щоб збільшити кількість ділянок їхнього щільного контакту.

2 Формулюємо закон збереження електричного заряду

Якщо в досліді, описаному в п. 1 цього параграфа, паличка і вовна перед початком тертя були не заряджені, то після контакту їхні заряди стануть рівними за модулем і протилежними за знаком. Тобто їхній сумарний заряд, як і раніше, дорівнюватиме нулю. У результаті численних дослідів фізики з'ясували, що *під час електризації відбувається перерозподіл наявних електричних зарядів, а не створення нових*. Отже, виконується **закон збереження електричного заряду**:

Повний заряд замкнутої системи тіл або частинок **залишається незмінним** під час усіх взаємодій, які відбуваються в цій системі:

$$q_1 + q_2 + \dots + q_n = \text{const},$$

де q_1, q_2, \dots, q_n — заряди тіл або частинок, що створюють замкнену систему (n — кількість таких тіл або частинок).

При цьому під замкнутою системою розуміють таку систему тіл або частинок, які взаємодіють тільки одне з одним, тобто не взаємодіють з іншими тілами або частинками.

3 Заземлюємо прилади та пристрої. Розрізняємо провідники та діелектрики

Якщо спробувати наелектризувати тертям металевий стрижень, утримуючи його в руці, то виявиться, що це майже неможливо. Річ у тім, що метали — це речовини з безліччю так званих *вільних електронів*,

які легко переміщуються по всьому фізичному тілу. Такі речовини прийнято називати *провідниками*. Спроба наелектризувати тертям металевий стрижень, тримаючи його в руці, приведе до того, що надлишкові електрони дуже швидко «втечуть», а стрижень залишиться незарядженим. «Дорогою для втечі» електронів є сам дослідник, адже вимірювання показали, що тіло людини — це провідник*. Зазвичай «кінцевий пункт» для електронів — Земля, яка також є провідником. Розміри її величезні, тому будь-яке заряджене тіло, якщо його з'єднати провідником із землею, через деякий час стане практично електронейтральним (незарядженим). Тіла, заряджені позитивно, одержать деяку кількість електронів від землі, а з тіл, заряджених негативно, надлишкова кількість електронів піде в землю.

Технічний прийом, що дозволяє розрядити будь-яке заряджене тіло шляхом його з'єднання із Землею, називається *заземленням*.

У деяких випадках, наприклад, щоб надати заряд провіднику або зберегти на ньому заряд, заземлення слід уникати. Для цього використовують тіла, виготовлені з *діелектриків*. У діелектриках (їх ще називають ізоляторами) вільні електрони практично відсутні; щоб електрони залишили атом і стали вільними, їм потрібно надати додаткової енергії. Якщо між землею і зарядженим тілом поставити бар'єр у вигляді ізолятора, то вільні електрони не зможуть покинути провідник (або потрапити на нього) і провідник залишиться зарядженим.

Скло, оргскло, ебоніт, бурштин, гума, папір — діелектрики, тому в дослідах з електростатики їх легко наелектризувати — заряд з них не стікає. (Докладніше про провідники та діелектрики ви дізнаєтеся, вивчаючи розділ 2.)

4 Дізнаємося про електризацію через вплив

Проведемо дослід. Візьмемо негативно заряджену ебонітову паличку й наблизимо її до незарядженої металевої сфери, розташованої на ізольованій підставці. Потім на короткий час торкнемося рукою до частини сфери, віддаленої від зарядженого тіла (рис. 3.3, *а*). Після цього приберемо заряджену паличку. Відхилення позитивно зарядженої легкої кульки покаже, що сфера набула заряду (рис. 3.3, *б*). Зверніть увагу: знак заряду сфери є протилежним до знака заряду ебонітової палички.

Оскільки в цьому випадку не було безпосереднього контакту між зарядженим і незарядженим тілами, описаний процес називають *електризацією через вплив* або *електростатичною індукцією*.

Пояснюється цей вид електризації так. Під дією електричного поля негативно зарядженої палички вільні електрони на металевій сфері перерозподіляються по її поверхні. Оскільки електрони мають негативний заряд, вони відштовхуються від однойменно зарядженої

* Через те що тіло людини є провідником, окремі досліди з електрикою можуть виявитися небезпечними для їх учасників!

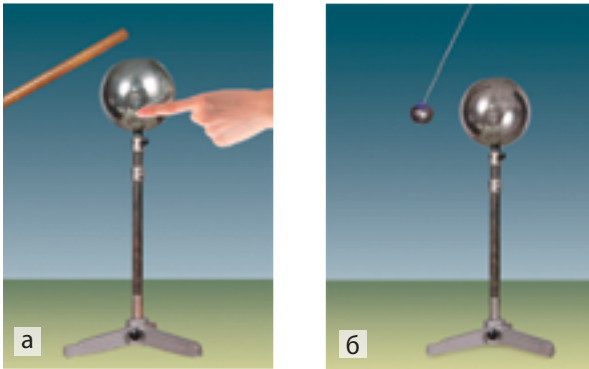


Рис. 3.3. Електризація сфери через вплив (а); індикатором наявності заряду слугує позитивно заряджена повітряна кулька — вона відхиляється від сфери, отже, сфера теж заряджена позитивно (б)

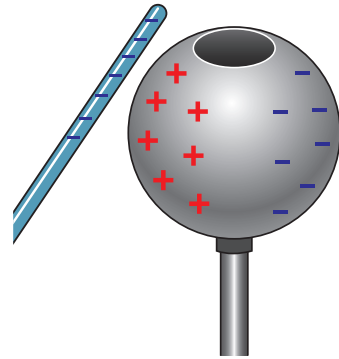


Рис. 3.4. Під дію електричного поля негативно зарядженої палички, поблизу до неї частинка металеві сфери набуває позитивного заряду

палички, і тому їх стає надлишок на дальшій від палички частині сфери і бракує на ближчій (рис. 3.4). Якщо доторкнутися до сфери рукою, то деяка кількість вільних електронів перейде зі сфери на тіло дослідника. Таким чином, на сфері виникає брак електронів, і вона стає позитивно зарядженою.

З'ясувавши механізм електризації через вплив, вам, напевне, неважко буде пояснити, чому незаряджене металеве тіло завжди притягується до тіла, що має електричний заряд.

Складніше пояснити притягання до наелектризованої палички клаптиків паперу. Як відомо, папір є діелектриком, тому на ньому практично немає вільних електронів. Проте електричне поле зарядженої палички діє на зв'язані електрони атомів, із яких складається папір, унаслідок чого змінюється форма електронної хмари — вона стає витягнутою (рис. 3.5). У результаті на ближчій до палички частині клаптика паперу утворюється заряд, який за знаком протилежний заряду палички, і тому папір притягується до палички.

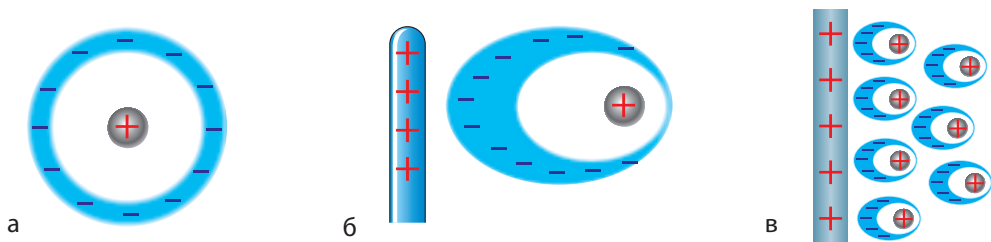


Рис. 3.5. Під дію зовнішнього електричного поля форма електронної хмари змінюється. Форма електронної хмари: при відсутності дії поля (а); за наявності дії поля (б). На частині паперу, ближчій до позитивно зарядженої палички, утворюється негативний заряд (в)

5 Конструюємо електроскоп і знайомимося з електрометром

Дотепер для вивчення електричних явищ ви використовували підручні засоби. Однак ваших знань уже достатньо, щоб зрозуміти принцип дії приладів, які дозволяють вивчати не тільки якісні, але й кількісні характеристики заряджених тіл.

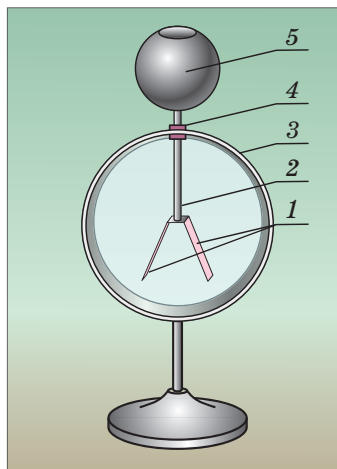


Рис. 3.6. Будова електро-
скопа: 1 — індикатор (папе-
рові смужки); 2 — металевий
стрижень; 3 — корпус; 4 —
діелектрик у місці кріплення
стрижня; 5 — кондуктор

Здавна для визначення наявності у тіла електричного заряду використовують *електроскоп*. Зовнішній вигляд цього приладу подано на рис. 3.6. Пояснимо його будову.

Будь-які електричні явища нерозривно пов'язані з електричним полем. У § 2 йшлося про те, що електричне поле можна виявити за відхиленням легкої зарядженої кульки. Проте кулька — це не дуже зручний індикатор, тому краще використати дві смужки тонкого паперу (1). Після дотику до них зарядженого тіла частина заряду потрапить на кожну смужку. Однойменно заряджені тіла відштовхуються, і тому нижні кінці паперових смужок розійдуться в різні боки.

Щоб зробити прилад якомога чутливішим, для смужок доцільно обрати найтонший папір, але тоді на точність вимірювання можуть вплинути протяги або навіть дихання спостерігача. Для захисту індикатор розташовують у корпусі (3) з прозорими бічними стінками.

А от щоб донести до індикатора заряд, використовують провідники: до одного кінця металевого стрижня (2) прикріплюють індикатор, а другий кінець виводять назовні. Таким чином одержують можливість передавати заряд усередину корпусу. А щоб електричний заряд не стікав зі стрижня на корпус, у місці їхнього стикання встановлюють бар'єр із діелектрика (4).

Нарешті, останній елемент конструкції електроскопа — кондуктор (5) — металева порожниста куля, яка прикріплена до верхнього кінця стрижня.

Отже, якщо до кондуктора електроскопа доторкнутися досліджуваним зарядженим тілом, то частина заряду цього тіла потрапить на паперові смужки і вони розійдуться (рис. 3.7).

Зверніть увагу, що кут між смужками залежить від значення одержаного ними заряду. Цей кут тим більший, чим більший одержаний заряд. Така залежність дозволяє модернізувати електроскоп і пристосувати його не тільки для якісних, але й для кількісних вимірювань. Для цього на передній стінці корпусу розміщують шкалу, яка відбиває величину переданого на електроскоп заряду, а паперові смужки замінюють легкою металевою стрілкою. Такий прилад називають *електрометром* (рис. 3.8).

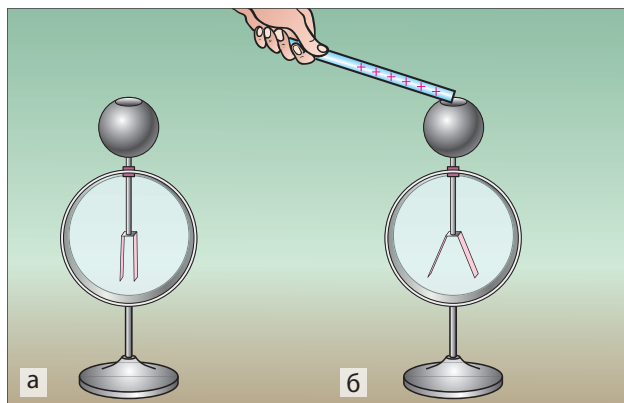


Рис. 3.7. Якщо електроскоп незаряджений, то смужки паперу розташовані вертикально (а); після дотику зарядженого тіла до кондуктора електроскопа смужки розходяться (б)

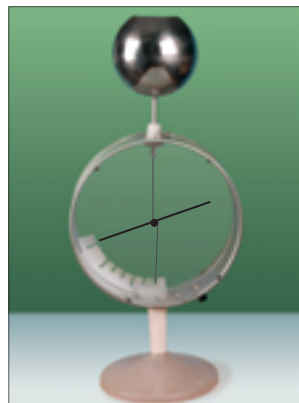


Рис. 3.8. Електрометр

! Підбиваємо підсумки

Якщо тіло, що не має заряду, тобто є електронейтральним, віддає частину своїх електронів, то воно стає зарядженим позитивно, а якщо одержує електрони, то стає зарядженим негативно.

Під час електризації тіл відбувається перерозподіл наявних в них електричних зарядів, а не створення нових. Для ізолюваної системи тіл або частинок виконується закон збереження електричного заряду: повний заряд замкнутої системи тіл або частинок залишається незмінним під час усіх взаємодій, які відбуваються в системі.

За електричними властивостями речовини поділяють на провідники і діелектрики. Технічний прийом, що дозволяє розрядити будь-яке заряджене тіло шляхом його з'єднання за допомогою провідника із землею, називається заземленням.

Електризацію, при якій немає безпосереднього контакту між тілами, називають електризацією через вплив або електростатичною індукцією.

Електроскоп — прилад для виявлення електричного заряду.

? Контрольні запитання

1. Що відбувається під час щільного контакту двох тіл, виготовлених із різних матеріалів?
2. Якщо електронейтральне тіло віддасть частину своїх електронів, заряд якого знака воно матиме?
3. Чому під час тертя ебонітової палички об вовну електризуються обидва тіла?
4. Сформулюйте закон збереження електричного заряду.
5. У чому полягає відмінність провідників і діелектриків?
6. Що називають заземленням?
7. Як можна наелектризувати шматок металу? Яких умов слід дотримуватися?
8. Як за допомогою негативно зарядженого тіла зарядити інше тіло позитивно?
9. Поясніть, чому будь-яке незаряджене тіло завжди притягується до тіла, що має електричний заряд.
10. Для чого застосовують електроскоп? Як він сконструйований і яким є принцип його дії?
11. Чим електрометр відрізняється від електроскопа?



Вправа № 3

1. Чи відрізняється маса незарядженої палички з оргскла від маси тієї самої палички, зарядженої позитивно? Якщо відрізняється, то як?
2. Чи може статися так, що після дотику до кондуктора зарядженого електроскопа якимось тілом електроскоп виявиться незарядженим? Поясніть свою відповідь.
3. Електроскопу передали позитивний заряд (рис. 1, а). Потім до електроскопа піднесли іншу заряджену паличку (рис. 1, б). Визначте знак заряду цієї палички.
4. Поясніть принцип дії побутового засобу, який використовують, щоб запобігти електризації одягу.
5. Дві однакові провідні заряджені кульки торкнулися одна одної і відразу ж розійшлися. Обчисліть заряд кожної кульки після дотику, якщо перед дотиком заряд першої кульки становив $-3 \cdot 10^{-9}$ Кл, другої — $9 \cdot 10^{-9}$ Кл.
6. Машиніст потяга розповідає, що під час перевезення бензину завжди існує небезпека пожежі й тому всі залізничні цистерни оснащені сталевими ланцюгами, нижні кінці яких кількома ланками торкаються землі. Що в розповіді машиніста правдоподібне, а що ні? Обґрунтуйте свою відповідь.
7. Незаряджена гільза з фольги висить на шовковій нитці. До неї наближають заряджену паличку. Опишіть і поясніть подальшу поведінку гільзи.
- 8*. Як за допомогою негативно зарядженої металевої кульки, не зменшуючи її заряду, негативно зарядити іншу таку саму кульку?

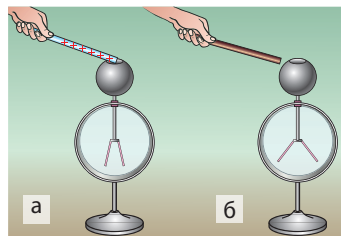


Рис. 1



Експериментальні завдання

1. Зі скляної банки з капроною кришкою виготовте електроскоп (рис. 2). Як стрижень електроскопа можна використати спицю для плетіння, а замість смужок паперу — вузькі смужки фольги. Випробуйте дію виготовленого вами електроскопа.
2. До слабкого струменя води з водопровідного крана піднесіть наелектризовану лінійку (або наелектризований гребінець). Опишіть і поясніть спостережуване явище.



Рис. 2

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1



Тема. Досліджування взаємодії заряджених тіл.

Мета: дослідити характер взаємодії двох заряджених тіл; зарядженого та незарядженого тіл.

Обладнання: дві повітряні кулі, шовкові нитки, дві ебонітові палички, дві палички з оргскла, шматок натурального хутра або вовняної тканини, аркуш, дрібно нарізаний папір, штатив із муфтами та лапками.

ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ



Підготовка до експерименту

1. Перш ніж виконувати роботу, переконайтеся, що ви знаєте відповіді на такі запитання.
 - 1) Що називають електризацією?
 - 2) Заряд із яким знаком має ебонітова паличка, потерта об вовну?
 - 3) Заряд із яким знаком має паличка з оргскла, потерта об папір?
2. Прив'яжіть шовкові нитки до одної палички з оргскла та одної ебонітової палички і закріпіть нитки в лапках штатива.



Експеримент

1. Дослідіть взаємодію заряджених тіл. Для цього виконайте такі дії.
 - 1) Зарядіть обидві ебонітові палички, потерши їх об вовну чи хутро. Повільно піднесіть ебонітову паличку до ебонітової палички, підвешеної на нитці. Опишіть та поясніть спостережуване явище.
 - 2) Зарядіть обидві палички з оргскла, потерши їх об папір. Повільно піднесіть паличку з оргскла до такої ж палички, підвешеної на нитці. Опишіть та поясніть спостережуване явище.
 - 3) Повільно піднесіть до зарядженої палички з оргскла, підвешеної на нитці, заряджену ебонітову паличку. Опишіть та поясніть спостережуване явище.
 - 4) Наелектризуйте надуті повітряні кулі тертям об вовну чи хутро.
 - 5) Візьміть кулі за нитки, розташуйте їх на одному рівні. Повільно піднесіть кулі одна до одної. Опишіть та поясніть спостережуване явище.
2. Дослідіть взаємодію зарядженого і незарядженого тіл. Для цього виконайте такі дії.
 - 1) Піднесіть заряджену повітряну кулю до дрібно нарізаного паперу. Поясніть спостережуване явище.
 - 2) Легенько притисніть до стінки заряджену кулю і відпустіть. Поясніть спостережуване явище.



Аналіз експерименту та його результатів

Проаналізуйте результати експерименту, зробіть висновок про характер взаємодії однойменно та різнойменно заряджених тіл, а також зарядженого та незарядженого тіл.



Творче завдання

Дослідіть залежність сили взаємодії заряджених тіл від модулів їхніх зарядів. Скористайтесь двома невеликими кульками діаметром близько 2 см, виготовленими зі шматочків повітряної кулі й натертими графітовою стружкою до металевого блиску. Запишіть план проведення досліду.

§ 4. ЗАКОН КҰЛОНА



Щоб завести механічний годинник, закручують пружину його механізму; щоб менше трясло в автомобілі, застосовують спеціальні пристрої — торсіони. «Стривайте,— скажете ви,— ми ж вивчаємо електрику, а пружини — це механіка». Не кваптеся робити висновки. Із цього параграфа ви дізнаєтеся, як вивчення пружних властивостей дроту допомогло встановити один із фундаментальних законів електростатики.

**Вводимо поняття точкового заряду**

До кінця XVIII ст. електричні явища вивчалися тільки якісно. Наприклад, електричні машини в основному виконували роль іграшок для розваг аристократії. Перехід до кількісних характеристик, а потім і до практичного застосування електрики став можливим тільки після того, як французький дослідник Ш. Кулон (див. рис. 1.5) у 1785 р. встановив *закон взаємодії точкових зарядів*. Після встановлення цього закону вчення про електрику перетворилося на точну науку.

До того як вивчати сам закон, слід розібратися з терміном «точковий заряд». Скористаємося аналогією з механікою, адже поняття «точковий заряд» подібне до поняття «матеріальна точка». Згадайте торішній курс фізики. Наприклад, потяг «Київ–Львів» можна розглядати як матеріальну точку, якщо будувати графік його руху на маршруті між двома містами. А от мураху не можна розглядати як матеріальну точку, якщо, припустимо, розв'язувати задачу про траєкторію руху її передньої лапки.

За аналогією з матеріальною точкою *точковим зарядом називають заряджене тіло, розмірами якого можна знехтувати порівняно з відстанями від нього до інших заряджених тіл, що розглядаються*.

Виходячи з цього визначення у досліді Р. Міллікена (див. п. 3 § 2) крапельку масла можна розглядати як точковий заряд, а от заряджені пластини — не можна.

Таким чином, точковий заряд, так само як матеріальна точка і точкове джерело світла, є не реальним об'єктом, а фізичною моделлю. Необхідність уведення такої моделі спричинена тим, що в загальному випадку взаємодія заряджених тіл залежить від багатьох чинників, отже, не існує єдиної простої формули, яка описує електричну взаємодію для будь-якого довільного випадку.

**Знайомимося з будовою крутильних терезів**

Військовий інженер Ш. Кулон почав проводити свої дослідження в галузі, вельми далекій від електростатики. Він виявляв закономірності пружного крутіння ниток і встановив залежність сили пружності від кута закручування. Отримані дані дозволили Кулону сконструювати надзвичайно чутливий прилад, який він назвав *крутильними терезами* (їхню будову подано на рис. 4.1, а).

Саме крутильні терези учений пізніше використав для вимірювання сили взаємодії точкових зарядів.

3* Дізнаємося, від чого залежить сила взаємодії двох точкових зарядів

У своїх дослідях Кулон спостерігав взаємодію заряджених кульок. Умови дослідів дозволяли вважати ці кульки точковими зарядами. Досліди вчений проводив так. У скляний циліндр на спеціальному тримачі було поміщено заряджену кульку *C* (рис. 4.1, *б*). Обертаючи верхню кришку циліндра, дослідник домагався, щоб кульки *A* і *C* доторкнулись і частина заряду з кульки *C* перейшла на кульку *A*. Однойменні заряди відштовхуються, тому кульки розходились на деяку відстань. За кутом закручування дроту Кулон визначав силу взаємодії зарядів.

Потім, обертаючи верхню кришку циліндра, дослідник змінював відстань між кульками *A* і *C* та знову визначав силу їхньої взаємодії. Виявилось, що при зменшенні відстані у два, три, чотири рази сила взаємодії кульок збільшувалася відповідно в чотири, дев'ять і шістнадцять разів.

Провівши чимало подібних дослідів, Кулон зробив висновок, що *сила F взаємодії двох точкових зарядів обернено пропорційна квадрату відстані R між ними:*

$$F \sim \frac{1}{R^2}.$$

А як залежить сила F від значення самих зарядів? На той час не існувало методу для вимірювання заряду, і Кулон застосував такий прийом. Спочатку вчений вимірював силу взаємодії двох однакових кульок — *A* і *C*, кожна з яких мала певний заряд q . Потім на мить торкався однієї з цих кульок, наприклад, кульки *C*, кулькою *D* — такою самою, як кульки *A* і *C*, тільки незарядженою. Розміри кульок були однаковими, тому заряд розподілявся між кульками *C* і *D*

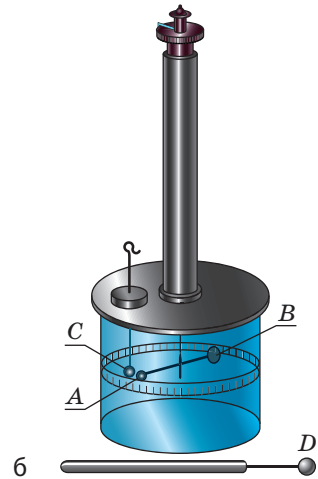
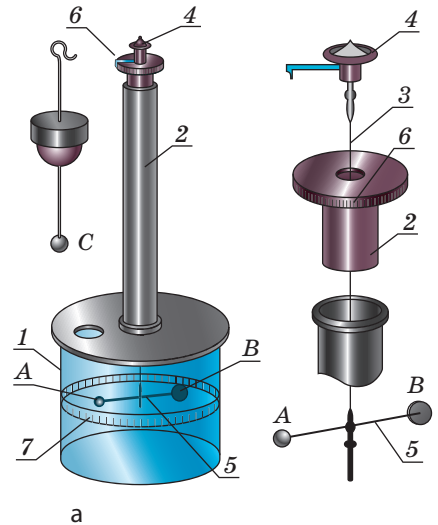


Рис. 4.1. *а* — будова крутильних терезів. Прилад змонтований у скляному циліндрі (1). До верхньої кришки циліндра прикріплена трубка (2), усередині якої розташований пружний дріт (3), прикріплений до головки (4), що обертається. До нижнього кінця дроту підвішене коромисло (5), на кінцях якого розміщують досліджуваний об'єкт (кулька *A*) і противагу (*B*). Крізь отвір у кришці опускають кульку *C*. Кути закручування визначають за допомогою двох шкал із градусними поділками: перша (6) — на верхній кришці, що обертається, друга (7) — на бічній поверхні скляного циліндра; *б* — крутильні терези під час дослідів Кулона

порівну. Отже, на кульці C залишався заряд $\frac{q}{2}$. Після цього Кулон вимірював силу взаємодії зарядів q і $\frac{q}{2}$.

Аналогічно роблячи й далі, учений переконався, що сила F взаємодії двох точкових зарядів q_1 і q_2 пропорційна добутку цих зарядів:

$$F \sim q_1 q_2.$$

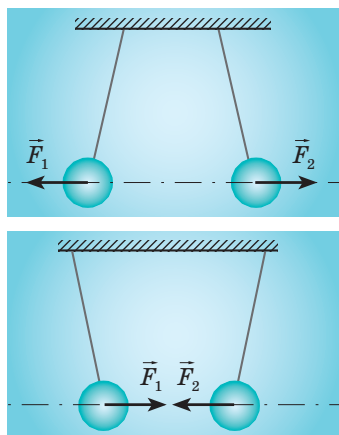


Рис. 4.2. Сили електричної взаємодії (\vec{F}_1 і \vec{F}_2) напрямлені вздовж умовної прямої, що з'єднує точкові заряди

4 Формулюємо закон Кулона

На підставі проведених дослідів Кулон установив закон, що згодом отримав його ім'я — **закон Кулона**:

Сила F взаємодії двох нерухомих точкових зарядів q_1 і q_2 прямо пропорційна добутку модулів цих зарядів і обернено пропорційна квадрату відстані R між ними:

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

де k — коефіцієнт пропорційності. Якщо $q_1 = q_2 = 1$ Кл, а $R = 1$ м, то $\{F\} = \{k\}$. Тобто *коефіцієнт пропорційності чисельно дорівнює силі, з якою взаємодіють два точкові заряди по 1 Кл кожний, розташовані у вакуумі* на відстані 1 м один від одного*. Було встановлено, що при взаємодії точкових зарядів у вакуумі $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2}$.

Зверніть увагу, що в законі Кулона йдеться про добуток модулів зарядів, оскільки знаки зарядів впливають лише на напрямок сили.

Сили, з якими взаємодіють два точкові заряди, ще називають **силами Кулона**.

Сили Кулона напрямлені вздовж умовної прямої, яка з'єднує точкові заряди, що взаємодіють (рис. 4.2).

Маючи кількісне значення коефіцієнта k , можемо оцінити силу, з якою два заряди по 1 Кл кожний взаємодіють на відстані 1 м. Це дуже велика сила! Вона дорівнює, наприклад, силі тяжіння, що діє на великий корабель (рис. 4.3).



Рис. 4.3. Якби на днищі судна й на відстані 1 м під його днищем можна було розмістити однойменні заряди по 1 Кл кожний, то вдалося б перебороти сили земного тяжіння й без жодних спеціальних пристроїв підняти судно

* У багатьох середовищах ця сила буде значно меншою, ніж у вакуумі. Порівняно з вакуумом у повітрі вона зменшується незначно.

5 **✎** **чимось розв'язувати задачі**

Задача. Дві невеличкі негативно заряджені кульки розташовані в повітрі на відстані 30 см одна від одної. Сила їхньої взаємодії дорівнює 0,32 Н. Обчисліть кількість надлишкових електронів на другій кульці, якщо заряд першої кульки $4 \cdot 10^{-6}$ Кл. Кульки вважати точковими зарядами.

Дано:

$$R = 0,3 \text{ м}$$

$$F = 0,32 \text{ Н}$$

$$q_1 = 4 \cdot 10^{-6} \text{ Кл}$$

$$e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

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

 N_2 — ?*Аналіз фізичної проблеми*

Щоб визначити кількість надлишкових електронів, згадаємо, що електричний заряд є дискретним: $|q| = N|e|$, де N — кількість надлишкових електронів, а $e = -1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл.

Для визначення заряду q скористаємося законом Кулона.

Пошук математичної моделі, розв'язання

$$F = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{R^2}. \text{ Отже, } |q_2| = \frac{FR^2}{k|q_1|} \quad (1).$$

$$\text{Оскільки } |q_2| = N_2|e|, \text{ то } N_2 = \frac{|q_2|}{|e|} \quad (2).$$

Після підстановки (2) в (1) маємо:

$$N_2 = \frac{FR^2}{k|q_1| \cdot |e|}.$$

Визначимо значення шуканої величини:

$$[N_2] = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\frac{\text{Н} \cdot \text{м}^2}{\text{Кл}^2} \cdot \text{Кл} \cdot \text{Кл}} = 1;$$

$$\{N_2\} = \frac{0,32 \cdot 0,09}{9 \cdot 10^9 \cdot 4 \cdot 10^{-6} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19}} = 5 \cdot 10^{12}.$$

Відповідь: на другій кульці $5 \cdot 10^{12}$ надлишкових електронів.

! **Підбиваємо підсумки**

Точковим зарядом називають заряджене тіло, розмірами якого можна знехтувати порівняно з відстанями від нього до інших заряджених тіл, що розглядаються.

Для двох нерухомих точкових зарядів виконується закон Кулона: сила взаємодії двох нерухомих точкових зарядів прямо пропорційна добутку модулів цих зарядів і обернено пропорційна квадрату відстані між ними.

III. Кулон вимірював силу взаємодії точкових зарядів за допомогою спеціально сконструйованих крутильних терезів.



Контрольні запитання

1. Який заряд називається точковим? Порівняйте поняття «точковий заряд» і «матеріальна точка». 2*. Опишіть будову та принцип дії крутильних терезів. 3*. Як ϵ . Кулон довів, що сила взаємодії двох точкових зарядів обернено пропорційна квадрату відстані між ними? 4*. Опишіть прийом, який застосував ϵ . Кулон, щоб з'ясувати залежність сили взаємодії двох точкових зарядів від значення модулів зарядів. 5. Сформулюйте закон Кулона. 6. Чому, формулюючи закон Кулона, слід обов'язково користуватися поняттям «точковий заряд»?



Вправа № 4

(і д час ро в'я вання адач і ї вправи вважаайте, ϵ о ма те справ нер ϵ омими точковими арядами.)

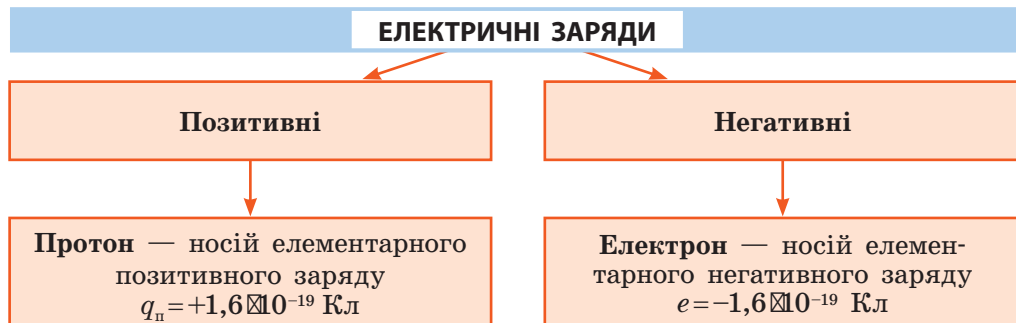
1. З якою силою взаємодіятимуть два заряди по $1 \cdot 10^{-4}$ Кл кожний, якщо їх розташувати у вакуумі на відстані 1 м один від одного?
2. Як зміниться сила взаємодії двох зарядів, якщо збільшити кожний із них у 2 рази, а відстань між ними — у 4 рази?
3. Як змінилася відстань між двома зарядами, якщо відомо, що сила їхньої взаємодії збільшилася в 9 разів?
4. Дві кульки, розташовані на відстані 10 см одна від одної, мають однакові негативні заряди. Визначте силу взаємодії кульок, якщо відомо, що на кожній із них є $1 \cdot 10^{11}$ надлишкових електронів.
- 5*. Дві однакові металеві кульки заряджені так, що заряд однієї з них у 5 разів більший, ніж заряд другої. Кульки змусили доторкнутись одну до одної й розвели на початкову відстань. У скільки разів змінилася сила взаємодії кульок, якщо вони були заряджені однойменно? різнойменно?

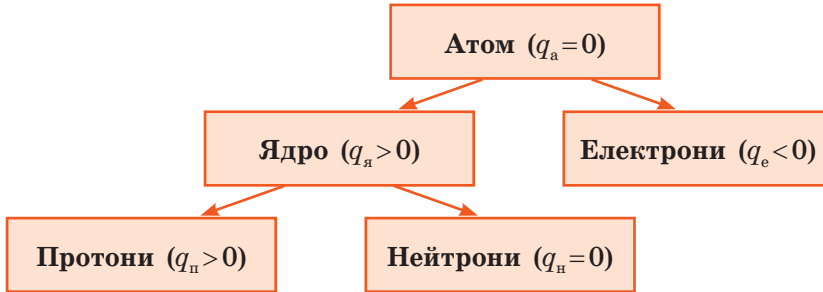
ПІДБИВАЄМО ПІДСМІМКИ РОЗДІЛУ 1 «ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ»

1. У розділі 1 ви познайомилися з новою фізичною величиною — *електричним зарядом*.

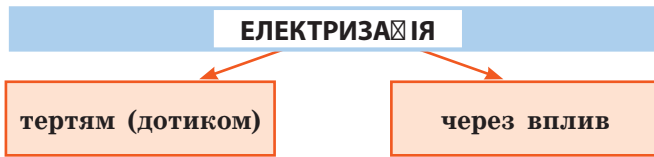
ЕЛЕКТРИЧНИЙ ЗАРЯД — це фізична величина, що характеризує властивість частинок або тіл вступати в електромагнітну взаємодію

2. Ви дізналися, що існує *два роди електричних зарядів*.

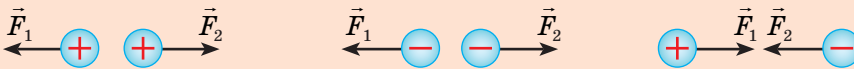


3. Ви згадали *будову атома*.

Якщо атом віддає один або декілька електронів, він перетворюється на *позитивний йон*, а якщо отримує — на *негативний йон*.

4. Ви з'ясували, що *процес набуття заряду макроскопічними тілами називають електризацією*. Під час електризації тіло завжди одержує чи віддає певну кількість електронів.5. Ви дізналися, що *будь-який наелектризований об'єкт є джерелом електричного поля*.

ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ — це особлива форма матерії, що існує навколо заряджених тіл або частинок і діє з деякою силою на інші частинки або тіла, які мають електричний заряд

6. Ви довели, що *взаємодія наелектризованих тіл здійснюється через електричне поле*.7. Ви вивчили *основні закони електростатики*.

ОСНОВНІ ЗАКони ЕЛЕКТРОСТАТИКИ

Закон Кулона

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

якщо заряди нерухомі точкові

Закон збереження заряду

$$q_1 + q_1 + \dots + q_1 = \text{const},$$

якщо система замкнена

**ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ ЗА РОЗДІЛОМ 1
«ЕЛЕКТРИЧНЕ ПОЛЕ»**

1. (1 бал) Які частинки, що входять до складу атомного ядра, мають позитивний заряд?
а) тільки протони;
б) тільки електрони;
в) тільки нейтрони;
г) протони й нейтрони.
2. (1 бал) У якому випадку нейтральний атом перетворюється на позитивний йон?
а) якщо атом втрачає один або кілька протонів;
б) приєднує один або кілька нейтронів;
в) приєднує один або кілька електронів;
г) втрачає один або кілька електронів.
3. (1 бал) На рис. 1–3 зображено три пари легких кульок, підвішених на шовкових нитках. На якому з рисунків зображено кульки, заряджені однойменними зарядами?
а) 1; **б)** 2; **в)** 3; **г)** такого рисунка немає.

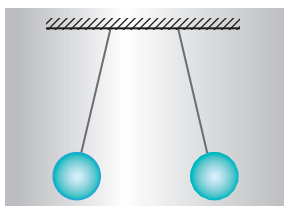


Рис. 1

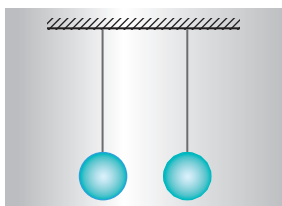


Рис. 2

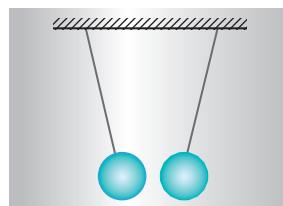


Рис. 3

4. (1 бал) У ядрі атома Літію втримується 7 частинок, навколо ядра рухаються 3 електрони. Скільки в ядрі цього атома протонів і нейтронів?
а) 3 протони та 4 нейтрони;
б) 4 протони та 3 нейтрони;
в) тільки 7 протонів;
г) тільки 7 нейтронів.
5. (1 бал) Ебонітова паличка, потерта об натуральне хутро, заряджається негативно й починає притягувати легкі клаптики паперу. Чим це пояснюється?
а) клаптики паперу заряджаються негативно;
б) клаптики паперу заряджаються позитивно;
в) під дією електричного поля на ближчих до палички частинах клаптиків паперу утворюється позитивний заряд;

- г) під дією електричного поля на ближчих до палички частинах клаптиків паперу утворюється негативний заряд.
6. (2 бали) Чому дрібні крапельки одеколону, який розприскується пульверизатором, виявляються наелектризованими?
 7. (2 бали) Чому розряджається електроскоп, якщо доторкнутися рукою до його кондуктора?
 8. (2 бали) Чи можна під час електризації тертям зарядити тільки одне зі стичних тіл? Відповідь обґрунтуйте.
 9. (2 бали) На тонких шовкових нитках підвішені дві однакові легенькі паперові гільзи. Одна з них заряджена, а друга — ні. Як визначити, яка з гільз є зарядженою?
 10. (2 бали) Як за допомогою позитивно зарядженої металевої кульки зарядити негативно таку саму кульку, не збільшуючи та не зменшуючи заряду першої кульки?

(У завданнях 11–15 електричні заряди вважати нерухомими точковими.)

11. (3 бали) При зміні відстані між двома електричними зарядами сила їхньої взаємодії зменшилася в 16 разів. Як змінилася відстань між зарядами?
12. (3 бали) Як зміниться сила взаємодії двох електричних зарядів при збільшенні модуля кожного з них у 3 рази?
13. (4 бали) Дві позитивно заряджені кульки взаємодіють у вакуумі із силою 0,1 Н. Відстань між ними дорівнює 6 см. Заряд одної з кульок становить $2 \cdot 10^{-5}$ Кл. Обчисліть заряд іншої.
14. (5 балів) Два негативно заряджених тіла відштовхуються із силою 0,9 Н. Відстань між тілами дорівнює 8 см. Визначте кількість надлишкових електронів в одному з тіл, якщо заряд іншого становить -4 мкКл.
15. (6 балів) Кульку, що є провідником і несе заряд $1,8 \cdot 10^{-8}$ Кл, одночасно привели у дотик з двома такими самими кульками, одна з яких має заряд $-0,3 \cdot 10^{-8}$ Кл, а друга є незарядженою. Обчисліть заряд кожної кульки після дотику. З якою силою взаємодіятимуть після дотику дві з цих кульок на відстані 5 см одна від одної?

Звірте ваші відповіді на завдання з наведеними в кінці підручника. Позначте завдання, які ви виконали правильно, і полічіть суму балів. Потім цю суму розділіть на три. Одержане число відповідатиме рівню ваших навчальних досягнень.

ВІД «КОЛЕСА ФРАНКЛІНА» ДО ПЛОСКИХ ЕКРАНІВ

Вивчивши розділ 1 підручника, ви дізналися, що електричне поле, яке існує навколо будь-якого зарядженого тіла, залежить від значення заряду цього тіла та відстані до нього. Крім того, детальними дослідженнями було встановлено, що електричне поле залежить ще й від форми тіла. Наприклад, при однакових зарядах голки та кондуктора електроскопа електричне поле поблизу кінця голки є в мільйони разів сильнішим, ніж поле поблизу кондуктора. Поле може бути настільки сильним, що під його дією вістря почне випускати електрони і ті з великою швидкістю летітимуть геть від вістря,— створиться так званий «*електричний вітер*». Такий «вітер» у змозі обертати легеньку металеву вертушку — «*колесо Франкліна*» (рис. 1). Ця проста іграшка була винайдена ще у XVIII ст. американським ученим Бенджаміном Франкліном (1706–1790) та дозволила йому запропонувати спосіб захисту від руйнівного впливу блискавки (про це йтиметься в розділі 2 підручника).

Зрозуміло, що застосування *автоелектронної емісії* — явища випускання електронів провідними твердими речовинами та рідинами під дією сильного електричного поля — не обмежується «колесом Франкліна» та блискавковідводом. Сучасні вчені знайшли інші сфери використання цього явища.

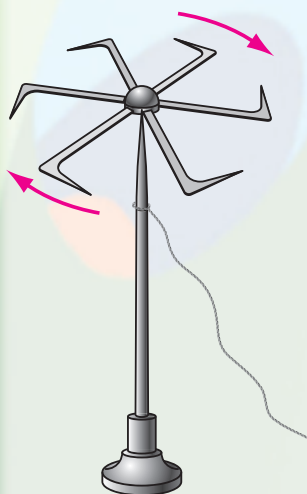


Рис. 1. «Колесо Франкліна». «Електричний вітер» від зарядженого вістря голки може навіть обертати легку вертушку

Електрони, які вилетіли з вістря голки, відштовхуватимуться один від одного і, якщо не застосовувати спеціальні засоби, рухатимуться у вигляді розбіжного пучка (конуса). Так, електрони, що вилітають з ділянки, розмір якої менше за мікромметр, подолавши певну дистанцію, являють собою пучок діаметром кілька сантиметрів. І кожний електрон пучка несе певну інформацію про поверхню вістря. Якщо, наприклад, на частині поверхні є оксидна плівка, то виліт електронів з цієї ділянки буде утрудненим. У той же час ділянка чистого металу емітує більшу кількість електронів. Якщо на шляху електронів поставити екран, що світиться в разі попадання в нього електронів, неоднорідне світіння екрана проінформує дослідника про те, який саме має вигляд мікроструктура матеріалу на поверхні вістря. Тож вістря голки «колеса Франкліна» в сучасних умовах може перетворюватися на своєрідне «збільшувальне скло». Наведений метод вивчення мікроструктури поверхні тіла одержав назву «*автоелектронна мікроскопія*».

Рис. 2. Мікрофотографія поверхні металу, отримана за допомогою автоелектронної мікроскопії

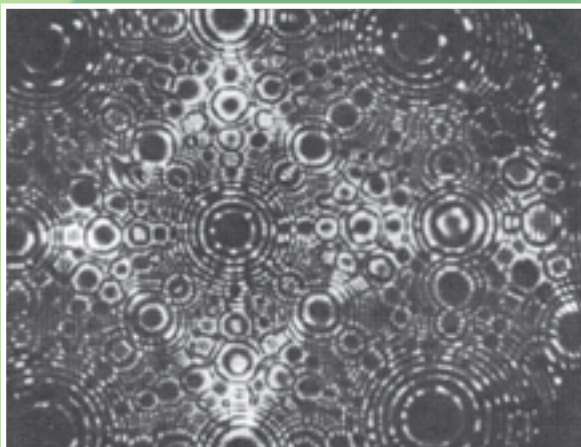


Рис. 3. Зовнішній вигляд FED-дисплеїв, дія яких ґрунтується на явищі автоелектронної емісії

Він дозволяє одержати інформацію не лише про частини поверхні вістря, але й про окремі атоми (рис. 2).

Явище автоелектронної емісії застосовують також у джерелах струму для вакуумних приладів, зокрема для прискорювачів заряджених частинок (див. розділ 4 підручника).

Використовуючи явище автоелектронної емісії, сучасні інженери створили новий тип плоских екранів. У англійській літературі автоелектронна емісія — *field emission*, відповідно плоскі екрани одержали назву «*field emission display*»; скорочено українською — «*FED-дисплеї*» (рис. 3).

Практично в кожній оселі є телевізори з електронно-променевою трубкою — кінескопом. Принципи, застосовувані у FED-дисплеях, у певному розумінні схожі на ті, що використовують для одержання зображення в кінескопа. У звичайному телевізорі потік електронів із так званої електронної пушки кінескопа послідовно сканує весь великий екран. На відміну від «великого» кінескопа, що має тільки одне джерело електронів, FED-дисплей передбачає наявність великої кількості малих «кінескопчиків», кожний із яких складається з випромінювача та розташованого навпроти нього маленького «персонального» екрана. У таких «кінескопчиках» відхиляти потік електронів на велику відстань не треба, тому товщина FED-дисплеїв становить усього кілька міліметрів.

РОЗДІЛ 2. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ

§ 5. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ.

ЕЛЕКТРИЧНА ПРОВІДНІСТЬ МАТЕРІАЛІВ



Напевне, багато школярів на запитання «Що б ви взяли із собою на безлюдний острів?» швидко дадуть відповідь: «Мобільний телефон і комп'ютер»,— проте через деякий час, звичайно, збагнуть: «Ой, там же немає електрики!..»

Важко уявити, що ще сто років тому більша частина нашої країни була подібна до такого острова: електрикою могли скористатися лише деякі люди. Сьогодні ж кожен назве не менш ніж десять електричних побутових приладів, без яких нам уже складно уявити своє життя: пральна машина, лампа, телевізор тощо. Ці прилади називають електричними, тому що для їхньої роботи необхідний електричний струм. З матеріалу цього параграфа ви дізнаєтеся, що таке електричний струм.



Вводимо визначення електричного струму

Проведемо простий дослід. Поставимо на столі два електрометри (А і В) та зарядимо один із них, наприклад, електрометр А. Стрілка електрометра А відхилиться (рис. 5.1, а). З'єднаємо кондуктори електрометрів металевим стрижнем, закріпленим на пластмасовій ручці. За зміною кута відхилення стрілок визначимо, що заряд електрометра А зменшився, а незаряджений електрометр В отримав заряд (рис. 5.1, б). Це означає, що частина електричного заряду за рахунок переміщення частинок, які мають електричний заряд*, перейшла по стрижню від одного приладу до іншого. У цьому випадку кажуть, що по стрижню пройшов електричний струм.

Електричний струм — це процес напрямленого руху заряджених частинок.

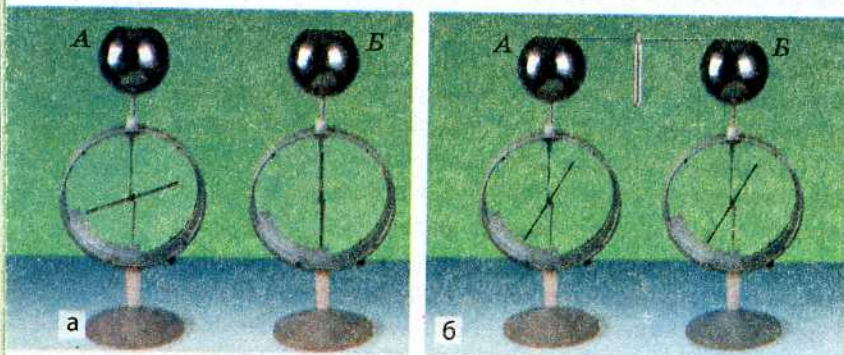


Рис. 5.1. Якщо заряджений електрометр з'єднати з незарядженим за допомогою провідника, частина заряду перейде на незаряджений електрометр

* Надалі частинки, що мають електричний заряд, називатимемо *зарядженими частинками*.

2 З'ясовуємо умови виникнення та існування електричного струму

З огляду на визначення електричного струму можна сформулювати першу з двох необхідних умов його виникнення та існування в будь-якому середовищі. Очевидно, що в середовищі повинні бути вільні заряджені частинки, які можуть переміщатися по всьому середовищу (такі частинки ще називають носіями струму).

Однак цієї умови недостатньо для того, щоб у середовищі виник і протягом певного часу існував електричний струм. Зазвичай для створення та підтримання напрямленого руху вільних заряджених частинок необхідна наявність електричного поля. Справді, під дією електричного поля рух заряджених частинок, які можуть вільно переміщатися в середовищі, набуде впорядкованого (направленого) характеру, що й означатиме появу в цьому середовищі електричного струму.

3 Учимося розрізняти провідники, діелектрики та напівпровідники

Знаючи умови виникнення та існування електричного струму, неважко здогадатися, що здатність проводити електричний струм, або, як кажуть фізики, *електрична провідність*, у різних речовин є різною. Залежно від цієї здатності всі речовини й матеріали прийнято поділяти на *провідники*, *діелектрики* (ізолятори) і *напівпровідники*.

Провідниками називають речовини й матеріали, що добре проводять електричний струм.

Провідниками є метали, водні розчини солей (наприклад, кухонної), кислот і лугів. Волога земля, тіло людини або тварини добре проводять електричний струм, бо містять речовини, що є провідниками. Висока електрична провідність зумовлена наявністю у провідниках великої кількості вільних заряджених частинок. Так, у металевому провіднику частина електронів, залишивши атоми, вільно «мандрує» по всьому його об'єму. Кількість таких електронів сягає 10^{23} у кубічному сантиметрі.

Діелектриками називають речовини, які погано проводять електричний струм.

Діелектриками є деякі тверді речовини (ебоніт, порцеляна, гума, скло та ін.), деякі рідини (дистильована вода, гас та ін.) й деякі гази (водень, азот та ін.). У діелектриках майже відсутні вільні заряджені частинки, отже, проходження через них струму практично неможливе.

Провідники й діелектрики широко застосовують у промисловості, побуті, техніці. Так, проводи, якими підводять електричний струм від електростанцій до споживачів, виготовляють із металів — хороших провідників. При цьому на опорах проводи розташовують на ізоляторах, — це запобігає стіканню електричного заряду в землю (рис. 5.2). З такою ж метою шаром діелектрика вкривають кабелі, які прокладають у землі.

Існує також багато речовин, які називають *напівпровідниками*. Зазвичай такі речовини погано проводять електричний струм, і їх можна віднести до діелектриків. Однак, наприклад, у разі підвищення температури

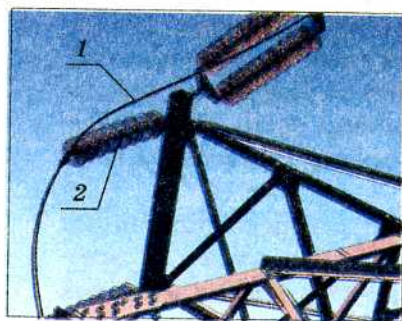


Рис. 5.2. Створення ліній електропередачі неможливе без використання провідників (1) і діелектриків (2)



Рис. 5.3. Напівпровідникові кристали використовують для виготовлення сонячних батарей

або збільшення освітленості в напівпровідниках з'являється достатня кількість вільних заряджених частинок і напівпровідники стають провідниками. Прикладами напівпровідників можуть бути такі речовини, як германій, силіцій, арсен і багато інших. Напівпровідники широко використовують для виготовлення радіоелектронної апаратури, сонячних батарей (рис. 5.3) тощо.

Підбиваємо підсумки

Електричний струм — це процес напрямленого руху частинок, що мають електричний заряд.

Для виникнення й існування електричного струму необхідна наявність вільних заряджених частинок та електричного поля, дія якого створює й підтримує їхній напрямлений рух.

Залежно від електричної провідності всі речовини умовно поділяють на провідники (речовини, які добре проводять електричний струм), діелектрики (речовини, які погано проводять електричний струм) і напівпровідники.

Контрольні запитання

1. Що таке електричний струм?
2. Сформулюйте умови виникнення та існування електричного струму.
3. Які речовини відносять до провідників, діелектриків, напівпровідників? Наведіть приклади.
4. Чому метали добре проводять електричний струм?
5. Наведіть приклади використання провідників і діелектриків.

Вправа № 5

1. Чому в досліді, описаному в п. 1 параграфа, кульові кондуктори електрометрів з'єднували металевим стрижнем (див. рис. 5.1)? Для чого стрижень закріплюють на пластмасовій ручці? Як зміняться результати досліді, якщо замість металевого стрижня скористатися пластмасовим?
2. Запишіть назви декількох предметів, виготовлених із речовин, які є: а) провідниками; б) діелектриками.
3. Чи рухаються вільні заряджені частинки в провіднику, коли в ньому немає струму?
4. Чому важко, а іноді практично неможливо зарядити електроскоп у приміщенні, в якому дуже велика вологість повітря?
5. Яким вимогам має відповідати матеріал, із якого виготовляють корпуси розеток та вимикачів?

§ 6. ДІЇ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ

21

Ви вже знаєте, що електричним струмом називають процес напрямленого руху частинок, які мають електричний заряд. Але як з'ясувати, чи тече по провіднику електричний струм? Адже побачити, наприклад, як у металевому стрижні рухаються вільні електрони, неможливо. Проте відомо, що наявність електричного струму виявляється через його дії. Саме про різні дії електричного струму ви дізнаєтеся з цього параграфа.

1

Дізнаємося про теплову дію електричного струму

Теплова дія струму виявляється у нагріванні провідника, по якому тече струм. Так, коли ви прасуєте, припаюєте деталь електричним паяльником, готуєте на електричній плиті, обігріваєте кімнату електричним нагрівником, то використовуєте побутові прилади, функціонування яких ґрунтується на тепловій дії електричного струму.

Теплову дію електричного струму широко використовують не тільки в побуті, але й у промисловості та сільському господарстві, наприклад для зварювання, різання й плавлення металів, для функціонування теплиць та інкубаторів, сушіння зерна, готування сінажу тощо.

У природі ми теж зустрічаємося з тепловою дією електричного струму: енергія, що виділяється під час блискавки, може спричинити лісову пожежу (рис. 6.1).

2

Спостерігаємо хімічну дію електричного струму

Коли через розчин солей, кислот і лугів проходить електричний струм, на електродах, занурених у цей розчин, відбуваються хімічні реакції. Отже, у даному випадку маємо справу з *хімічною дією струму*.

Так, якщо в посудину з водним розчином купрум сульфату (CuSO_4) опустити два вугільні електроди й пропустити через розчин електричний струм (рис. 6.2, а), то через деякий час один з електродів вкриється тонким шаром чистої міді (рис. 6.2, б).

Слід зазначити, що *хімічна дія струму виявляється не завжди*. Пропустивши струм, наприклад, через метали, ми не виявимо жодних хімічних змін.



Рис. 6.1. Досить часто лісові пожежі спричиняються блискавкою



Рис. 6.2. Дослід, що демонструє хімічну дію електричного струму: якщо протягом деякого часу пропускати струм через водний розчин купрум сульфату (а), на одному з електродів з'явиться тонкий шар міді (б)

Далі ви докладніше познайомитеся з різними випадками хімічного розкладення речовин під дією електричного струму, а також дізнаєтеся про застосування цього явища на практиці.

3 Знайомимось з магнітною дією електричного струму

Провідник, по якому тече електричний струм, набуває магнітних властивостей і починає притягувати залізні предмети. Переконатися в цьому можна за допомогою звичайного залізного цвяха. Намотаємо на цвях ізольований провід й пропустимо по проводу електричний струм. Цвях, подібно до магніту, почне притягувати до себе залізні предмети, тобто виявить магнітні властивості (рис. 6.3).

Функціонування різноманітних електричних двигунів, електровимірювальних приладів (рис. 6.4) можливе тільки завдяки *магнітній дії струму*. Докладніше з магнітною дією струму ви познайомитеся, вивчаючи магнітні явища.

Розглядаючи різні дії електричного струму, слід звернути увагу на те, що найчастіше декілька дій виявляються одночасно. Справді, якщо вимірювати, наприклад, температуру розчину купрум сульфату під час описаного вище дослід (див. рис. 6.2), то можна помітити, що температура розчину поступово збільшується, а якщо біля посудини помістити магнітну стрілку, то під час проходження струму стрілка відхилитиметься.



Рис. 6.3. Під час пропускання струму цвях стає магнітом і притягує до себе залізні ошурки

4 Дізнаємось про дію електричного струму на організми

Електричний струм чинить теплову, хімічну, магнітну дії на живі організми, у тому числі на людину. Напевно, більшість із вас відвідували в поліклініці кабінет фізіотерапії. Багато приладів, що є в цьому кабінеті, призначені для *електролікування*, під час якого теплова дія електричного струму використовується для прогрівання окремих частин тіла, хімічна

й магнітна — для стимуляції діяльності різних органів, поліпшення обміну речовин тощо.

Слід, однак, пам'ятати, що далеко не завжди електричний струм діє на організм людини цілюще. Струм може викликати опік, судоми й навіть спричинити смерть. Тому, перед тим як користуватися будь-яким електроприладом чи пристроєм, слід уважно вивчити додану інструкцію і неухильно її дотримуватися.

! Підбиваємо підсумки

Під час проходження в провіднику електричний струм може чинити теплову дію (нагрівання провідника), хімічну дію (хімічне розкладення рідини, яка проводить струм), магнітну дію (відхилення магнітної стрілки, намагнічування заліза).

Дуже часто різні дії електричного струму виявляються одночасно. Завдяки тепловій, хімічній та магнітній діям електричний струм впливає на живі організми, у тому числі на людину.



Контрольні запитання

1. Як дізнатися, чи проходить у провіднику струм? 2. Перелічіть дії електричного струму. 3. Наведіть приклади теплової дії електричного струму. 4. Опишіть дослід, який підтверджує, що електричний струм чинить хімічну дію. 5. Чи завжди виявляється хімічна дія струму? 6. Що слід зробити, щоб намагнітити залізний цвях? 7. Наведіть приклади на підтвердження того, що електричний струм діє на організм людини. Як ця дія виявляється? Де її використовують?



Вправа № 6

- Наведіть приклади побутових технічних пристроїв, у роботі яких використовується теплова дія струму.
- Наведіть приклади побутових технічних пристроїв, робота яких ґрунтується на магнітній дії струму.
- Для чого під час проведення дослідів із хімічним розкладенням води на водень і кисень за допомогою електричного струму у воду додають трохи сульфатної кислоти?
- * Чому спалах блискавки супроводжується громом?

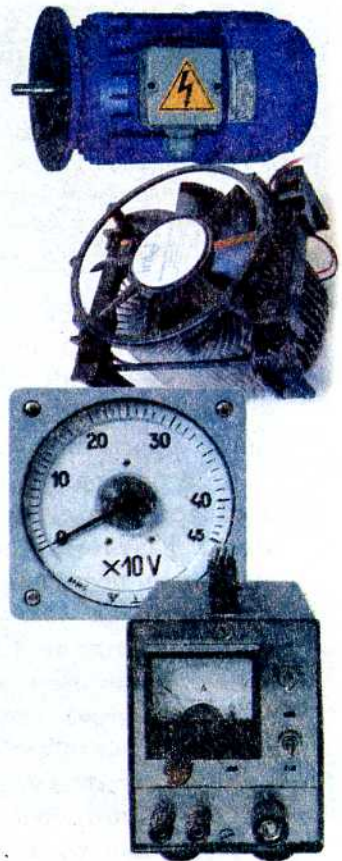


Рис. 6.4. Робота електричних двигунів й електровимірювальних приладів ґрунтується на магнітній дії струму

§ 7. ДЖЕРЕЛА ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ. ГАЛЬВАНІЧНІ ЕЛЕМЕНТИ Й АКУМУЛЯТОРИ

?

Багатьом знайома ситуація: необхідно терміново зателефонувати, ви берете мобільний телефон і з прикрістю виявляєте, що батарея акумуляторів розрядилась, а телефон із дива технічної думки перетворився на шматок пластику. Те саме може статись і з акумуляторами фотоапарата, плеєра, ліхтарика, годинника. Що робити далі, знає навіть першокласник, а от як працює акумулятор, ви дізнаєтеся з цього параграфа.

1

Знайомимосся з джерелами електричного струму

Зрозуміло, що будь-який справний електротехнічний пристрій працюватиме тільки тоді, коли виконані умови існування електричного струму: наявність вільних заряджених частинок і електричного поля. За створення електричного поля «відповідають» *джерела струму*.

У джерелах електричного струму електричне поле створюється й підтримується завдяки розділенню різнойменних електричних зарядів. У результаті на одному полюсі джерела накопичуються частинки, що мають позитивний заряд, а на другому — частинки, що мають негативний заряд. Між полюсами виникає електричне поле. Під дією цього поля в провіднику, яким з'єднані полюси, вільні заряджені частинки починають напрямлений рух, тобто виникає електричний струм.

Однак розділити різнойменні заряди не так просто, адже між ними існують сили притягання. Для розділення у джерелах електричного струму різнойменних зарядів, а отже, для створення електричного поля, необхідно виконати роботу. Її можна виконати за рахунок механічної, хімічної, теплової та інших видів енергії.

Джерела електричного струму — пристрої, що перетворюють різні види енергії на електричну енергію.

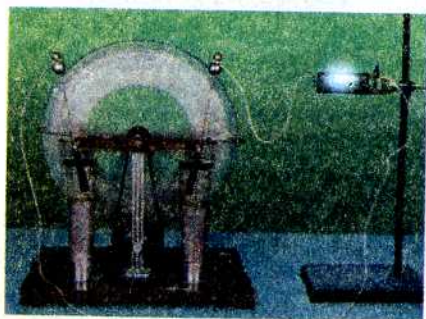


Рис. 7.1. Якщо різнойменно заряджені кондуктори електрофорної машини з'єднати з електричною лампою, у лампі виникає електричний струм. Лампа світитиметься, поки обертаються диски машини, — у цьому випадку механічна енергія перетворюється на електричну

2

Дізнаємось про різні види джерел електричного струму

Усі джерела електричного струму можна умовно розділити на *фізичні* й *хімічні*.

До *фізичних джерел електричного струму* прийнято відносити пристрої, в яких розділення зарядів відбувається за рахунок механічної, світлової або теплової енергії. Прикладами таких джерел струму можуть бути електрофорна машина (рис. 7.1), турбогенератори електростанцій (рис. 7.2), фото- і термоелементи (рис. 7.3, 7.4) тощо.

Незважаючи на всю різноманітність фізичних джерел електричного струму, у повсякденному житті ми здебільшого маємо справу з *хімічними джерелами електричного струму* — гальванічними елементами

й акумуляторами. Хімічними джерелами електричного струму називають пристрої, в яких розподіл зарядів відбувається за рахунок енергії, що виділяється внаслідок хімічних реакцій.

3 Створюємо гальванічний елемент

Візьмемо мідну й цинкову пластинки та очистимо їхні поверхні. Між пластинками покладемо тканину, змочену в слабкому розчині сульфатної кислоти. Виготовлений пристрій являє собою найпростіше хімічне джерело електричного струму — *гальванічний елемент* (рис. 7.5). Якщо з'єднати пластинки через *гальванометр* (чутливий електровимірювальний прилад, який часто використовують як індикатор наявності слабкого електричного струму), то прилад зафіксує наявність струму.

Гальванічний елемент уперше створив італійський учений *А. Вольта* (рис. 7.6); назвав його на честь свого співвітчизника *Л. Гальвані* (рис. 7.7).

Будь-який гальванічний елемент складається з *двох електродів та електроліту*. Електроди можна виготовити з різних металів. Досить часто замість одного з металевих електродів використовують вугільний електрод або такий, що містить оксиди металів. Електролітом слугує тверда або рідка речовина, що проводить електричний струм завдяки наявності в ній великої кількості вільних заряджених частинок — йонів.

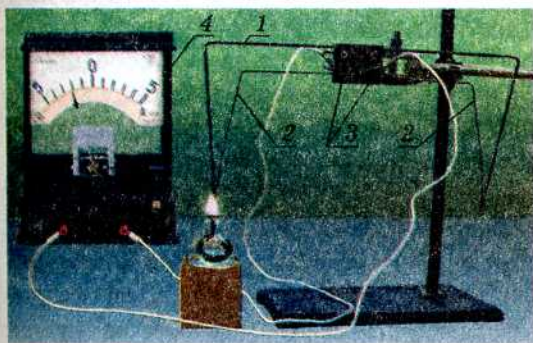


Рис. 7.4. До кінців константанового дроту (1) припаяно два залізні дроти (2). Їхні вільні кінці (3) з'єднано з гальванометром (4) — приладом, що фіксує наявність електричного струму. Якщо нагріти місце спаю, прилад зафіксує виникнення струму: теплова енергія перетворюється на електричну



Рис. 7.2. Завдяки турбогенераторам, що перетворюють механічну енергію обертання турбін на енергію електричного струму, виробляють 80% споживаної у світі електроенергії



Рис. 7.3. Сонячні батареї на «Січ-1М» — супутнику дистанційного зондування Землі — здатні постачати електроенергію для всього комплексу дослідницької апаратури. Сонячні батареї перетворюють енергію світла на електричну енергію

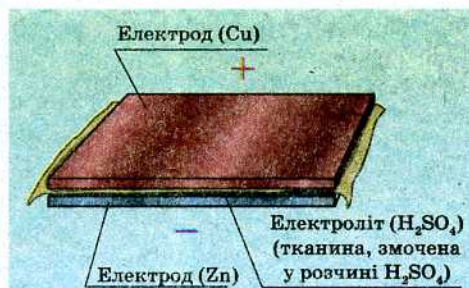


Рис. 7.5. Найпростіший гальванічний елемент



Рис. 7.6. Алессандро Вольта (1745–1827) — італійський фізик. Здійснив низку важливих досліджень у галузі електрики, винайшов перший у світі гальванічний елемент і батарею гальванічних елементів — «вольтів стовп»



Рис. 7.7. Луїджі Гальвані (1737–1798) — італійський анатом і фізіолог. Досліди, описані ним, підказали А. Вольті ідею створення хімічного джерела струму

У гальванічному елементі на рис. 7.5 електродами є цинкова й мідна пластинки, а електролітом — розчин сульфатної кислоти.

Між електродами й електролітом відбуваються хімічні реакції*, у результаті яких один із електродів (*анод*) набуває позитивного заряду, а другий (*катод*) — негативного. Через деякий час «працездатність» гальванічного елемента закінчується через виснаження запасу речовин, що беруть участь у реакціях.

На рис. 7.8 зображено принципову будову манганово-цинкового елемента — одного з видів гальванічних елементів, що широко застосовують для забезпечення електроживлення фотоапаратів, плеєрів, настінних годинників, кишенькових ліхтариків тощо.

4 Вивчаємо акумулятори

З часом гальванічні елементи стають непридатними до роботи, і їх не можна використати вдруге. А от інший тип хімічних джерел електричного струму — *електричні акумулятори* — можна використовувати багаторазово.

Акумулятори, як і гальванічні елементи, складаються з двох електродів, поміщених в електроліт. Так, свинцевий акумулятор, використовуваний в автомобілях, має один електрод зі свинцю, а другий — із плюмбум діоксиду; електролітом слугує водний розчин сульфатної кислоти. Якщо електроди зарядженого акумулятора під'єднати, наприклад, до електричної лампи, то по її спіралі потече струм. Усередині ж акумулятора відбуватимуться хімічні реакції, у результаті яких електрод із свинцю набуває негативного заряду, а електрод із плюмбум діоксиду — позитивного. При цьому сульфатна кислота перетворюватиметься на воду. Коли концентрація сульфатної кислоти зменшиться до певного межового значення, акумулятор розрядиться — стане непридатним до роботи. Однак його можна знову зарядити. Під час заряджання акумулятора хімічні реакції йдуть у зворотному

* Основні реакції, що відбуваються в гальванічних елементах, — це реакції окиснення і відновлення. Докладно про ці реакції ви дізнаєтеся з курсу хімії 9-го класу.

напрямку і концентрація сульфатної кислоти відновлюється.

Крім свинцевих (кислотних) акумуляторів широко використовують феронікелеві (лужні), кадмієво-нікелеві та інші види акумуляторів.

Слід зазначити, що й акумулятори, й гальванічні елементи зазвичай об'єднують, одержуючи відповідно *акумуляторну батарею* або *батарейку гальванічних елементів* (рис. 7.9). Мобільні телефони, наприклад, містять літійову акумуляторну батарею.

За принципом дії сучасні хімічні джерела струму майже не відрізняються від тих, що були створені понад два століття тому. При цьому зараз існує велика кількість різноманітних видів гальванічних елементів і акумуляторів та здійснюється активна розробка нових. Один від одного вони відрізняються розмірами, масою, енергоємністю, терміном роботи, надійністю, безпекою, вартістю тощо.

Вибір певних видів хімічних джерел струму продиктований сферою їхнього застосування. Так, в автомобілях доцільно використовувати відносно дешеві кислотні акумуляторні батареї, і те, що вони є досить важкими, не є вирішальним фактором. А от джерела струму для мобільних телефонів мають бути легкими та безпечними, тому в них варто використовувати так звані літійові батареї, хоча вони є порівняно дорогими.

! Підбиваємо підсумки

Пристрої, що перетворюють різні види енергії на електричну енергію, називають джерелами електричного струму.

У джерелах електричного струму відбувається розділення різноимених електричних зарядів, у результаті чого на одному полюсі

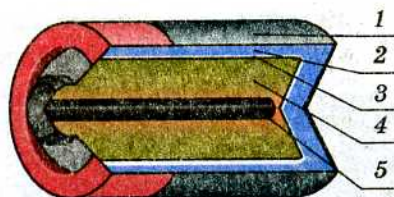


Рис. 7.8. Манганово-цинковий елемент: 1 — сталевий контейнер; 2 — негативний електрод, виготовлений із цинку; 3 — волокнисте полотно, яке розділяє електроди; 4 — позитивний електрод, що складається із суміші манган діоксиду і вуглецю; 5 — латунний стрижень, що проводить електрику до кола. Уся ємність заповнена електролітом — водним розчином калій гідроксиду



Рис. 7.9. Широко використовувані хімічні джерела електричного струму: батарея гальванічних елементів (а); акумуляторні батареї (б, в)

джерела накопичується позитивний заряд, на іншому — негативний, а отже, створюється електричне поле.

У джерелах електричного струму робота з розділення різнойменних зарядів виконується за рахунок механічної, хімічної, теплової та інших видів енергії.

До хімічних джерел електричного струму належать гальванічні елементи й акумулятори. Гальванічний елемент — хімічне джерело електричного струму одноразового використання. Акумулятор — хімічне джерело електричного струму багаторазового використання.



Контрольні запитання

1. Які пристрої називають джерелами електричного струму? 2. Які процеси відбуваються в джерелах електричного струму? 3. Чому для розділення різнойменних зарядів необхідно виконати роботу? 4. За рахунок якої енергії може здійснюватися розділення різнойменних зарядів у джерелі електричного струму? 5. Які джерела електричного струму ви знаєте? Наведіть приклади їх використання в техніці. 6. Що являє собою гальванічний елемент? 7. Опишіть будову та принцип дії сучасного гальванічного елемента. 8. Опишіть будову та принцип дії акумулятора.



Вправа № 7

1. Що необхідно робити, щоб на двох електроскопах, з'єднаних металевим провідником, підтримувати рівні за значенням і протилежні за знаком електричні заряди?
2. Які перетворення енергії відбуваються під час заряджання акумулятора? розряджання акумулятора?
3. Як зміниться дія найпростішого гальванічного елемента, зображеного на рис. 7.5, якщо для його виготовлення взяти електроди з одного металу?



Експериментальне завдання

Візьміть лимон, мідний дріт, залізний цвях і виготовте з цих предметів гальванічний елемент. Намалюйте його будову, підпишіть назви складників. Подумайте, яким фруктом або овочем можна замінити лимон. Принесіть виготовлене джерело струму до школи та переконайтеся, що воно працює, приєднавши його провідниками до гальванометра.

§ 8. ЕЛЕКТРИЧНЕ КОЛО ТА ЙОГО ЕЛЕМЕНТИ



Щоб розібратися в будові якого-небудь електроприладу або усунути несправність електропроводки в оселі, передусім необхідно мати схему відповідного електричного кола. Про те, що таке електричне коло, із чого воно складається і як на його схемі зображують деякі електротехнічні пристрої, ви дізнаєтеся, вивчивши матеріал цього параграфа.



Знайомимося з електричним колом

Будь-який електричний пристрій — мобільний телефон, MP3-плеєр, ноутбук, ліхтарик, цифровий фотоапарат, калькулятор та ін. — має обов'язковий певний набір елементів. Щоб виділити ці обов'язкові елементи та виявити їхнє призначення, створимо модель найпростішого електричного пристрою (рис. 8.1).

Щоб електричний пристрій працював, передусім необхідне *джерело струму*. У поданій моделі джерелом струму є батарея гальванічних елементів (1 на рис. 8.1). Виводи (полюси) батареї позначені знаками «+» і «-».

Другий обов'язковий елемент — *споживач електричної енергії*. У поданій моделі — це електрична лампа (2). Будь-який споживач теж має два виводи (у лампі вони розташовані на цоколі — металевому циліндрі з нарізкою, що з'єднаний зі скляним балоном).

Джерело струму та споживач з'єднані за допомогою *з'єднувальних елементів* — проводів* (3). Для кріплення проводів використовують спеціальні пристрої (рис. 8.2), паяння або зварювання.

І, нарешті, останній елемент. Щоб було зручно вмикати й вимикати споживач, використовують різноманітні *замикальні (розмикальні) пристрої*: ключ, рубильник, вимикач, кнопку або розетку. У моделі, що розглядається (див. рис. 8.1), таким пристроєм є ключ (4).

Слід звернути увагу, що в реальному пристрої важливим є не тільки наявність усіх зазначених елементів, але й певний порядок їх з'єднання.

З'єднані провідниками в певному порядку джерело струму, споживачі, замикальні (розмикальні) пристрої складають електричне коло.

На рис. 8.3 зображено два найпростіших електричних кола, що містять однакові елементи. При цьому спосіб з'єднання деяких елементів (ламп) є різним. На рис. 8.3, а лампи з'єднані *послідовно*, на рис. 8.3, б — *паралельно*.

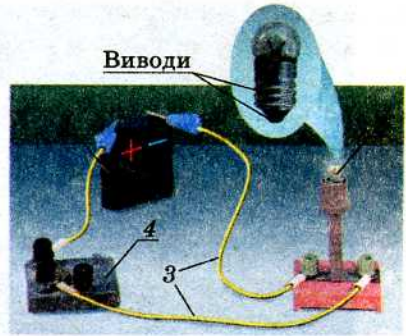


Рис. 8.1. Модель найпростішого електричного пристрою: 1 — джерело струму — батарея гальванічних елементів; 2 — споживач електричної енергії — лампа; 3 — з'єднувальні проводи; 4 — ключ

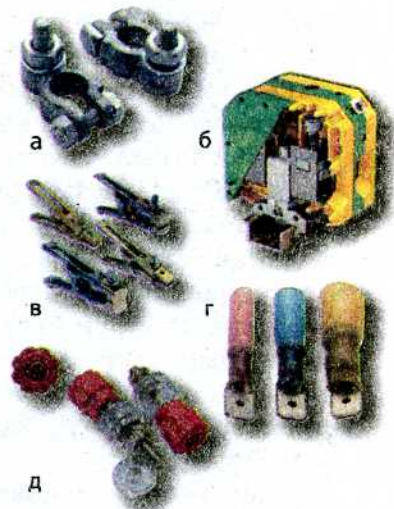


Рис. 8.2. Різні затискачі (клеми) для з'єднування провідників: акумуляторні (а); високовольтні (б); заземлення (в); ножові (г); приладні (д)

* У поданій моделі довжина з'єднувальних проводів є очевидно надмірною. На практиці конструктори максимально зменшують усі «зайві» елементи. Наприклад, в електричному ліхтарику роль одного з'єднувального елемента часто виконує металевий корпус. Другий елемент відсутній, оскільки один із виводів джерела струму безпосередньо контактує з виводом лампочки.

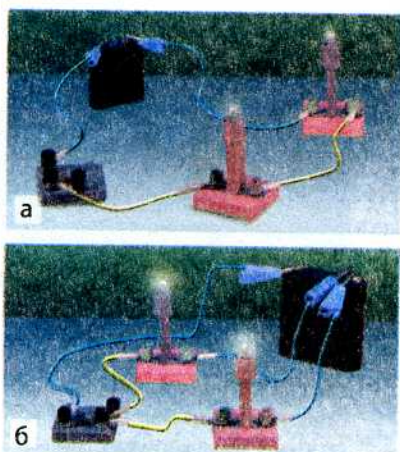


Рис. 8.3. Два способи з'єднання ламп в електричному колі:
а — послідовне; б — паралельне

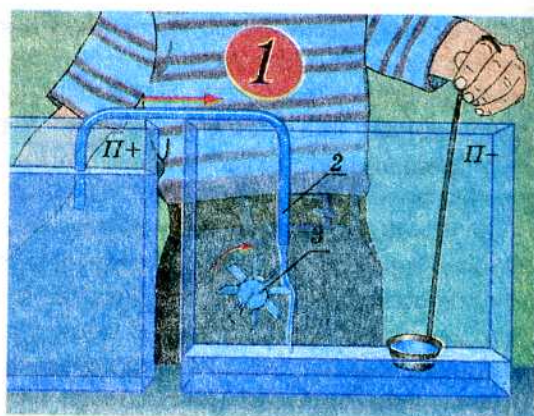


Рис. 8.4. Механічний аналог електричного кола, поданого на рис. 8.1. Відповідність складових можна простежити за цифрами, якими вони позначені на рисунках

2 Знайомимося з механічним аналогом електричного кола

Щоб краще зрозуміти призначення елементів електричного кола, розглянемо його механічну аналогію. Механічна модель (рис. 8.4) складається з двох наповнених водою посудин ($\Pi+$ і $\Pi-$), м'якої пластикової трубки (2), механічної вертушки (3), і... вашого товариша (1), завданням якого буде безперервне переливання води з посудини $\Pi-$ до посудини $\Pi+$. Зануливши короткий кінець трубки в посудину з більш високим рівнем води ($\Pi+$), створимо «водяний струм», який спричинятиме обертання вертушки.

Щоб вертушка не зупинялася, необхідно підтримувати безперервний «водяний струм». А він буде існувати, допоки існує різниця рівнів води в посудинах, тобто допоки ваш товариш переливатиме воду. І так само електричний струм буде існувати в колі, допоки працює джерело струму. Безперервно «перетягуючи» відповідні заряди з одного полюса на інший, джерело струму створює та підтримує електричне поле. «Водяний струм» у механічній моделі, як ви, напевне, здогадалися, є аналогом електричного струму.

Ми можемо закрити трубку за допомогою корка і таким чином зупинити потік води. Отже, у цьому випадку корок є механічним аналогом ключа в електричному колі.

Якщо заморозити воду в трубці, «водяний струм» зупиниться. Таким чином, умовою безперервного плину є наявність «субстанції», яка може вільно пересуватися. Для електричного кола такою «субстанцією» є вільні заряджені частинки (наприклад, електрони в металах або йони в рідинах).

Зверніть увагу на те, що зовсім не обов'язково бачити власне плин води в трубці. Його можна зафіксувати й у непрозорих посудинах, наприклад, спостерігаючи за обертанням вертушки. Так само висновок про наявність електричного струму ми робимо завдяки діям струму, адже побачити його ми не можемо.

3 Знайомимося з електричними схемами

Щоб показати, які саме електричні пристрої необхідні для одержання певного електричного кола і як їх потрібно з'єднувати, використовують *електричні схеми* (або просто *схеми*).

Електричною схемою називають креслення, на якому умовними позначеннями показано, з яких елементів складається електричне коло і в який спосіб ці елементи з'єднані між собою.

Умовні позначення деяких елементів електричного кола наведено в таблиці. Особливу увагу слід звернути на позначення джерела струму (гальванічного елемента або акумулятора та батареї гальванічних елементів або акумуляторів). Прийнято, що довга риска позначає позитивний полюс джерела струму, а коротка — негативний.


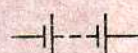









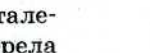
Напрямок струму позначають на схемах стрілкою.

Напрямок струму в колі умовно вважають напрямком, у якому рухалися б по колу частинки, що мають позитивний заряд, тобто напрямком від позитивного полюса джерела струму до негативного.*

На рис. 8.5 наведено схеми електричних кіл, зображених на рис. 8.1, 8.3, та позначено напрямок струму в них.

Розглянемо електричну схему складнішого електричного кола (рис. 8.6). Це електричне коло має три вимикачі, два споживачі струму й джерело струму — акумуляторну батарею. Якщо замкнути ключі K_1 і K_2 , а ключ K_3 розімкнути, то коло, споживачем у якому є лампа, буде замкнене на джерело й лампа світитиметься. Якщо замкнути ключі K_1 і K_3 , а ключ K_2 розімкнути, то працюватиме електрообігрівач, а лампа світитися не буде. Якщо ж замкнути всі три ключі, то одночасно світитиметься лампа і працюватиме електрообігрівач. Якщо розімкнути

Деякі умовні позначення, застосовувані на схемах

Елемент електричного кола	Умовне позначення
Гальванічний елемент або акумулятор	
Батарея гальванічних елементів або акумуляторів	
З'єднання проводів	
Перетин проводів (без з'єднання)	
Затискачі для під'єднання якогонебудь приладу	
Ключ	
Резистор	
Електрична лампа	
Електричний дзвінок	
Нагрівальний елемент	
Штепсельна розетка	
Запобіжник	

* Слід зауважити, що після замкнення полюсів джерела струму металевим провідником електрони під дією електричного поля цього джерела рухатимуться від його негативного полюса до позитивного, тобто напрямком руху електронів буде протилежним прийнятому напрямку струму.

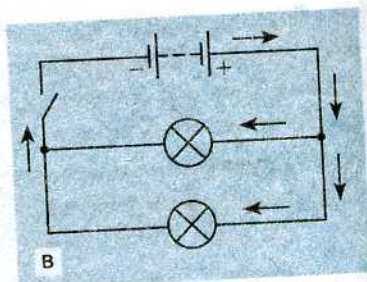
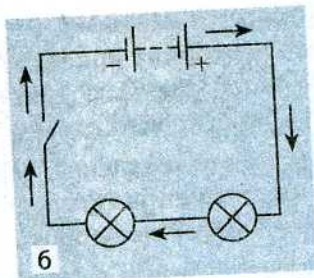
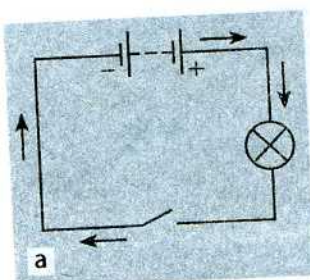


Рис. 8.5. Схеми деяких електричних кіл: а — схема електричного кола вмикання лампи (див. рис. 8.1); б — схема послідовного з'єднання двох ламп (див. рис. 8.3, а); в — схема паралельного з'єднання двох ламп (див. рис. 8.3, б). Стрілками позначений напрямок струму в разі замкнення ключа

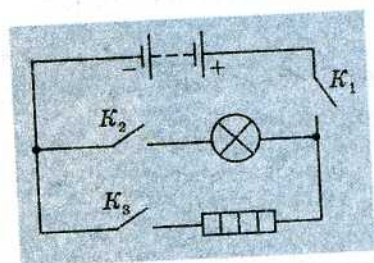


Рис. 8.6. Схема вмикання електричної лампи та обігрівача

тільки ключ K_1 або якщо замкнути тільки ключ K_1 , обидва споживачі будуть від'єднані від джерела, а отже, не працюватимуть.

Підбиваємо підсумки

З'єднані провідниками джерело струму, споживач електричної енергії, замикальний (розмикальний) пристрій утворюють найпростіше електричне коло.

Креслення, на якому умовними позначеннями показано, з яких елементів складається електричне коло і в який спосіб ці елементи з'єднані між собою, називають електричною схемою.

Напрямок струму в колі умовно вважають напрямком, у якому б рухалися по колу позитивно заряджені частинки, тобто напрямком від позитивного полюса джерела струму до негативного.

Контрольні запитання

1. Назвіть основні елементи електричного кола.
2. Використовуючи механічну аналогію, поясніть призначення кожного елемента електричного кола.
3. Наведіть приклади споживачів електричної енергії.
4. З якою метою в електричних колах використовують ключ?
5. Що називають електричною схемою?
6. Як на електричних схемах зображують гальванічний елемент? батарею гальванічних елементів? електричний дзвінок? ключ?
7. Що визначають за напрямком струму в електричному колі?



Вправа № 8

1. Накресліть схему електричного кола, зображеного на рис. 1, і вкажіть напрямок струму в ньому.
2. На рис. 2 зображено схему електричного кола. Перерисуйте схему в зошит, позначте полюси джерела струму, стрілками покажіть напрямок електричного струму. Підпишіть назву кожного елемента кола.

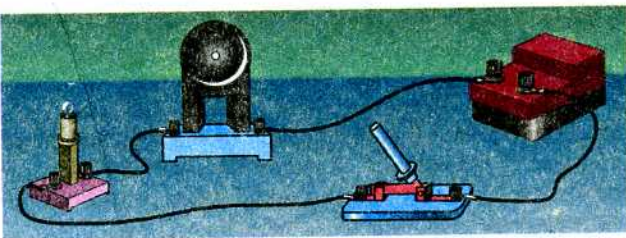


Рис. 1

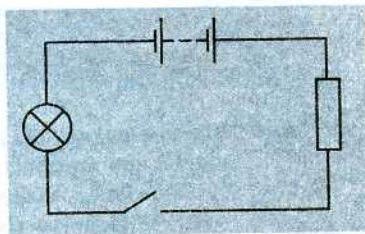


Рис. 2

3. Накресліть схему кола, що містить батарею гальванічних елементів і два дзвінки, які вмикаються одночасно одним ключем. Зверніть увагу на те, що завдання можна розв'язати двома способами. Де можна застосувати таке з'єднання?
4. Електричне коло складається з батареї акумуляторів, двох ключів, дзвінка та лампи. Накресліть схему електричного кола так, щоб один ключ вмикав тільки лампу, а другий — тільки дзвінок.
- 5*. Електричне коло складається з батареї акумуляторів, дзвінка, ключа й лампи. Накресліть схему електричного кола так, щоб лампа світила весь час, а дзвінок вмикався б тільки в разі замкнення ключа.
- 6*. Електричне коло складається з батареї акумуляторів, двох дзвінків, двох ключів і однієї лампи. Накресліть схему електричного кола так, щоб лампа починала світитися в разі ввімкнення тільки одного з дзвінків.



ФІЗИКА ТА ТЕХНІКА В УКРАЇНІ

Інститут електродинаміки НАН України (Київ)

Основні напрямки наукових досліджень Інституту електродинаміки пов'язані з «великою енергетикою»: вчені розробляють електричні схеми, які об'єднують цілі промислові комплекси — заводи, шахти тощо.

Ви напевне зустрічалися з явищем, коли раптово гасне світло в усьому багатоповерховому будинку, бо всі сусіди дружно ввімкнули телевізори, обігрівачі, освітлення тощо. Для мешканців це лише прикрий інцидент, а ось на ливарному виробництві або у лікарні вимкнення електрики може призвести до трагедії. І саме правильно складені електричні кола запобігають таким випадкам.

Прикладом вдалих розробок учених інституту є створення технології виробництва проводів, розрахованих на напругу до 10 кВ. Такі проводи здебільшого прокладають під землею, тож вони мають працювати в дуже складних умовах (зміна температури, вологості тощо). Ця розробка втілена ученими інституту на заводі «Південкабель» (Харків), де виготовляють кабелі зі спеціальною (зокрема, дуже стійкою) ізоляцією.

На фото внизу подано ще одну розробку вчених Інституту електродинаміки — *електроцикл* — транспортний засіб з підвищеною маневреністю, який пересувається за рахунок електричної енергії.



§ 9. СИЛА СТРУМУ. ОДИНИЦЯ СИЛИ СТРУМУ. АМПЕРМЕТР



Вам уже відомо, що для кількісного опису фізичних явищ, властивостей тіл і речовин фізики використовують фізичні величини. А за допомогою яких фізичних величин можна кількісно описати процес проходження електричного струму по провіднику? З однією з них ви познайомитеся в цьому параграфі.



З'ясуємо, що називають силою струму

У металевому стрижні, як ви вже знаєте, є велика кількість вільних носіїв електричного заряду — електронів.



Рис. 9.1. Уявно розрізавши стрижень, одержуємо його поперечний переріз

Зрозуміло, що, коли у стрижні не тече струм, рух електронів у ньому хаотичний. Тому можна вважати, що кількість електронів, які за одну секунду проходять через поперечний переріз стрижня (рис. 9.1) зліва направо, дорівнює кількості електронів, що проходять через нього справа наліво.

Якщо приєднати стрижень до джерела струму, електрони почнуть рухатися напрямлено і кількість електронів, що проходять за певний час через поперечний переріз в одному напрямку, істотно збільшиться. Отже, у цьому напрямку через поперечний переріз стрижня буде перенесено певний заряд.

Сила струму — це фізична величина, що характеризує електричний струм і чисельно дорівнює заряду, який проходить через поперечний переріз провідника за одиницю часу.

Силу струму позначають символом I та визначають за формулою

$$I = \frac{q}{t},$$

де q — заряд, який проходить через поперечний переріз провідника за час t .

Щоб краще усвідомити суть уведеної фізичної величини, знову звернемося до механічної моделі електричного кола (див. рис. 8.4). Зрозуміло, що механічним аналогом сили струму є кількість води, що проходить через поперечний переріз трубки за 1 с.



Знайомимось з одиницею сили струму

Одиницею сили струму є **ампер** (А); вона названа так на честь французького вченого А. Ампера (рис. 9.2). Ампер — це одна з основних одиниць СІ (рис. 9.3).

Крім ампера на практиці часто застосовують кратні й частинні одиниці сили струму. Так, для вимірювання малої сили

струму використовують *міліампери* (мА) і *мікроампери* (мкА), великої сили струму — *кілоампери* (кА):

$$1 \text{ мА} = 10^{-3} \text{ А}; 1 \text{ мкА} = 10^{-6} \text{ А}; 1 \text{ кА} = 10^3 \text{ А}.$$

Щоб уявити, що означає велика і маленька сила струму, наведемо такі дані. Сила струму, який проходить через тіло людини, вважається безпечною, якщо її значення не перевищує 1 мА, а сила струму 100 мА вже здатна призвести до серйозних уражень.

Як видно з рис. 9.4, сила струму в багатьох електротехнічних пристроях значно перевищує силу струму, безпечну для людського організму. Тому, щоб не наражатися на смертельну небезпеку під час роботи з електротехнічними приладами й пристроями, необхідно суворо дотримуватися правил безпеки. Загальну інструкцію з безпеки подано на форзаці підручника. Ми ж зупинимось на головних моментах, які слід пам'ятати всім, хто має справу з електрикою.

НЕ МОЖНА

- торкатись оголеного проводу, особливо стоячи на землі, сирій підлозі тощо;
- користуватися несправними електротехнічними пристроями;
- збирати, розбирати, виправляти електротехнічні пристрої, не від'єднавши їх від джерела струму

3 Визначаємо одиницю електричного заряду

Знаючи одиницю сили струму, легко одержати визначення одиниці електричного заряду в СІ.

Оскільки $I = \frac{q}{t}$, то $q = It$. Отже:

$$1 \text{ Кл} = 1 \text{ А} \cdot 1 \text{ с}.$$

1 Кл — це заряд, що проходить через поперечний переріз провідника за 1 с при силі струму в провіднику 1 А.



Рис. 9.2. Андре Марі Ампер (1775–1836) — французький фізик, математик і хімік, один із засновників учення про електромагнітні явища. Ампер першим увів у фізику поняття електричного струму

Метр

Кілограм

Секунда

Ампер

Кельвін

Моль

Кандела

Рис. 9.3. Основні одиниці фізичних величин Міжнародної системи одиниць (СІ)



Рис. 9.4. Значення сили струму в деяких електротехнічних пристроях

4 Вимірюємо силу струму

Для вимірювання сили струму використовують прилад, який називається *амперметром* (рис. 9.5).

(А) — умовне позначення амперметра на електричних схемах.

Як і будь-який вимірювальний прилад, амперметр не повинен впливати на значення вимірюваної величини. Тому амперметр сконструйований таким чином, що в разі приєднання його до електричного кола значення сили струму в колі практично не змінюється.

Рис. 9.5. Деякі види амперметрів: а — демонстраційний; б — шкільний лабораторний; в — лабораторний із дзеркальною шкалою



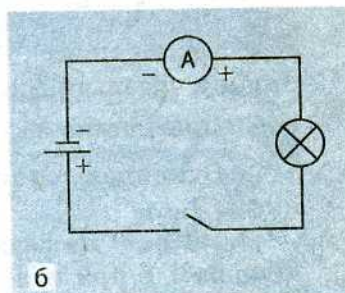
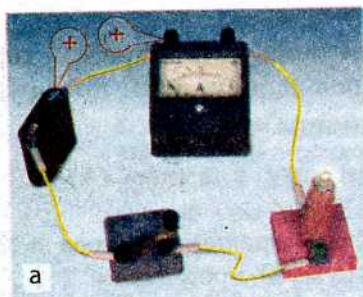


Рис. 9.6. Вимірювання амперметром сили струму, що проходить через лампу: а — загальний вигляд електричного кола; б — схема

Правила, яких необхідно дотримуватися під час вимірювання сили струму амперметром

1. Амперметр вмикають у коло послідовно з тим провідником, у якому необхідно виміряти силу струму (рис. 9.6).
2. Клеми амперметра, біля якої стоїть знак «+», потрібно з'єднувати з проводом, що йде від позитивного полюса джерела струму; клему зі знаком «-» — із проводом, що йде від негативного полюса джерела струму.
3. Не можна приєднувати амперметр до кола, у якому відсутній споживач струму.

5 Учимося розв'язувати задачі

Задача. Скільки електронів пройде через поперечний переріз спіралі лампи за 2 с, якщо сила струму в спіралі становить 0,32 А?

Дано:

$$t = 2 \text{ с}$$

$$I = 0,32 \text{ А}$$

$$e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$N = ?$

Аналіз фізичної проблеми

$q = N|e|$, тому, щоб визначити кількість N електронів, необхідно знати загальний заряд q , перенесений за 2 с, і заряд e одного електрона. Загальний заряд знайдемо з визначення сили струму; заряд одного електрона дорівнює $-1,6 \cdot 10^{-19}$ Кл. Задачу слід розв'язувати в одиницях СІ*.

Пошук математичної моделі, розв'язання

Відповідно до визначення сили струму $I = \frac{q}{t}$, отже, $q = It$ (1). Знаючи загальний заряд, знайдемо кількість електронів: $N = \frac{q}{|e|}$ (2). Підставивши формулу (1) у формулу (2), отримаємо: $N = \frac{It}{|e|}$.

Визначимо значення шуканої величини:

$$[N] = \frac{\text{А} \cdot \text{с}}{\text{Кл}} = \frac{\text{Кл}}{\text{Кл}} = 1; \{N\} = \frac{0,32 \cdot 2}{1,6 \cdot 10^{-19}} = 4 \cdot 10^{18}; N = 4 \cdot 10^{18}.$$

Відповідь: за 2 с через поперечний переріз спіралі лампи пройде $4 \cdot 10^{18}$ електронів.

* У наступних задачах в аналізі фізичної проблеми цю фразу опущено, оскільки під час вивчення електричних явищ будемо користуватися тільки одиницями СІ.

! Підбиваємо підсумки

Сила струму — фізична величина, що характеризує електричний струм і чисельно дорівнює заряду, який проходить через поперечний переріз провідника за одиницю часу: $I = \frac{q}{t}$.

Одиницею сили струму є ампер (А). Це одна з основних одиниць СІ.

1 Кл — це заряд, що проходить через поперечний переріз провідника за 1 с при силі струму в провіднику 1 А.

Силу струму вимірюють амперметром. Амперметр приєднують до електричного кола послідовно з провідником, у якому вимірюють силу струму.

? Контрольні запитання

1. Дайте визначення сили струму.
2. За якою формулою визначають силу струму?
3. Яка одиниця сили струму? На честь кого її названо?
4. Яке значення сили струму безпечне для людини?
5. Яких основних правил безпеки необхідно дотримуватися під час роботи з електротехнічними пристроями?
6. Дайте визначення кулона.
7. Яким приладом вимірюють силу струму? Які правила необхідно виконувати, вимірюючи силу струму?

Вправа № 9

1. На рис. 1 зображено шкали різних амперметрів. Визначте ціну поділки кожної шкали і силу струму, що відповідає показам цих приладів.
2. На рис. 2 зображено схему електричного кола. Перерисуйте схему в зошит і покажіть на ній, де потрібно приєднати амперметр, щоб виміряти силу струму в лампах. Позначте полюси амперметра.
3. Сила струму в провіднику дорівнює 200 мА. Протягом якого часу через поперечний переріз провідника проходить заряд, що дорівнює 24 Кл?
4. Який електричний заряд проходить через нагрівальний елемент електричної праски за 15 хв, якщо сила струму в елементі дорівнює 3 А?
5. На рис. 3 показано вимірювання сили струму в колі, яке складається з джерела струму, ключа й лампи. Накресліть електричну схему кола, позначте на ній полюси амперметра. Визначте заряд, що проходить через поперечний переріз спіралі лампи за 10 хв.
6. Чому дорівнює сила струму в провіднику, якщо за 10 с через поперечний переріз цього провідника проходить $2 \cdot 10^{20}$ електронів?



Рис. 1

а



б



в

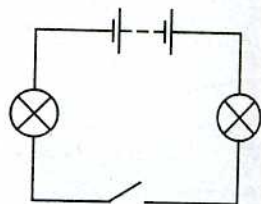


Рис. 2

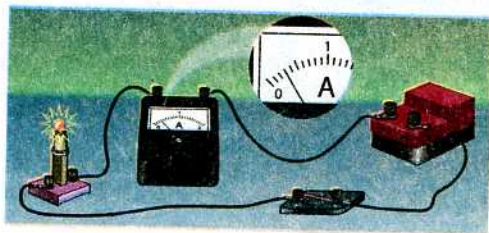
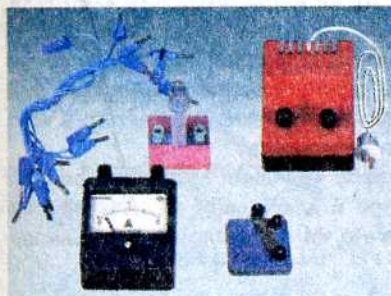


Рис. 3

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2



Тема. Складання електричного кола та вимірювання сили струму на різних його ділянках.

Мета: навчитися складати найпростіші електричні кола та вимірювати в них силу струму.

Обладнання: джерело струму, лампа на підставці, ключ, амперметр, з'єднувальні проводи.

ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ

II Підготовка до експерименту

1. Перш ніж розпочати роботу, переконайтеся, що ви добре знаєте:
 - 1) вимоги безпеки під час роботи з електричними колами;
 - 2) правила, яких необхідно дотримуватися під час вимірювання сили струму амперметром.
2. Визначте ціну поділки і межі вимірювання шкали амперметра.

III Експеримент

УВАГА!

Суворо дотримуйтеся правил безпеки!

1. Складіть електричне коло, яке зображено на рис. 1.
2. Виміряйте силу струму, приєднавши амперметр:
 - 1) між джерелом струму й лампою;
 - 2) між джерелом струму і ключем.
3. Накресліть схеми отриманих електричних кіл, поруч запишіть результати вимірювань.
4. Складіть електричне коло за схемою на рис. 2 й знову виміряйте силу струму. Запишіть отриманий результат.

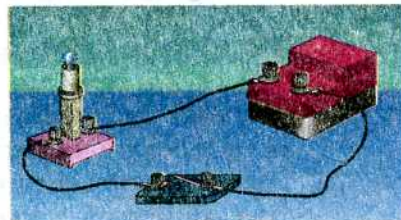


Рис. 1

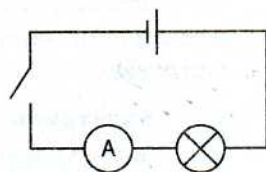


Рис. 2

IV Аналіз експерименту та його результатів

Проаналізувавши експеримент і отримані результати, зробіть висновок, у якому зазначте:

- 1) чого ви навчилися в процесі проведення експерименту;
- 2) чи залежить значення сили струму в досліджуваному колі від місця розташування в цьому колі амперметра.

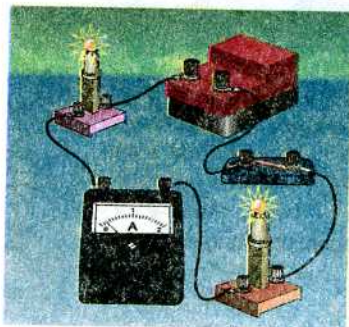


Рис. 3

**Творчі завдання**

1. Накресліть схему електричного кола, що зображене на рис. 3, і позначте на ній знаками («+», «-») полярність клем амперметра. Позначте на схемі точкими (А, В та ін.) можливі місця включення амперметра для вимірювання сили струму в лампах. Як, на вашу думку, зміниться показ амперметра, увімкнутого в коло, якщо одна з ламп перегорить?
2. Накресліть таку схему з'єднання двох ламп, джерела струму, амперметра й ключа, щоб перегорання одної лампи практично не впливало на показ амперметра.

§ 10. ЕЛЕКТРИЧНА НАПРУГА. ОДИНИЦЯ НАПРУГИ. ВОЛЬТМЕТР



Кожний, напевне, чув застережливе «Не підходь — там висока напруга!», обурене «Знову впала напруга в мережі!», запитальне «На яку напругу розрахований цей прилад?». Із даного параграфа ви дізнаєтеся, що таке напруга і чому на всіх електротехнічних пристроях наводять її значення.

**Даємо визначення електричної напруги**

У § 5 було доведено, що напрямлений рух вільних заряджених частинок (електричний струм) можливий завдяки дії на ці частинки сили з боку електричного поля. А з курсу фізики 8-го класу вам відомо, що коли тіло рухається під дією певної сили і напрямком руху тіла збігається з напрямком дії цієї сили, то сила виконує роботу. Отже, коли в певній ділянці кола існує струм, то електричне поле виконує роботу. Цю роботу прийнято називати *роботою струму*.

Робота, яку може виконати або виконує електричне поле, переміщуючи заряд по даній ділянці кола, визначається *електричною напругою*.



Електрична напруга на певній ділянці кола — це фізична величина, що чисельно дорівнює роботі електричного поля з переміщення одиничного позитивного заряду по цій ділянці.

Напругу позначають символом U й визначають за формулою

$$U = \frac{A}{q},$$

де A — робота, яку виконує (або може виконати) електричне поле з переміщення заряду q по даній ділянці кола.

Одиницею напруги в СІ є **вольт** (В). Ця одиниця одержала назву на честь італійського вченого А. Вольти (див. рис. 7.6).

1 В — це така напруга на ділянці кола, при якій електричне поле виконує роботу 1 Дж, переміщуючи по цій ділянці заряд, що дорівнює 1 Кл:

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

Крім вольт, на практиці часто застосовують кратні й частинні одиниці напруги: мікровольт (мкВ), мілівольт (мВ) та кіловольт (кВ):

$$1 \text{ мкВ} = 10^{-6} \text{ В}; 1 \text{ мВ} = 10^{-3} \text{ В}; 1 \text{ кВ} = 10^3 \text{ В}.$$

Так, електрична напруга на клітинній мембрані або мікросхипі становить кілька мікровольтів, а між хмарами під час грози — сотні кіловольтів.

2 Проводимо аналогію

Звернувшись до аналогії між електричним струмом і плином води (див. § 8), можна визначити, що напруга аналогічна різниці рівней води в посудинах.

Якщо рівні води в обох посудинах однакові, то вода з однієї посудини в іншу не переливатиметься. Аналогічно, якщо на кінцях ділянки електричного кола відсутня напруга, то струму в ділянці не буде.

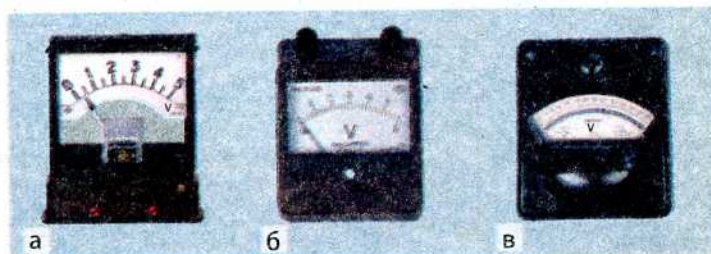
Чим більшою є різниця рівней води в посудинах, тим більшу роботу виконає сила тяжіння під час падіння води масою 1 кг. Відповідно чим більшою є напруга на кінцях ділянки кола, тим більшу роботу виконає сила, що діє з боку електричного поля, для переміщення заряду 1 Кл.

3 Вимірюємо напругу, знайомимось з вольтметром

Для вимірювання напруги використовують прилад, який називається **вольтметром** (рис. 10.1). Зовні вольтметр дуже схожий на амперметр.

Як і будь-який вимірювальний прилад, вольтметр не повинен впливати на значення вимірюваної величини. Тому вольтметр сконструйований таким чином, що в разі включення його в електричне коло значення напруги на цій ділянці кола практично не змінюється.

Рис. 10.1. Деякі види вольтметрів: а — шкільний демонстраційний; б — шкільний лабораторний; в — лабораторний із дзеркальною шкалою



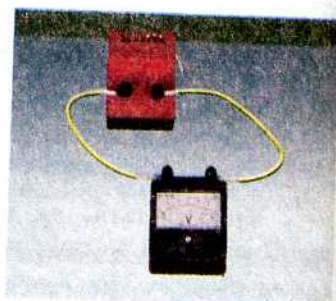
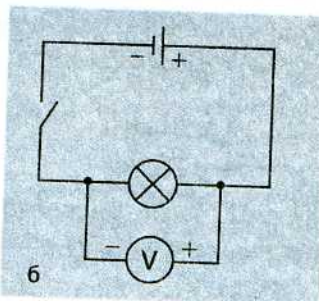
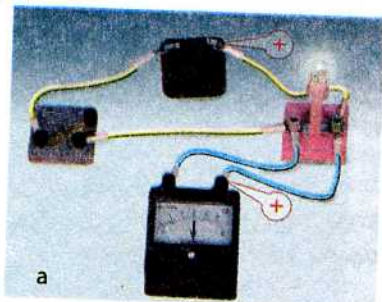


Рис. 10.2. Вимірювання вольтметром напруги на лампі:
а — загальний вигляд; б — схема електричного кола

Рис. 10.3. Вимірювання вольтметром напруги на полюсах джерела струму

Правила, яких необхідно дотримуватися під час вимірювання напруги вольтметром

1. Вольтметр приєднують паралельно до тієї ділянки кола, на якій необхідно виміряти напругу (рис. 10.2).
2. Клеми вольтметра, біля якої стоїть знак «+», слід з'єднувати з проводом, який іде від позитивного полюса джерела струму; клему зі знаком «-» — із проводом, що йде від негативного полюса джерела струму.
3. Для вимірювання напруги на полюсах джерела струму вольтметр приєднують безпосередньо до клем джерела (рис. 10.3).

4 Учимися розв'язувати задачі

Задача. Напруга на клеммах автомобільного акумулятора становить 12 В. З якої висоти має впасти вантаж масою 36 кг, щоб сила тяжіння виконала таку саму роботу, яку виконує електричне поле, переміщуючи заряд 300 Кл по одному з електричних кіл автомобіля?

Дано:

$$U = 12 \text{ В}$$

$$m = 36 \text{ кг}$$

$$A = A_{\text{струму}}$$

$$q = 300 \text{ Кл}$$

$$g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

$h = ?$

Аналіз фізичної проблеми

Оскільки за визначенням роботи $A = Fs$, а $F = F_{\text{тяж}} = mg$ і $s = h$, то робота, яку виконує сила тяжіння під час падіння вантажу, обчислюватиметься за формулою $A = mgh$. За умовою задачі ця робота дорівнює роботі струму. Отже, знайшовши роботу струму із формули, яка визначає напругу, обчислимо висоту падіння вантажу.

Пошук математичної моделі, розв'язання

$$U = \frac{A_{\text{струму}}}{q}, \text{ отже, } A_{\text{струму}} = Uq.$$

Оскільки $A_{\text{струму}} = A$, а $A = mgh$, то $Uq = mgh$; звідси $h = \frac{Uq}{mg}$.

Визначимо значення шуканої величини:

$$[h] = \frac{\text{В} \cdot \text{Кл}}{\text{кг} \cdot \frac{\text{Н}}{\text{кг}}} = \frac{\frac{\text{Дж}}{\text{Кл}} \cdot \text{Кл}}{\text{Н}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{Н}} = \text{м};$$

$$\{h\} = \frac{12 \cdot 300}{36 \cdot 10} = 10; h = 10 \text{ м.}$$

Відповідь: вантаж має впасти з висоти 10 м.

Підбиваємо підсумки

Фізична величина, що чисельно дорівнює роботі електричного поля з переміщення одиничного позитивного заряду по певній ділянці кола, називається електричною напругою на цій ділянці кола.

Напругу позначають символом U й визначають за формулою $U = \frac{A}{q}$, де A — робота, яку виконує (або може виконати) електричне поле для переміщення заряду q по даній ділянці кола.

Одиницею напруги в СІ є вольт (В). Один вольт — це така напруга на ділянці кола, при якій електричне поле виконує роботу 1 Дж, переміщуючи по цій ділянці заряд, що дорівнює 1 Кл $\left(1 \text{ В} = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ Кл}}\right)$.

Прилад для вимірювання напруги називають вольтметром. Вольтметр приєднують паралельно тій ділянці кола, напругу на якій необхідно виміряти.

Контрольні запитання

1. Доведіть, що коли в провіднику тече струм, то електричне поле виконує роботу.
2. Що називають напругою на певній ділянці кола?
3. За якою формулою визначають електричну напругу?
4. У яких одиницях вимірюють напругу?
5. Дайте визначення одиниці напруги.
6. Який прилад використовують для вимірювання напруги? Яких правил необхідно дотримуватися під час вимірювання напруги?

Вправа № 10

1. На рис. 1 зображено шкали різних вольтметрів. Визначте ціну поділки кожної шкали і напругу, що відповідає показам цих приладів.
2. На рис. 2 зображено схему електричного кола. Перерисуйте схему в зошит і покажіть на ній, де потрібно приєднати вольтметр, щоб виміряти напругу на лампі. Позначте полюси вольтметра.
3. У процесі переміщення по ділянці кола заряду, що дорівнює 3 Кл, електричне поле виконало роботу в 0,12 кДж. Визначте напругу на цій ділянці.
4. Яку роботу виконає електричне поле, перемістивши заряд 4 Кл, якщо напруга на цій ділянці кола дорівнює 12 В?
5. Електричне поле, переміщуючи по колу заряд 60 Кл, виконує таку саму роботу, як сила тяжіння під час падіння тягарця масою 200 г з висоти 360 м. Чому дорівнює напруга на клеммах джерела струму в колі?

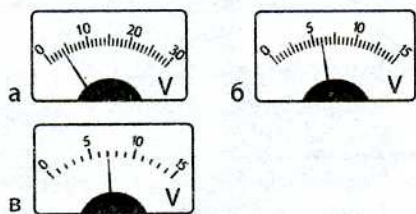


Рис. 1

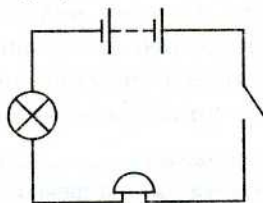
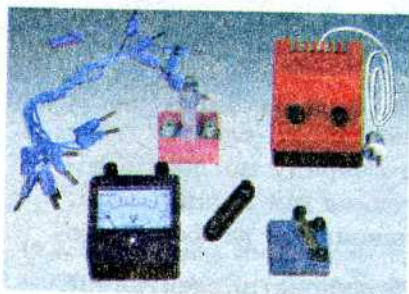


Рис. 2

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3



Тема. Вимірювання електричної напруги за допомогою вольтметра.

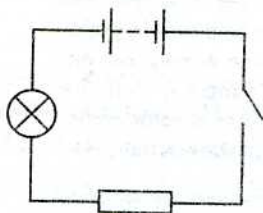
Мета: познайомитися з приладом для вимірювання напруги, навчитися ним користуватися й виміряти напругу на ділянці кола.

Обладнання: вольтметр, джерело струму, лампа на підставці, резистор, ключ, з'єднувальні проводи.

ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ

III Підготовка до експерименту

- Перш ніж виконувати роботу, переконайтеся, що ви знаєте:
 - 1) вимоги безпеки під час роботи з електричними колами;
 - 2) правила, яких необхідно дотримуватися під час вимірювання напруги за допомогою вольтметра.
- Визначте ціну поділки і межі вимірювання шкали вольтметра.



Елемент кола	Напруга U , В
Лампа	
Резистор	

IV Експеримент

- Складіть електричне коло за схемою, що зображена на рисунку.
- За допомогою вольтметра виміряйте напругу: а) на лампі; б) на резисторі.
- Результати вимірювань занесіть до таблиці.
- Для кожного вимірювання накресліть схему складеного електричного кола.

V Аналіз експерименту та його результатів

Проаналізувавши експеримент та його результати, зробіть висновок, у якому:

- азначте фізичну величину, яку ви вимірювали, та прилад, за допомогою якого ви це робили;
- порівняйте отримані значення вимірюваної величини та вкажіть елемент кола, на якому електричний струм виконав більшу роботу.

+ Творче завдання

Виміряйте напругу на ділянці кола, що складається з резистора й лампи. Накресліть схему відповідного електричного кола. Порівняйте отримане значення напруги із сумою напруг на обох пристроях. Поясніть результат.

§ 11. ЕЛЕКТРИЧНИЙ ОПІР. ЗАКОН ОМА

?

Згадайте механічний аналог електричного кола, запропонований у § 8 (див. рис. 8.4). А тепер уявіть, що досить тривалий час саме ви будете «черпальником», тобто маєте підтримувати обертання вертушки. Як це зробити з найменшими зусиллями? Скоріше за все, ви намагатиметеся зробити так, щоб вода з трубки виливалася повільніше, і, очевидно, для цього оберете дуже тонку трубку, а перепад рівней води у посудинах зробите якомога меншим.

Згадайте, що різниця рівней води — аналог напруги, а кількість води, що пройшла через трубку за 1 с, — аналог сили струму. Отже, можемо припустити, що сила струму на ділянці електричного кола зменшується в разі зменшення напруги і залежить від провідних властивостей провідника. Давайте перевіримо ці припущення.

1

Переконуємося, що сила струму в провіднику залежить від напруги на його кінцях

Складемо електричне коло, споживачем у якому буде металевий дріт, а джерелом струму — пристрій, на виході якого можна змінювати напругу. Для вимірювання сили струму та напруги на ділянці кола, що складається з металевого дроту, використаємо амперметр і вольтметр (рис. 11.1, а).

Дослід показує, що в разі збільшення напруги на дроті у 2 рази сила струму в ньому так само зростає у 2 рази (рис. 11.1, б); збільшення напруги на дроті у 2,5 разу приведе до зростання сили струму в ньому також у 2,5 разу (рис. 11.1, в) і т. д.

Таким чином, у скільки разів збільшиться (зменшиться) напруга на дроті, у стільки ж разів зростає (зменшиться) в ньому сила струму. Інакше кажучи, *сила струму в провіднику прямо пропорційна напрузі на кінцях провідника*. Цю залежність уперше експериментально встановив німецький учений *Г. Ом* (рис. 11.2) у 1826 р.

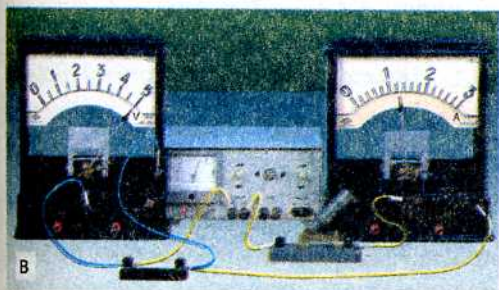
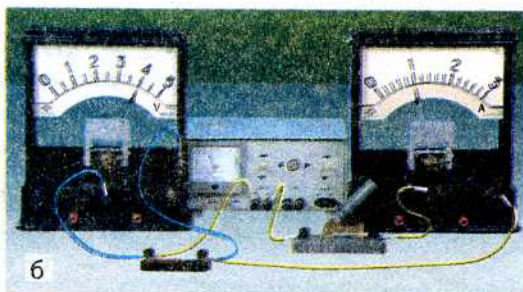
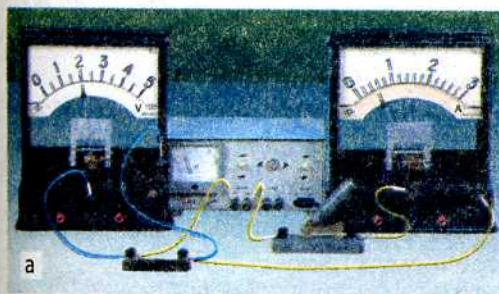


Рис. 11.1. Дослід, що демонструє залежність сили струму в провіднику від поданої на провідник напруги



Рис. 11.2. Георг Сімон Ом (1787–1854) — німецький фізик, у 1826 р. експериментально відкрив закон, що був згодом названий його ім'ям

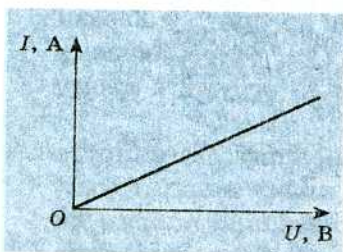


Рис. 11.3. Графік залежності сили струму в провіднику від напруги на його кінцях — пряма лінія

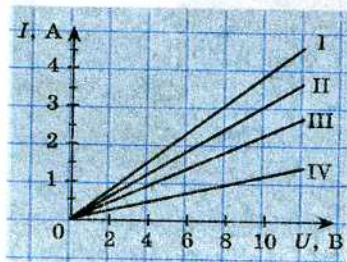


Рис. 11.4. Залежність сили струму від напруги для різних провідників

З курсу математики вам відомо, що таку залежність можна виразити формулою $I = kU$ (k — коефіцієнт пропорційності) і подати у вигляді графіка, зображеного на рис. 11.3. Залежність сили струму в провіднику від напруги на його кінцях називають *вольт-амперною характеристикою провідника*; зазвичай її подають у вигляді графіка (див. рис. 11.3) або таблиці.

2 Знайомимосся з електричним опором

Провівши дослід, описаний у п. 1, з іншими провідниками, побачимо: щоразу сила струму в провіднику є пропорційною напрузі на його кінцях ($I = kU$), а от коефіцієнт пропорційності для кожного випадку буде різним, про що свідчать різні кути нахилу графіків (рис. 11.4).

Таким чином, *сила струму в провіднику залежить не тільки від напруги на його кінцях, але й від властивостей самого провідника*.

На практиці залежність $I = kU$ частіше записують у вигляді $I = \frac{1}{R}U$ або $I = \frac{U}{R}$, де R — *електричний опір провідника**. Чим більший опір має провідник, тим менша в ньому сила струму за тієї самої напруги на кінцях провідника. Саме тому величина R одержала таку назву. Провідник, який має опір, створює протидію напрямленому руху зарядів у ньому, і при цьому частина електричної енергії перетворюється на внутрішню енергію провідника — аналогічно тому, як сила опору в механіці протидіє механічному рухові тіл і при цьому частина механічної енергії перетворюється на внутрішню.

Електричний опір — це фізична величина, яка характеризує властивість провідника протидіяти електричному струму.

Одиниця опору в СІ — **Ом (ом)**.

1 Ом — це опір такого провідника, в якому при напрузі на кінцях 1 В сила струму дорівнює 1 А:

$$1 \text{ Ом} = 1 \frac{\text{В}}{\text{А}}.$$

* Величину $\frac{1}{R}$ у фізиці називають *провідністю*. Одиниця провідності в СІ — *сименс (См)*, названа так на честь німецького фізика й електротехніка *Ернста Сименса* (1816–1892). 1 См — електрична провідність провідника з опором 1 Ом.

Більшість радіоелектронних пристроїв неможливо уявити без *резисторів* — деталей, що забезпечують певні опори (рис. 11.5). Опір резистора позначають на його корпусі.

3 Формулюємо закон Ома для ділянки кола
Усе те, що ви дізналися про опір провідника та про залежність сили струму в провіднику від напруги на його кінцях, справджується і для ділянки кола, яка містить будь-яку кількість провідників. Отже, **закон Ома для ділянки кола** формулюється так:

Сила струму в ділянці кола прямо пропорційна напрузі на кінцях цієї ділянки.

Математичним записом закону Ома є формула:

$$I = \frac{U}{R},$$

де R — опір ділянки кола, який залежить тільки від властивостей провідників, що складають ділянку.

Закон Ома — один із найважливіших фізичних законів, і більша частина розрахунків електричних кіл в електротехніці ґрунтується саме на ньому.

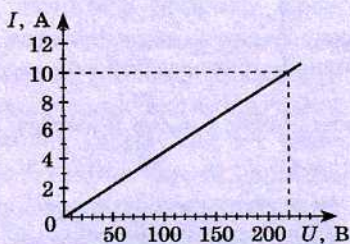
4 Учимося розв'язувати задачі

Задача. На рисунку подано вольт-амперну характеристику деякого металевого провідника. Скориставшись рисунком, визначте опір провідника.

Дано:

$$U = 220 \text{ В}$$

$$I = 10 \text{ А}$$



Аналіз фізичної проблеми
Графік залежності сили струму від напруги — це пряма лінія, тому для визначення опору скористаємося координатами будь-якої точки графіка та законом Ома.

R — ?

Пошук математичної моделі, розв'язання
За графіком визначимо, що, наприклад, при напрузі 220 В сила струму в провіднику дорівнює 10 А.

Відповідно до закону Ома $I = \frac{U}{R}$, отже, $R = \frac{U}{I}$.

Визначимо значення шуканої величини:

$$[R] = \frac{\text{В}}{\text{А}} = \text{Ом}; \{R\} = \frac{220}{10} = 22; R = 22 \text{ Ом}.$$

Відповідь: опір провідника становить 22 Ом.

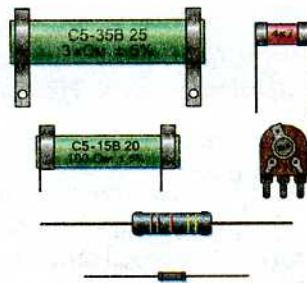


Рис. 11.5. Різні типи резисторів, що використовують в електротехніці

Підбиваємо підсумки

Сила струму в ділянці кола прямо пропорційна напрузі на кінцях даної ділянки. Цю закономірність називають законом Ома для ділянки кола та математично виражають формулою $I = \frac{U}{R}$, де R — опір ділянки, який залежить тільки від властивостей провідників, що її складають.

Електричний опір — це фізична величина, що характеризує властивість провідника протидіяти електричному струму.

Одиниця опору в СІ — Ом. 1 Ом — це опір такого провідника, у якому тече струм силою 1 А при напрузі на кінцях провідника 1 В.

**Контрольні запитання**

1. Як на досліді показати, що сила струму в провіднику пропорційна напрузі на його кінцях?
2. Як на досліді показати, що сила струму в провіднику залежить від властивостей провідника?
3. Що таке опір провідника?
4. На честь якого вченого названо одиницю опору провідника?
5. Що таке 1 Ом?
6. Сформулюйте закон Ома для ділянки кола.

**Вправа № 11**

1. На рис. 11.4 подано вольт-амперні характеристики кількох провідників. Визначте опори цих провідників.
2. Сила струму, що протікає у спіралі кип'ятильника, дорівнює 1,5 А. Визначте напругу на спіралі, якщо її опір становить 150 Ом.
3. Якщо на деякій ділянці кола напруга становить 12 В, то сила струму в цій ділянці дорівнює 0,6 А. Якою буде сила струму в ділянці, якщо до її кінців прикласти напругу 6 В? 20 В? 1 В?
4. У вольтметрі, який показує 120 В, сила струму дорівнює 15 мА. Визначте опір вольтметра.
5. Опір провідника дорівнює 2 Ом. Подайте вольт-амперну характеристику цього провідника у вигляді графіка.
6. По провіднику, до кінців якого прикладена напруга 12 В, за 5 хв пройшов заряд 60 Кл. Визначте опір провідника.
7. Користуючись показами приладів, які зображені на рис. 1, визначте опір електричної лампи.
8. Якщо в електричному колі, поданому на рис. 2, замкнути ключ, то стрілка амперметра розміститься так, як показано на рисунку. Визначте ціну поділки шкали амперметра.
9. Чи залежить опір провідника від сили струму в ньому й напруги на його кінцях? Поясніть свою відповідь.

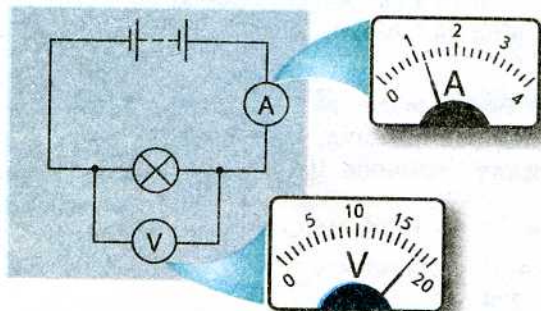


Рис. 1

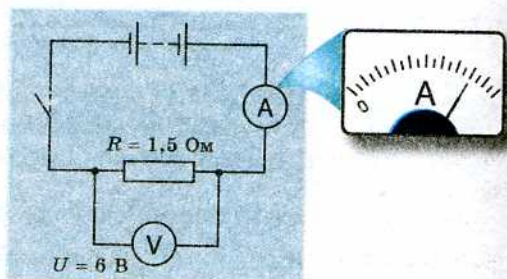


Рис. 2

§ 12. ПИТОМИЙ ОПІР РЕЧОВИНИ.

РОЗРАХУНОК ОПОРУ ПРОВІДНИКА. РЕОСТАТИ



Ми так звикли до різноманітних технічних пристроїв, що часто не замислюємося, як саме вони працюють. Наприклад, кожен із вас збільшував гучність звуку радіо чи телевізора або спостерігав за тим, як поступово гасне світло в кінозалі перед початком сеансу. Але чи ставили ви перед собою питання, як це вдається? Спробуємо розібратися. А ще ви дізнаєтеся, чому в разі виготовлення проводів для ліній електропередачі або електропроводки для помешкань зазвичай використовують алюміній і мідь, а не значно дешевшу сталь.

1 З'ясуємо, від чого залежить опір провідника

Коли по металевому провіднику йде струм, то вільні електрони, рухаючись напрямлено, зіштовхуються з йонами, розташованими у вузлах кристалічної ґратки металу. У результаті цих зіткнень середня швидкість напрямленого руху заряджених частинок зменшується: провідник чинить опір електричному струмові.

Відомо, що *опір провідника залежить від його довжини, площі поперечного перерізу, а також від речовини, з якої він виготовлений*. Переконаємося в цьому за допомогою дослідів, змінюючи кожного разу тільки один із зазначених параметрів. Опір провідника будемо визначати, скориставшись законом Ома. Тобто, вимірявши амперметром силу струму I в провіднику, а вольтметром — напругу U , легко обчислимо опір провідника: $R = \frac{U}{I}$.

Спочатку з'ясуємо, як опір провідника залежить від його довжини. Для цього складемо електричне коло з джерела струму, резистора і тонкого довгого провідника з ніхром, натягнутого на дерев'яну лінійку з двома клемами. Довжину провідника змінюватимемо за допомогою повзунка — спеціального затискача, який можна легко пересувати вздовж провідника. Для вимірювання сили струму та напруги до кола приєднаємо амперметр і вольтметр (рис. 12.1).

Провівши відповідні дослідження, переконаємося, що в разі зменшення довжини провідника його опір зменшується, і навпаки, в разі збільшення довжини провідника його опір зростає. Причому в скільки разів збільшується (зменшується) довжина провідника, у стільки ж разів збільшується (зменшується) його опір. Численними дослідом доведено, що *опір провідника прямо пропорційний його довжині*.

Щоб з'ясувати, як залежить опір провідника від площі його поперечного перерізу, візьмемо кілька закріплених на панелі ніхромових

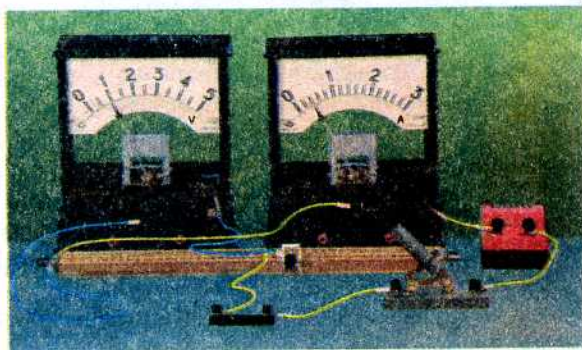


Рис. 12.1. Дослід, який доводить, що опір провідника прямо пропорційний його довжині

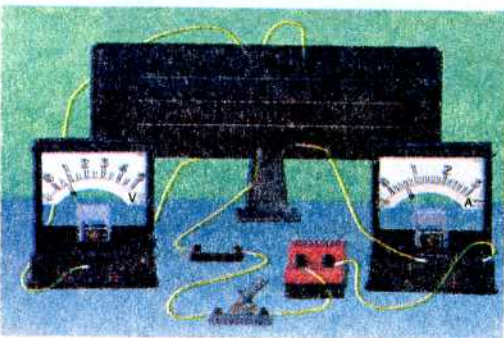


Рис. 12.2. Дослід, який доводить, що опір провідника обернено пропорційний площі його поперечного перерізу

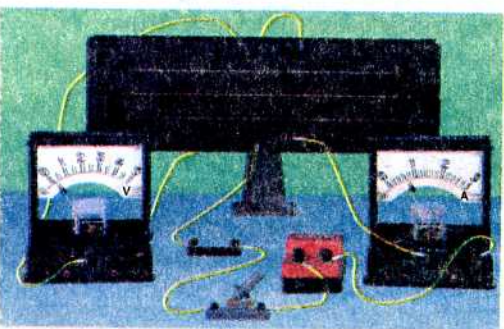


Рис. 12.3. Дослід, який доводить, що опір провідника залежить від речовини, з якої виготовлений провідник

провідників, однакових за довжиною, але різних за площею поперечного перерізу (рис. 12.2). Дослід показує, що збільшення вдвічі площі поперечного перерізу провідника спричиняє дворазове зменшення його опору, і навпаки, зменшення вдвічі площі поперечного перерізу приводить до дворазового збільшення опору провідника. Отже, *опір провідника обернено пропорційний площі його поперечного перерізу*.

Якщо провести описані вище досліді для провідників, однакових за довжиною і площею поперечного перерізу, але виготовлених із різних речовин (наприклад, міді, алюмінію, ніхрому) (рис. 12.3), переконаємося, що *опір провідника залежить від речовини, з якої цей провідник виготовлений*.

Підсумовуючи результати дослідів, можна записати формулу:

$$R = \rho \frac{l}{S},$$

де R — опір провідника, l — його довжина, S — площа його поперечного перерізу; ρ — коефіцієнт пропорційності, що залежить від речовини, з якої виготовлений провідник. Цей коефіцієнт називають *питомим опором речовини*.

2

З'ясуємо, що таке питомий опір речовини

Щоб дати визначення питомому опору речовини, звернемося до формули для обчислення опору: $R = \rho \frac{l}{S}$. З неї випливає, що $\rho = \frac{RS}{l}$. Тобто якщо $l = 1\text{ м}$, $S = 1\text{ м}^2$, то $\{\rho\} = \{R\}$.

Питомий опір речовини — це фізична величина, яка характеризує електричні властивості даної речовини й чисельно дорівнює опору виготовленого з неї провідника завдовжки 1 м і площею поперечного перерізу 1 м².

Одиниця питомого опору в СІ — **ом-метр** (Ом·м).

На практиці здебільшого мають справу з провідниками, площі поперечних перерізів яких досить малі. Тому часто як одиницю питомого опору речовини використовують $\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$. Оскільки $1\text{ мм}^2 = 1 \cdot 10^{-6}\text{ м}^2$, то $1 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}} = 1 \cdot 10^{-6}\text{ Ом} \cdot \text{м}$.

3 Порівнюємо питомі опори деяких речовин

Опори провідників, які мають однакові геометричні розміри, але виготовлені з різних речовин, суттєво відрізняються. А це означає, що й питомі опори речовин є різними. Досліди показують, що значення *питомого опору* зумовлене *хімічною природою речовини та істотно залежить від її температури*.

Питомі електричні опори деяких речовин (за температури 20°C)

Речовина	$\rho, \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$	Речовина	$\rho, \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$
Срібло	0,016	Ніхром (сплав)	1,1
Мідь	0,017	Фехраль (сплав)	1,3
Золото	0,024	Графіт	13
Алюміній	0,028	Вода морська	$3 \cdot 10^5$
Вольфрам	0,055	Вода дистильована	$10^9 - 10^{10}$
Латунь	0,07–0,08	Деревина суха	$10^{15} - 10^{16}$
Залізо	0,10	Пінопласт	10^{17}
Платина	0,10	Гума	$10^{17} - 10^{18}$
Свинець	0,21	Скло	$10^{15} - 10^{19}$
Нікелін (сплав)	0,42	Порцеляна	10^{19}
Манганін (сплав)	0,43	Ебоніт	$10^{18} - 10^{20}$
Константан (сплав)	0,50	Слюда	$10^{17} - 10^{21}$
Ртуть	0,96	Повітря	$10^{21} - 10^{24}$

З таблиці бачимо, що з-поміж усіх металів найменший питомий опір мають срібло, мідь, золото й алюміній. Отже, у разі виготовлення електропроводки для побутових і виробничих приміщень або проводів для ліній електропередачі доцільно використовувати мідні та алюмінієві проводи.

Питомий опір гуми, порцеляни, ебоніту дуже великий. Отже, ці речовини практично не проводять електричного струму, і тому в електротехніці їх використовують як ізолятори.

4 Знайомимося з реостатами

На тому факті, що опір провідника прямо пропорційний його довжині, базується принцип дії *реостата* (від грец. *rheos* — течія, потік; *statos* — який стоїть).

Реостат — це пристрій зі змінним опором, призначений для регулювання сили струму в ділянці електричного кола.

Реостат, включений в електричне коло пристрою, дозволяє змінювати силу струму, а отже, налаштовувати гучність звуку радіоприймача, регулювати яскравість світіння лампи тощо.

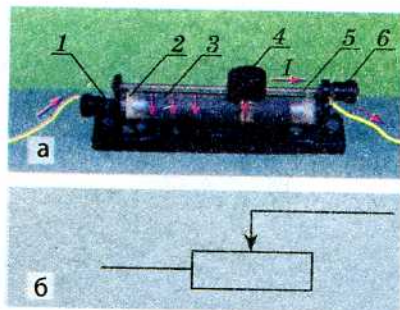


Рис. 12.4. Двоконтактний повзунковий реостат: *a* — зовнішній вигляд; 1, 6 — клеми; 2 — керамічний циліндр; 3 — металевий дріт (обмотка); 4 — повзунок; 5 — металевий стрижень; 6 — умовне позначення на схемах

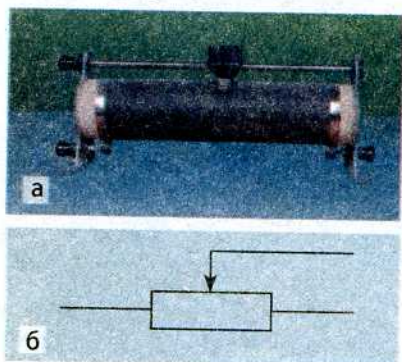


Рис. 12.5. Триконтактний повзунковий реостат: *a* — зовнішній вигляд; *b* — умовне позначення на схемах

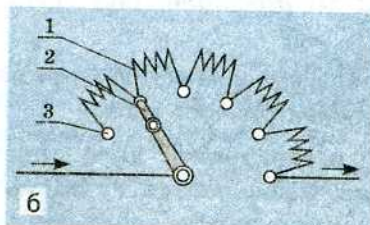
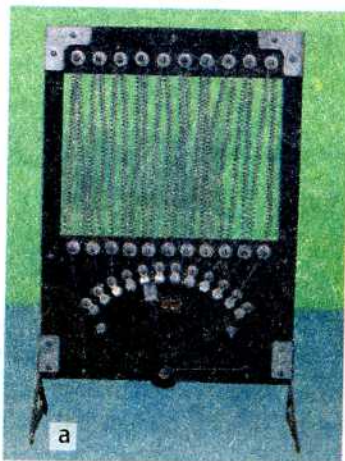


Рис. 12.6. Важільний (секційний) реостат: *a* — зовнішній вигляд; *b* — схема: 1 — металевий дріт; 2 — важіль; 3 — контакт; стрілками показано напрямки проходження струму

З найпростішим реостатом ви вже зустрічалися, коли з'ясовували залежність опору провідника від його довжини (див. рис. 12.1). Звичайно, що реостати, які застосовують на практиці, більш зручні. Розглянемо, наприклад, *двоконтактний повзунковий реостат* (рис. 12.4). Металевий дріт (3) намотують на керамічний циліндр (2) і таким чином зменшують габарити реостата. Над обмоткою закріплюють металевий стрижень (5), по якому переміщують міцно притиснутий до обмотки ковзний контакт — повзунок (4).

Реостат має дві клеми (два контакти), одна з яких (6) з'єднана зі стрижнем, а друга (1) — з обмоткою. Коли реостат приєднаний до кола, електричний струм проходить від однієї клеми до другої — по витках обмотки до повзунка, а потім по стрижню.

Пересуваючи повзунок уздовж обмотки, плавно збільшують або зменшують довжину ділянки, в якій проходить струм. У результаті опір реостата так само плавно збільшується або зменшується, а це, згідно із законом Ома, приводить до плавної зміни сили струму.

Повзунковий реостат може мати три клеми. Такий реостат називають *триконтактним повзунковим реостатом*. Його можна використовувати для змінювання не тільки сили струму в колі, але й напруги (рис. 12.5). Під час роботи в режимі *дільника напруги* реостат вмикають за допомогою всіх трьох клем. Із принципом дії дільника напруги ви познайомитеся в наступному параграфі.

Крім повзункових реостатів на практиці використовують й інші типи реостатів, наприклад *важільні (секційні) реостати* (рис. 12.6). На відміну від повзункових, опір

важільних реостатів змінюється стрибками (поміркуйте чому), відповідно стрибками змінюється й сила струму. Важільні реостати застосовують для вмикання й вимикання електродвигунів.

Кожний реостат розрахований на певну напругу. Максимальний опір реостата й найбільша можлива напруга для нього зазначені в спеціальній табличці, розміщеній на корпусі пристрою.

Обмотки реостатів зазвичай виготовляють із металів (або їх сплавів) з високим питомим опором (константан, манганін, ніхром, фехраль).

5 Учимся розв'язувати задачі

Задача 1. Обчисліть силу струму в мідному провіднику, який має довжину 10 м і площу поперечного перерізу 0,5 мм², якщо напруга на кінцях провідника становить 34 мВ.

Дано:

$$l = 10 \text{ м}$$

$$S = 0,5 \text{ мм}^2$$

$$U = 0,034 \text{ В}$$

$$\rho = 0,017 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$$

$I = ?$

Аналіз фізичної проблеми

Силу струму можна обчислити за законом Ома. Однак, щоб застосувати цю формулу, необхідно обчислити опір провідника. Скористаємося формулою для розрахунку опору провідника; питомий опір міді знайдемо у відповідній таблиці.

Пошук математичної моделі, розв'язання

Відповідно до закону Ома $I = \frac{U}{R}$ (1).

Опір провідника визначається за формулою

$R = \rho \frac{l}{S}$ (2). Підставимо формулу (2) у формулу (1):

$$I = \frac{U}{\rho \cdot \frac{l}{S}} = \frac{U \cdot S}{\rho \cdot l}$$

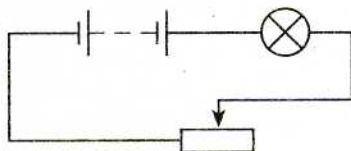
Визначимо значення шуканої величини:

$$[I] = \frac{\text{В} \cdot \frac{\text{мм}^2}{\text{м}}}{\frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}} = \frac{\text{В} \cdot \text{мм}^2}{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2} = \frac{\text{В}}{\text{А}} = \text{А};$$

$$\{I\} = \frac{0,034 \cdot 0,5}{0,017 \cdot 10} = 0,1; \quad I = 0,1 \text{ А.}$$

Відповідь: сила струму в провіднику становить 0,1 А.

Задача 2. На рисунку зображено схему електричного кола, яке складається з джерела струму, електричної лампи та реостата. Як зміниться розжарення волоска лампи, якщо повзунок реостата пересунути праворуч?



Аналіз фізичної проблеми, розв'язання

Якщо пересунути повзунок реостата праворуч, довжина обмотки, в якій тече струм, збільшиться. Отже, опір реостата теж збільшиться, відповідно збільшиться й загальний опір ділянки кола. Оскільки загальна напруга на ділянці кола не змінилася, то збільшення опору приведе до зменшення сили струму (згідно із законом Ома). Таким чином, розжарення волоска лампи зменшиться (лампа світитиме менш яскраво).

Відповідь: розжарення волоска лампи зменшиться.

! Підбиваємо підсумки

Опір R провідника прямо пропорційний його довжині l , обернено пропорційний площі S його поперечного перерізу й залежить від речовини, з якої виготовлений провідник: $R = \rho \frac{l}{S}$, де ρ — питомий опір речовини.

Питомий опір речовини — це фізична величина, яка характеризує електричні властивості даної речовини й чисельно дорівнює опору виготовленого з неї провідника завдовжки 1 м, площею поперечного перерізу 1 м².

Для регулювання сили струму в колі застосовують реостати — пристрої, опір яких можна змінювати.

На практиці застосовують повзункові, важільні (секційні) та інші реостати.

? Контрольні запитання

1. Доведіть, що провідник чинить опір електричному струму.
2. Як довести, що опір провідника прямо пропорційний його довжині?
3. Чи залежить опір провідника від площі його поперечного перерізу? Якщо залежить, то як?
4. За якою формулою обчислюють опір провідника?
5. Що таке питомий опір речовини?
6. Якими властивостями речовини визначається можливість її використання для виготовлення електропроводки?
7. Що таке реостат?
8. Які види реостатів ви знаєте? Чим вони відрізняються один від одного?
9. Опишіть будову та принцип дії повзункового реостата.
10. Як позначають повзунковий реостат на схемі?

**Вправа № 12**

1. На рис. 1 зображено провідники, що мають однакову площу поперечного перерізу, але виготовлені з різних речовин (заліза, міді, свинцю). Визначте, з якої речовини виготовлений кожний провідник, якщо відомо, що їхні опори однакові.
2. Скориставшись рис. 2, опишіть принцип дії штепсельного реостата.
3. Обчисліть опір мідного дроту завдовжки 1 км, якщо площа його поперечного перерізу становить 0,68 см².

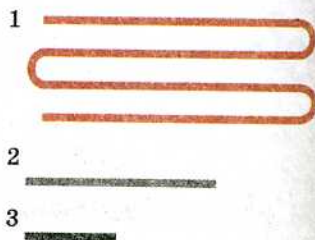


Рис. 1

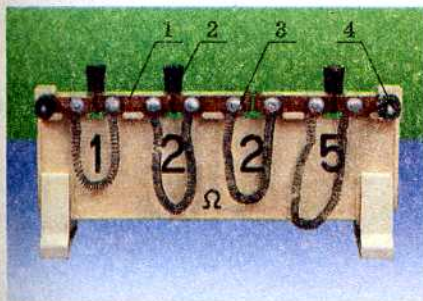


Рис. 2. Штепсельний реостат (магазин опорів): 1 — мідна пластина; 2 — штепсель; 3 — спіраль; 4 — затискач

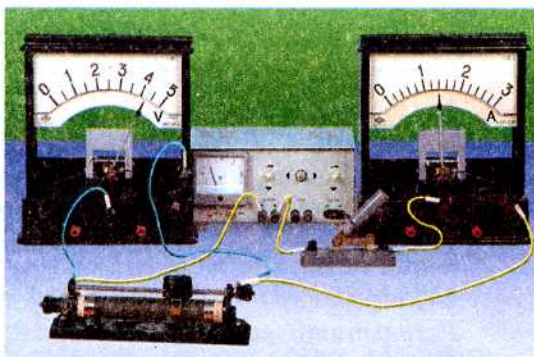


Рис. 3

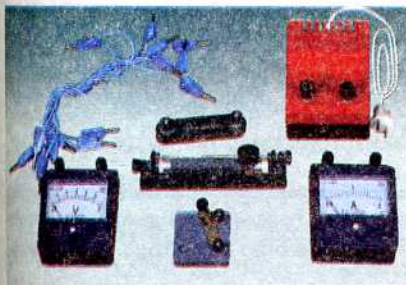
4. Ізольований дріт, що має опір 25 Ом, розрізали навпіл і половини звили. Як і в скільки разів змінився опір дроту? Поясніть свою відповідь.
5. Накресліть схему електричного кола, зображеного на рис. 3. За показами електровимірювальних приладів обчисліть опір увімкненої частини реостата. Як зміняться отримане вами значення та покази приладів, якщо повзунок реостата пересунути праворуч?
6. Яким має бути за довжиною ніхромовий дріт з площею поперечного перерізу $0,2 \text{ мм}^2$, щоб під час проходження в ньому струму в $0,4 \text{ А}$ напруга на його кінцях становила $4,4 \text{ В}$?
7. При струмі 15 А напруга на мідному проводі завдовжки 10 м становить $0,85 \text{ В}$. Визначте діаметр проводу.
- 8*. Під час проходження електричного струму в алюмінієвому дроті завдовжки 100 м напруга на ньому становить 1 В . Чому дорівнює маса алюмінієвого дроту, якщо сила струму в ньому 15 А ? Густина алюмінію $2700 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.



Експериментальне завдання

Виготовте зі сталевго дроту резистор, що має опір $0,2 \text{ Ом}$. Опишіть свої дії. Не забудьте зазначити діаметр і довжину використовуваного дроту.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4



Тема. Вимірювання опору провідника за допомогою амперметра та вольтметра.

Мета: навчитися визначати опір провідника за допомогою амперметра та вольтметра; переконатися на досліді в тому, що опір провідника не залежить від сили струму в ньому та напруги на його кінцях.

Обладнання: джерело струму, резистор, повзунковий реостат, амперметр, вольтметр, ключ, з'єднувальні проводи.

ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ

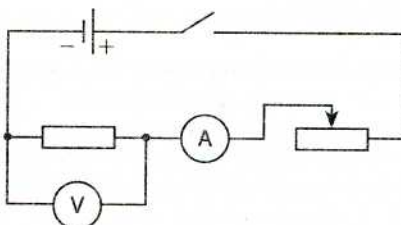
II Підготовка до експерименту

- Перш ніж виконувати роботу, переконайтеся, що ви знаєте:
 - 1) вимоги безпеки під час роботи з електричними колами;
 - 2) правила, яких необхідно дотримуватися, здійснюючі вимірювання за допомогою амперметра та вольтметра.
- Визначте ціну поділки шкал вольтметра та амперметра.

▶ Експеримент

Результати вимірювань відразу ж заносьте до таблиці.

- Складіть електричне коло за схемою, що зображена на рисунку:



- Замкніть коло і виміряйте напругу на резисторі та силу струму в ньому.
- Повільно пересуваючи повзунок реостата, збільшіть силу струму в колі. Запишіть покази вольтметра та амперметра.
- Пересуньте повзунок реостата у протилежний бік і ще раз виміряйте напругу та силу струму.

▶ Опрацювання результатів експерименту

- Обчисліть опір резистора для кожного випадку.
- Результати обчислень занесіть до таблиці.

Номер досліду	Сила струму I , А	Напруга U , В	Опір R , Ом
1			

□ Аналіз експерименту та його результатів

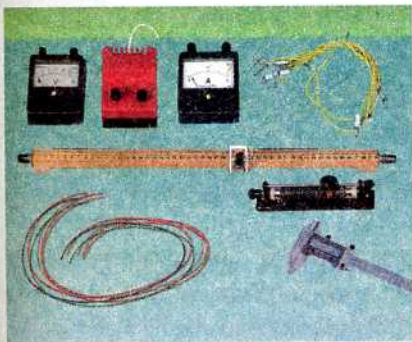
Проаналізувавши експеримент та його результати, зробіть висновок, у якому зазначте:

- яку фізичну величину і за допомогою яких приладів ви навчилися вимірювати;
- чи залежить вимірювана величина від сили струму в резисторі та напруги на ньому;
- чинники, що вплинули на точність вимірювання.

+ Творче завдання

За отриманими в ході експерименту даними побудуйте графік, що відображає вольт-амперну характеристику резистора. За графіком визначте опір резистора та порівняйте його з результатами ваших обчислень.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5



Тема. Вивчення залежності електричного опору провідника від його довжини, площі поперечного перерізу, речовини, з якої він виготовлений.

Мета: з'ясувати, як залежить електричний опір провідника від його довжини та площі поперечного перерізу; довести, що електричний опір провідника залежить від речовини, з якої він виготовлений.

Обладнання: джерело струму, вольтметр, амперметр, реостат, ізоляційна панель для дроту, три дроти, виготовлені з тієї самої речовини й однакові за довжиною і діаметром; три дроти, виготовлені з різних речовин, однакові за довжиною і діаметром; з'єднувальні проводи; штангенциркуль або мікрометр.

ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ

Підготовка до експерименту

1. Перш ніж виконувати роботу, переконайтеся, що ви знаєте:
 - 1) вимоги безпеки під час роботи з електричними колами;
 - 2) правила, яких необхідно дотримуватися, здійснюючи вимірювання за допомогою амперметра та вольтметра.
2. Визначте ціну поділки шкал амперметра й вольтметра.

Експеримент

1. Дослідіть залежність опору провідника від його довжини. Для цього виконайте такі дії (*результати вимірювань і обчислень відразу ж заносьте до табл. 1*):
 - 1) візьміть один із дротів, що виготовлені з тієї самої речовини й однакові за довжиною і діаметром, і закріпіть його за допомогою клем на ізоляційній панелі;
 - 2) складіть електричне коло за схемою, зображеною на с. 68, виміряйте силу струму в дроті й напругу на ньому;
 - 3) зменшивши довжину дроту спочатку у два, а потім у чотири рази, знову виміряйте силу струму в дроті й напругу на ньому;
 - 4) обчисліть для кожного випадку опір дроту за формулою
$$R = \frac{U}{I};$$
 - 5) зробіть висновок про характер залежності опору провідника від його довжини.

Таблиця 1

Номер досліджу	Напруга $U, В$	Сила струму $I, А$	Довжина провідника l	Опір $R, Ом$
1			l	
2			$l/2$	
3			$l/4$	

2. Дослідіть залежність опору провідника від площі його поперечного перерізу (*результати вимірювань і обчислень одразу ж заносьте до табл. 2*). Використайте три дроти, які виготовлені з тієї самої речовини та однакові за довжиною і діаметром. Вважайте, що, коли до клем підключений один дріт, площа поперечного перерізу провідника становить S , коли до тієї самої пари клем підключені два дроти — $2S$, а коли три дроти — $3S$.

Для кожного випадку виміряйте силу струму в провіднику, напругу на ньому та обчисліть опір провідника.

Зробіть висновок про характер залежності опору провідника від площі його поперечного перерізу.

Таблиця 2

Номер досліджу	Напруга $U, В$	Сила струму $I, А$	Площа поперечного перерізу провідника S	Опір $R, Ом$
1			S	
2			$2S$	
3			$3S$	

3. Доведіть, що опір провідника залежить від речовини, з якої виготовлений провідник (*результати вимірювань і обчислень одразу ж заносьте до табл. 3*). Для експерименту використайте три дроти, виготовлені з різних речовин, однакові за довжиною і діаметром.

Зробіть висновок про характер залежності опору провідника від речовини, з якої він виготовлений.

Таблиця 3

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

■ Аналіз експерименту та його результатів

Проаналізувавши експеримент і його результати, зробіть висновок, у якому зазначте:

- 1) як залежить електричний опір від довжини провідника та площі його поперечного перерізу;
- 2) чи залежить опір провідника від речовини, з якої він виготовлений;
- 3) які чинники могли вплинути на точність отриманих результатів.



Творче завдання

Експериментально визначте питомий опір речовини, з якої виготовлений один із дрітків, використаних під час експерименту. Поясніть, чому отримане вами значення може відрізнятися від поданого в таблиці питомих опорів (див. с. 63).

§ 13. ПОСЛІДОВНЕ З'ЄДНАННЯ ПРОВІДНИКІВ



Уявіть плеєр без кнопки «Включення/виключення», тобто такий, який можна, наприклад, виключити, тільки витягнувши з його корпусу акумулятор. Дуже незручно, справді? Але відсутність вимикача — це тільки незручності у користуванні, а от неправильне підключення вимикача до електричного кола може призвести до неприємності (плеєр може вийти з ладу). Про те, як потрібно підключати вимикач до пристроїв та приладів і які особливості має таке з'єднання, ви дізнаєтеся з цього параграфа.

1 Вивчаємо характерні риси та властивості кола, яке складається з послідовно з'єднаних провідників

Електричне коло, подане на рис. 13.1, не має розгалужень, тобто елементи кола розташовані послідовно один за одним. Таке з'єднання називають *послідовним*.

Зверніть увагу: якщо один із послідовно з'єднаних провідників вийде з ладу, то решта теж не працюватимуть, бо *коло буде розімкненим*.

Ви вже використовували послідовне з'єднання провідників, коли вимірювали силу струму за допомогою амперметра (див. лабораторну роботу № 2), отже, без особливих зусиль можете передбачити результати досліду, поданого на рис. 13.2, і зробити висновок про те, що у разі послідовного з'єднання провідників загальна сила струму в колі та сила струму в кожному провіднику однакові: $I = I_1 = I_2$.

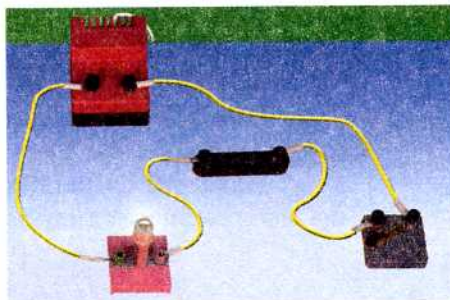


Рис. 13.1. Послідовне з'єднання кількох провідників

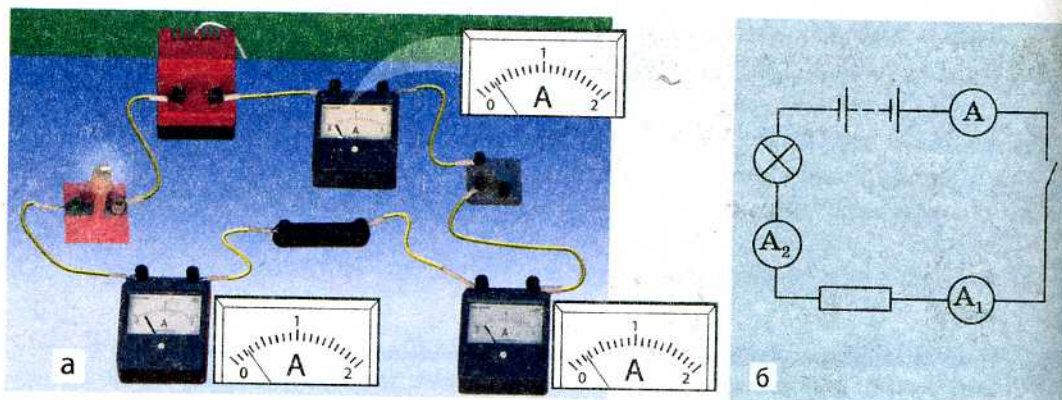


Рис. 13.2. Вимірювання сили струму в різних ділянках електричного кола, яке складене з послідовно з'єднаних провідників: а — загальний вигляд; б — схема електричного кола. Сила струму в кожному провіднику однакова

Дійти такого висновку можна шляхом простих розмірковувань. Оскільки коло з послідовним з'єднанням провідників не містить розгалужень, то заряд, який пройшов через поперечний переріз будь-якого провідника за певний час t , буде однаковим: $q = q_1 = q_2$. Поділивши цей вираз на t , отримуємо: $\frac{q}{t} = \frac{q_1}{t} = \frac{q_2}{t}$. Отже, $I = I_1 = I_2$.

Щоб з'ясувати, яким співвідношенням пов'язані загальна напруга U на двох послідовно з'єднаних провідниках та напруги U_1 і U_2 на першому та другому провідниках відповідно, згадаємо формулу для обчислення напруги: $U = \frac{A}{q}$.

Якщо електричне поле здійснює роботу A_1 з переміщення заряду q в першому провіднику і A_2 — у другому, то зрозуміло, що для переміщення заряду через обидва провідники має бути здійснена робота $A = A_1 + A_2$. Поділивши обидві частини рівності на q , отримаємо: $\frac{A}{q} = \frac{A_1}{q} + \frac{A_2}{q}$, або $U = U_1 + U_2$. Отже, загальна напруга U на двох послідовно з'єднаних провідниках дорівнює сумі напруги U_1 на першому провіднику та напруги U_2 на другому провіднику.

Одержаний висновок легко перевірити експериментально (рис. 13.3).

Наведені співвідношення справджуються для будь-якої кількості послідовно з'єднаних провідників. Отже:

$$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n;$$

$$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n,$$

де n — кількість провідників.

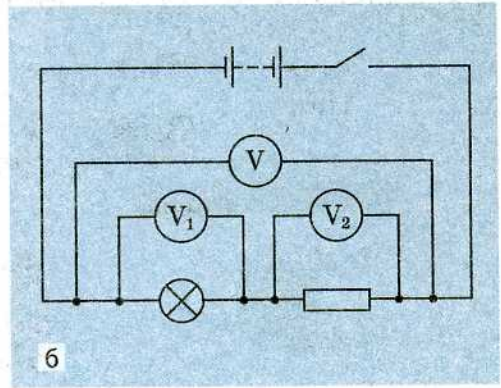
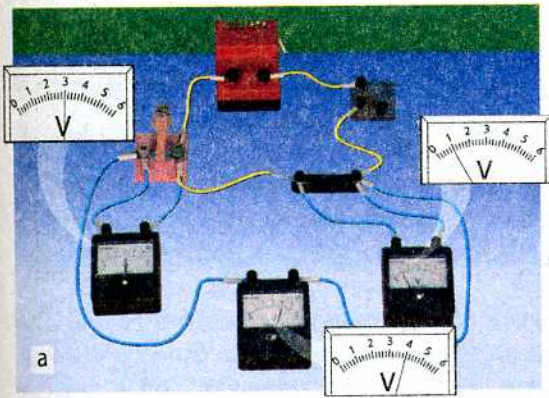


Рис. 13.3. Вимірювання напруги на різних ділянках електричного кола, яке складене з послідовно з'єднаних провідників: *а* — загальний вигляд; *б* — схема електричного кола. Загальна напруга на ділянці кола, що містить послідовно з'єднані лампу та резистор, дорівнює сумі напруг на окремих пристроях

Щоб краще зрозуміти властивості послідовного з'єднання провідників, скористайтесь механічною аналогією (рис. 13.4); відповідні паралелі проведіть самостійно.

2 Виводимо формулу для розрахунку опору

Для обчислення загального опору ділянки кола, яка складається з двох послідовно з'єднаних провідників, скористаємося співвідношенням $U = U_1 + U_2$.

Відповідно до закону Ома сила струму на всій ділянці становить $I = \frac{U}{R}$; звідси $U = IR$.

Оскільки $I = I_1 = I_2$, то $U_1 = IR_1$, $U_2 = IR_2$. Отже, маємо: $IR = IR_1 + IR_2 = I(R_1 + R_2)$. Після скорочення на I отримуємо: $R = R_1 + R_2$.

Якщо коло складається з кількох послідовно з'єднаних провідників, їхній загальний опір дорівнює сумі опорів окремих провідників:

$$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n,$$

де n — кількість провідників.

Аналізуючи останню формулу, можна зробити такі висновки:

- загальний опір провідників, з'єднаних послідовно, більший за опір кожного з цих провідників;

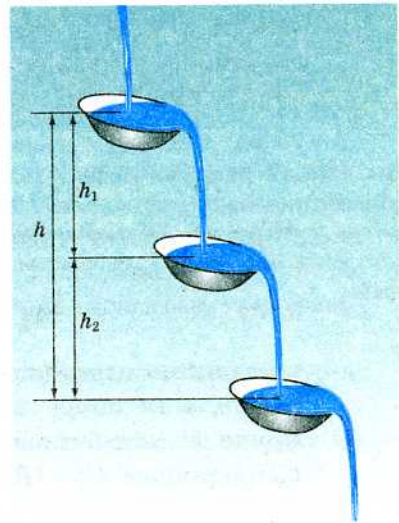


Рис. 13.4. Механічна модель послідовного з'єднання провідників

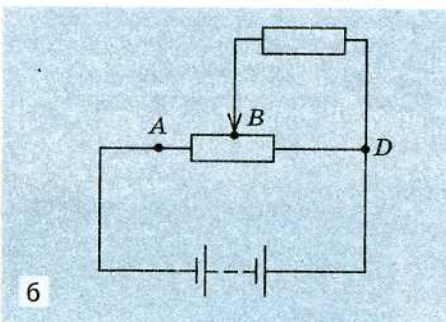
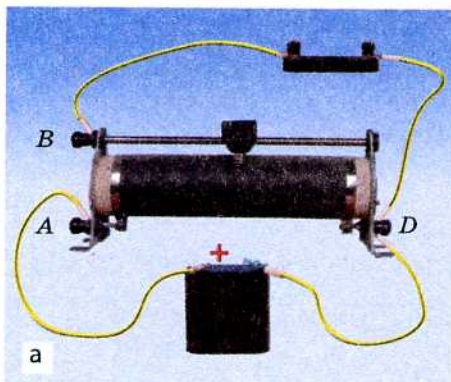


Рис. 13.5. Регулювання напруги за допомогою потенціометра: а — загальний вигляд пристрою; б — схема електричного кола. Точками А, В, D позначено клеми

— загальний опір R послідовно з'єднаних провідників, що мають однаковий опір R' , дорівнює: $R = nR'$, де n — кількість провідників.

3 Знайомимося з потенціометром

Той факт, що в разі послідовного з'єднання провідників напруга на кожному з них менша, ніж загальна напруга, використовують у пристроях для регулювання напруги. Ці пристрої називають *дільниками напруги* або *потенціометрами*. У § 12 вже йшлося про те, що як дільник напруги можна використовувати повзунковий реостат із трьома клемами (див. рис. 12.5). Електричне коло, що містить реостат, який працює в режимі дільника напруги, зображено на рис. 13.5.

На клеми А і D реостата подається напруга U від джерела струму (*напруга на вході*). Клеми В і D з'єднано зі споживачем (резистором), напругу U_1 на якому необхідно регулювати. Цю напругу зазвичай називають *напругою на виході*.

Пересуваючи повзунок реостата праворуч, змінюємо опір R_1 активної частини реостата (опір ділянки BD) від R (опір ділянки AD) до нуля. Зменшення опору реостата приводить до зменшення вихідної напруги U_1 від U до нуля. Дійсно, оскільки напруга між клемами В і D дорівнює $U_1 = IR_1$, а сила струму, який проходить через реостат, дорівнює $I = \frac{U}{R}$, то $U_1 = \frac{UR_1}{R}$. Отже, коли $R_1 = R$ (повзунок реостата у крайньому лівому положенні), то $U_1 = U$, тобто напруга на виході дорівнює напрузі на вході; коли $R_1 = 0$ (повзунок реостата у крайньому правому положенні), то $U_1 = 0$, тобто напруга на виході теж дорівнює нулю.

4 Учимося розв'язувати задачі

Задача. Три резистори опорами 2, 3 і 7 Ом з'єднані послідовно. Яким є опір цієї ділянки кола? Яка напруга на кожному резисторі і яка сила струму в цій ділянці кола, якщо напруга на розгляданій ділянці становить 36 В?

Дано:

$$R_1 = 2 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 3 \text{ Ом}$$

$$R_3 = 7 \text{ Ом}$$

$$U = 36 \text{ В}$$

$R = ?$

$U_1 = ?$

$U_2 = ?$

$U_3 = ?$

$I = ?$

Аналіз фізичної проблеми

Оскільки в умові задачі подано опір кожного з трьох послідовно з'єднаних резисторів, то можемо розрахувати їхній загальний опір. Скориставшись законом Ома, знайдемо силу струму в колі. Знаючи, що сила струму в ділянці кола, яка складається з послідовно з'єднаних провідників, всюди однакова, обчислимо напругу на кожному резисторі.

Пошук математичної моделі, розв'язання, аналіз результатів

$$R = R_1 + R_2 + R_3 = 2 \text{ Ом} + 3 \text{ Ом} + 7 \text{ Ом} = 12 \text{ Ом}.$$

$$\text{Відповідно до закону Ома: } I = \frac{U}{R} = \frac{36 \text{ В}}{12 \text{ Ом}} = 3 \text{ А}.$$

Оскільки $I = I_1 = I_2 = I_3$, то $I_1 = 3 \text{ А}$; $I_2 = 3 \text{ А}$; $I_3 = 3 \text{ А}$.

$$U_1 = I_1 R_1 = 3 \text{ А} \cdot 2 \text{ Ом} = 6 \text{ В}; \quad U_2 = I_2 R_2 = 3 \text{ А} \cdot 3 \text{ Ом} = 9 \text{ В};$$

$$U_3 = I_3 R_3 = 3 \text{ А} \cdot 7 \text{ Ом} = 21 \text{ В}.$$

Проаналізуємо результати: загальна напруга на ділянці кола $U = 6 \text{ В} + 9 \text{ В} + 21 \text{ В} = 36 \text{ В}$. Цей результат збігається зі значенням напруги, поданим в умові задачі, отже, задачу розв'язано правильно.

Відповідь: $R = 12 \text{ Ом}$; $U_1 = 6 \text{ В}$; $U_2 = 9 \text{ В}$; $U_3 = 21 \text{ В}$; $I = 3 \text{ А}$.

Підбиваємо підсумки

Електричне коло, що складається з послідовно з'єднаних провідників, не має розгалужень. Провідники включаються до кола послідовно, один за одним. Вимикання одного зі споживачів спричинить розмикання кола.

Якщо ділянка кола складається тільки з послідовно з'єднаних провідників (n — кількість провідників), то справджуються такі твердження:

— сила струму в усій ділянці кола та в кожному провіднику однакова: $I = I_1 = I_2 = \dots = I_n$;

— загальна напруга на всіх провідниках дорівнює сумі напруг на окремих провідниках: $U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$;

— загальний опір ділянки кола є більшим за опір кожного провідника й обчислюється за формулою $R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$.

Дільники напруги (потенціометри) — пристрої для регулювання напруги на певній ділянці кола. Як дільник напруги зазвичай використовують триконтактний повзунковий реостат.

Контрольні запитання

1. Яку особливість має коло, що складається з послідовно з'єднаних провідників?
2. Поясніть, чому вимикач завжди з'єднує зі споживачем послідовно.
3. Що можна сказати про значення сили струму в колі з послідовним з'єднанням провідників? Доведіть своє твердження.
4. Яке існує співвідношення між загальною напругою на всіх послідовно з'єднаних провідниках і напругою на кожному з них? Як його можна довести?
5. Як обчислити загальний опір кола, яке складається з послідовно з'єднаних провідників?
6. Як зміниться загальний опір ділянки кола, якщо до неї послідовно приєднати ще один провідник?
7. Опишіть будову та принцип дії дільника напруги.

Вправа № 13

- Загальний опір двох ламп і реостата, з'єднаних послідовно, дорівнює 65 Ом. Визначте опір реостата, якщо опір кожної лампи становить 15 Ом.
- Дільник напруги складений із двох резисторів (рис. 1). Опір резистора R_1 становить 15 Ом, резистора R_2 — 10 Ом. До клем K_1 і K_3 подано напругу 100 В. Яка напруга між клемми K_1 і K_2 ?
- Чи можна лампу для кишенькового ліхтарика, яка розрахована на силу струму 0,3 А, увімкнути в освітлювальну мережу послідовно з лампою, що розрахована на напругу 220 В і має опір 1100 Ом? Поясніть свою відповідь.
- Опір одного з двох послідовно з'єднаних провідників становить 650 Ом. Знайдіть опір другого провідника, якщо сила струму в ньому 80 мА, а загальна напруга на обох провідниках дорівнює 72 В.
- Ділянка кола містить три послідовно з'єднані провідники, опір яких становить: $R_1=5$ Ом; $R_2=8$ Ом; $R_3=15$ Ом (рис. 2). Яким є показ амперметра і чому дорівнює напруга між точками А і В, якщо вольтметр показує 1,6 В?

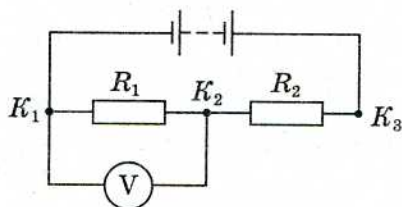


Рис. 1

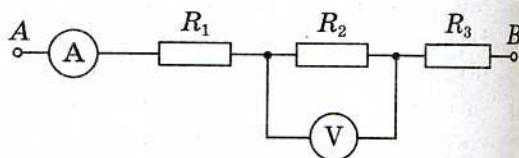


Рис. 2

Експериментальне завдання

Виготовте пристрій, призначений для перевірки знань (рис. 3). Для цього виконайте такі дії.

- На аркуш цупкого картону наклейте у два стовпчики 10–16 прямокутних смужок із паперу.
- На паперових смужках, розташованих у лівому стовпчику, напишіть запитання.
- На паперових смужках, розташованих у правому стовпчику, напишіть відповіді, причому так, щоб пара «запитання — правильна відповідь» не становила один рядок.
- Поряд із кожним прямокутником вставте в картон кнопку з довгим вістрям.
- За допомогою проводів з'єднайте кнопки на звороті картону так, щоб утворилися пари «запитання — правильна відповідь» (рис. 4), та складіть електричне коло.
- Перевірте знання своїх однокласників, попросивши їх торкнутися вільними кінцями проводів до клем з запитанням і клем з відповіддю. Якщо відповідь правильна, то має засвітитися лампа.

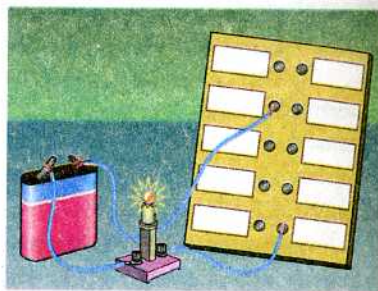


Рис. 3

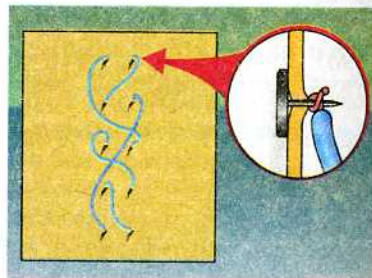


Рис. 4

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6



Тема. Дослідження електричного кола з послідовним з'єднанням провідників.

Мета: експериментально перевірити, що в разі послідовного з'єднання двох провідників справджується: $I = I_1 = I_2$; $U = U_1 + U_2$; $R = R_1 + R_2$.

Обладнання: джерело струму, вольтметр, амперметр, ключ, два резистори, з'єднувальні проводи.

ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ

II Підготовка до експерименту

1. Перш ніж виконувати роботу, переконайтеся, що ви знаєте запобіжні заходи, яких слід дотримуватися під час роботи з електричними колами.
2. Накресліть схему електричного кола, що складається з двох резисторів, ключа та джерела струму, з'єднаних послідовно.
3. Складіть і запишіть план проведення експерименту. Якщо вагаєтеся, то скористайтесь планом, наведеним нижче.

▶ Експеримент

Дослід 1. Порівняння сили струму в різних ділянках кола з послідовним з'єднанням провідників.

1. Зберіть електричне коло за накресленою вами схемою.
2. Виміряйте силу струму, ввімкнувши амперметр спочатку між джерелом струму і першим резистором (I_1), потім між ключем і другим резистором (I_2), а потім між ключем і джерелом струму (I). Накресліть схеми відповідних електричних кіл.
3. Результати вимірювань занесіть до табл. 1 і зробіть висновок.

Таблиця 1

I_1 , А	I_2 , А	I , А	Висновок

Дослід 2. Порівняння загальної напруги на ділянці кола, що складається з послідовно з'єднаних резисторів, і суми напруг на окремих резисторах.

1. У колі, складеному для проведення дослідів 1, виміряйте напругу спочатку на першому резисторі (U_1), потім на другому резисторі (U_2), а потім на обох резисторах (U). Накресліть схеми відповідних електричних кіл.
2. Результати вимірювань занесіть до табл. 2, закінчіть заповнення таблиці та зробіть висновок.

Таблиця 2

U_1 , В	U_2 , В	U , В	$(U_1 + U_2)$, В	Висновок

Опрацювання результатів експерименту

- Використовуючи результати дослідів 1 і 2, обчисліть опір першого резистора (R_1), другого резистора (R_2) та опір ділянки кола, що містить обидва резистори (R).
- Результати обчислень занесіть до табл. 3, закінчіть заповнення таблиці та зробіть висновок.

Таблиця 3

R_1 , Ом	R_2 , Ом	R , Ом	$(R_1 + R_2)$, Ом	Висновок

Аналіз експерименту та його результатів

Проаналізувавши експеримент і його результати, зробіть висновок, у якому зазначте:

- які рівності для послідовно з'єднаних провідників ви перевіряли та які результати одержали;
- чинники, які могли вплинути на точність отриманих вами результатів.

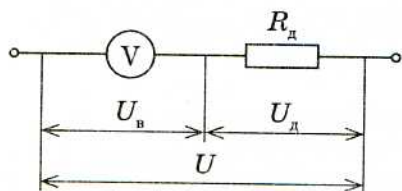
Творче завдання

Перед тим як виконувати завдання, уважно прочитайте теоретичні відомості.

Теоретичні відомості

Будь-який вольтметр розрахований на вимірювання напруги, що не перевищує деякої межі. Але якщо до вольтметра послідовно приєднати додатковий опір — резистор, то межа вимірювання вольтметра збільшиться. Це відбудеться

тому, що вимірювана напруга U ділиться на дві частини: одна частина (U_v) припадає на вольтметр, а друга (U_d) — на резистор, що забезпечує додатковий опір: $U = U_v + U_d$ (див. рисунок). Значення додаткового опору R_d обчислюють за формулою $R_d = R_v(n - 1)$, де R_v — опір вольтметра; $n = \frac{U}{U_v}$ — коефіцієнт, що показує, у скільки разів зростає межа вимірювання вольтметра, тобто в скільки разів зростає ціна поділки його шкали.



Завдання

Розв'яжіть задачу, результати перевірте експериментально.

У шкільного вольтметра опір R дорівнює 900 Ом, ціна поділки шкали становить 0,2 В, межа вимірювання — 6 В. Резистор якого опору необхідно послідовно приєднати до вольтметра, щоб можна було виміряти напругу до 30 В? Якою буде ціна поділки шкали вольтметра в цьому випадку?

§ 14. ПАРАЛЕЛЬНЕ З'ЄДНАННЯ ПРОВІДНИКІВ



На практиці до електричного кола часто доводиться приєднувати відразу кілька споживачів. Так, електричне коло освітлення класу обов'язково містить декілька ламп, і при цьому вихід із ладу однієї лампи майже не впливає на роботу решти. Фізики у такому випадку кажуть, що лампи з'єднані паралельно. Про те, як розрахувати силу струму, напругу та опір за умови паралельного з'єднання провідників, ви дізнаєтеся з цього параграфа.

1 Вивчаємо коло, що складається з паралельно з'єднаних провідників

Розглянемо електричне коло, яке містить дві паралельно з'єднані лампи (рис. 14.1, а). Звернувшись до схеми цього кола (рис. 14.1, б), бачимо: по-перше, для проходження струму в колі є два шляхи — дві *вітки*, кожна з яких містить одну лампу; по-друге, обидві вітки мають спільну пару точок — *A* і *B*. Такі точки називають *вузловими точками* (*вузлами*)*. У вузлових точках відбувається розгалуження кола. Отже, розгалуження є характерною ознакою кола з паралельним з'єднанням провідників.

Схема кола може містити не одну, а декілька пар вузлових точок. При цьому всі провідники, що приєднані до будь-якої пари вузлових точок, вважаються з'єднаними *паралельно* (рис. 14.2).

2 З'ясовуємо, як розрахувати силу струму та напругу в разі паралельного з'єднання провідників

Щоб визначити напругу на кожному із паралельно з'єднаних провідників, достатньо виміряти напругу між вузловими точками. Так, приєднавши вольтметр до пари вузлових точок *A* і *B* (рис. 14.3), одразу виміряємо напругу і на ділянці *AB*, і на кожній лампі. Таким чином, *загальна напруга на ділянці та напруга на кожному із паралельно з'єднаних провідників є однаковою*:

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

де n — кількість провідників.

* *Вузловою точкою (вузлом)* на електричній схемі кола називають таку точку, у якій з'єднуються не менш ніж три проводи.

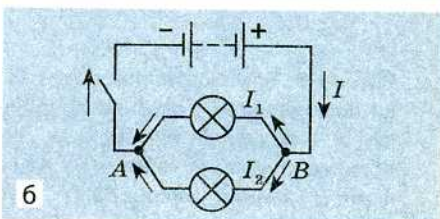
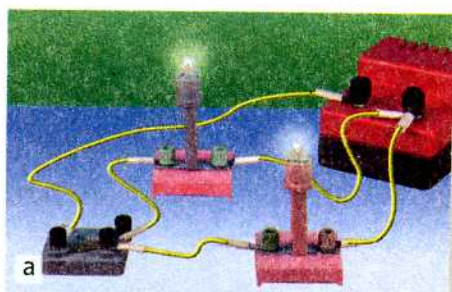


Рис. 14.1. Паралельне з'єднання кількох споживачів струму: а — зовнішній вигляд; б — схема; стрілками показано напрямки струму

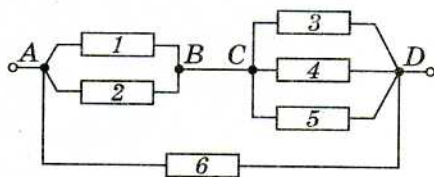


Рис. 14.2. Схема ділянки кола, яка містить паралельне з'єднання провідників. З'єднані паралельно: резистори 1 і 2 (вузли *A* і *B*), резистори 3, 4 і 5 (вузли *C* і *D*); резистор 6 приєднаний паралельно ділянці *AD* (вузли *A* і *D*)

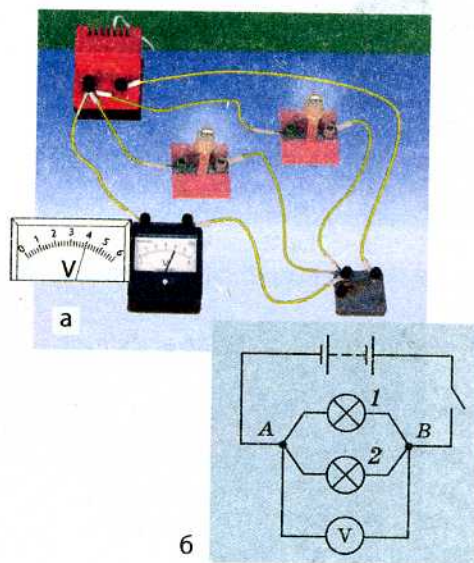


Рис. 14.3. Вимірювання напруги за умови паралельного з'єднання провідників: *a* — зовнішній вигляд; *б* — схема. Вольтметр показує напругу на лампі 1, лампі 2 і на всій ділянці *AB*

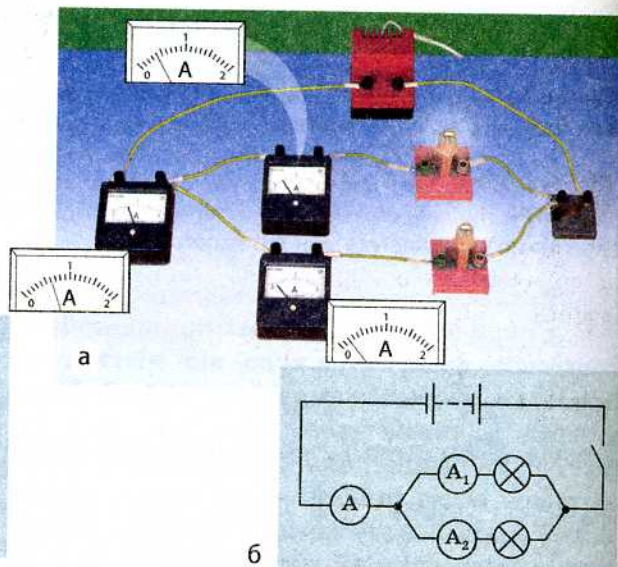


Рис. 14.4. Вимірювання сили струму за умови паралельного з'єднання провідників: сила струму в нерозгалуженій ділянці кола, що вимірюється амперметром *A*, дорівнює сумі сил струмів, які вимірюються амперметрами *A*₁ та *A*₂ у кожній вітці розгалуження

Уже зазначалося, що при паралельному з'єднанні провідників є декілька шляхів для проходження струму (див. рис. 14.1, *б*). Дійсно, струм, дійшовши до розгалуження (вузлова точка *B*), розтікається по двох вітках. Оскільки заряд у вузловій точці не накопичується, то заряд q , який надійшов у вузол за певний час t , дорівнює сумі зарядів ($q_1 + q_2$), які вийшли із цього вузла за той же час: $q = q_1 + q_2$. Поділивши обидві частини рівності на t , одержимо: $\frac{q}{t} = \frac{q_1}{t} + \frac{q_2}{t}$. Оскільки $\frac{q}{t} = I$, то отримаємо: $I = I_1 + I_2$.

Наведені співвідношення справджуються для будь-якої кількості паралельно з'єднаних провідників. Отже, у разі паралельного з'єднання провідників сила струму в нерозгалуженій частині кола дорівнює сумі сил струмів у відгалуженнях (окремих вітках):

$$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n,$$

де n — кількість провідників.

Це твердження можна довести експериментально, підключивши в електричне коло, що зображене на рис. 14.1, три амперметри: один (*A*) у нерозгалужену частину кола, а два інші (*A*₁ і *A*₂) — у кожне відгалуження (рис. 14.4).

Зверніть увагу: якщо одна із паралельно з'єднаних ламп вийде з ладу, то інші продовжать світитися, бо через їхні волоски розжарювання все одно буде проходити струм. З останнього стає зрозумілим, чому зазвичай споживачі вмикають у коло паралельно.

3 Виводимо формулу для розрахунку загального опору ділянки кола з паралельним з'єднанням провідників

Для обчислення загального опору R ділянки кола AB (див. рис. 14.1), що складається з паралельно з'єднаних ламп, скористаємося співвідношенням $I = I_1 + I_2$.

Позначивши опори ламп через R_1 і R_2 та застосувавши закон Ома, отримаємо: $\frac{U}{R} = \frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2}$.

Оскільки при паралельному з'єднанні провідників справджується, що $U = U_1 = U_2$, то одержимо: $\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2}$.

Після скорочення на U остаточно маємо:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}.$$

У загальному ж випадку опір R кола, що складається з паралельно з'єднаних провідників, можна обчислити, скориставшись формулою:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n},$$

де n — кількість провідників.

Аналізуючи останню формулу, можна зробити такі висновки:

— загальний опір провідників, з'єднаних паралельно, менший за опір кожного з цих провідників;

— загальний опір R паралельно з'єднаних провідників, що мають однаковий опір R' , дорівнює: $R = \frac{R'}{n}$, де n — кількість провідників. Наприклад, якщо коло складається з двох паралельно з'єднаних провідників, що мають однаковий опір R' , то загальний опір R цієї ділянки дорівнює: $R = \frac{R'}{2}$.

4 Дізнаємося про деякі важливі факти

Якщо ви уважно прочитали попередню частину параграфа, то легко зможете пояснити, чому різноманітні побутові пристрої вмикають в електромережу паралельно. Дійсно, тільки в разі такого підключення на кожному пристрої буде та напруга, на яку він розрахований, і, наприклад, вимикання одного із споживачів не спричинить відключення решти.

На рис. 14.5, б наведена частина схеми електричної проводки у квартирі. Горизонтальні лінії показують проводи електромережі, на яких існує напруга 220 В. Ці приховані в стінах проводи охоплюють усю квартиру. Позначення проводів — Φ і 0 — впливають з їхніх назв: фазний та

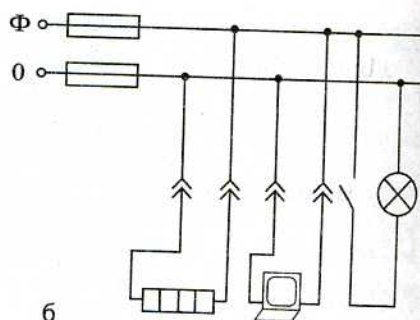
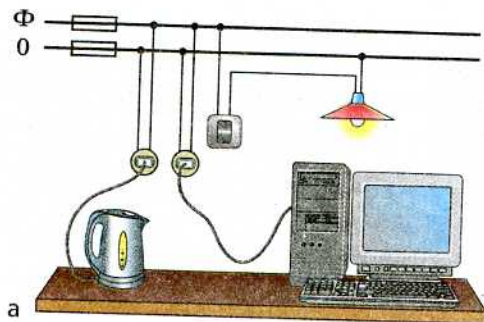


Рис. 14.5. Частина електричної проводки у квартирі: *а* — зовнішній вигляд; *б* — схематичне зображення

нульовий відповідно. Напруга між фазним і нульовим проводами становить 220 В. До нульового проводу приєднують усі споживачі. Кожний вимикач розташовують на відрізку між фазним проводом та споживачем. Таке з'єднання забезпечує найбільшу безпеку (спробуйте пояснити чому). Зверніть увагу на те, що всі споживачі у квартирній електричній проводці або потенційні споживачі (розетки) з'єднані з проводами Φ і 0 паралельно.

5 Учимся розв'язувати задачі

Задача 1. На рисунку наведено схему електричного кола. Визначте покази амперметрів, якщо показ вольтметра 12 В. Опори резисторів зазначено на рисунку.

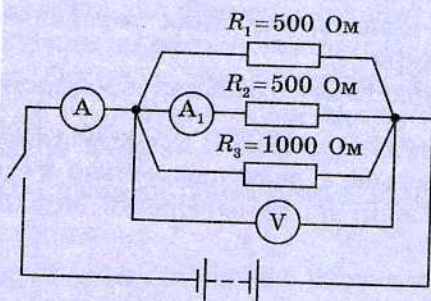
Дано:

$$R_1 = 500 \text{ Ом}$$

$$R_2 = 500 \text{ Ом}$$

$$R_3 = 1000 \text{ Ом}$$

$$U = 12 \text{ В}$$



Аналіз фізичної проблеми
Наведена схема електричного кола має розгалуження, отже, коло містить паралельне з'єднання провідників.

Амперметр A увімкнений перед розгалуженням, а амперметр A_1 — у відгалуження, яке містить резистор 2, отже,

$$I - ?$$

$$I_1 - ?$$

маємо знайти силу струму до розгалуження і силу струму в резисторі 2. Значення шуканих величин визначимо, скориставшись законом Ома та формулами для розрахунку сили струму й напруги за умови паралельного з'єднання провідників.

Пошук математичної моделі, розв'язання, аналіз результатів

Оскільки в разі паралельного з'єднання провідників $U = U_1 = U_2 = U_3$, то $U_1 = 12 \text{ В}$; $U_2 = 12 \text{ В}$; $U_3 = 12 \text{ В}$.

Відповідно до закону Ома: $I_1 = \frac{U_1}{R_1} = \frac{12 \text{ В}}{500 \text{ Ом}} = 0,024 \text{ А}$;

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{12 \text{ В}}{500 \text{ Ом}} = 0,024 \text{ А}; \quad I_3 = \frac{U_3}{R_3} = \frac{12 \text{ В}}{1000 \text{ Ом}} = 0,012 \text{ А}.$$

Загальна сила струму:

$$I = I_1 + I_2 + I_3 = 0,012 \text{ А} + 0,024 \text{ А} + 0,012 \text{ А} = 0,048 \text{ А}.$$

Проаналізуємо результат. Загальний опір кола: $R = \frac{U}{I} = \frac{12 \text{ В}}{0,048 \text{ А}} = 250 \text{ Ом}$ — менший за опір кожного резистора, отже, результат є правдоподібним.

Відповідь: показ амперметра A — 48 мА; амперметра A_1 — 24 мА.

Задача 2. Чотири однакові лампи з'єднані так, як показано на рисунку, і підключені до джерела постійної напруги. Визначте силу струму в кожній лампі, якщо напруга на джерелі становить 30 В, а опір кожної лампи дорівнює 6 Ом.

Дано:

$$U = 30 \text{ В}$$

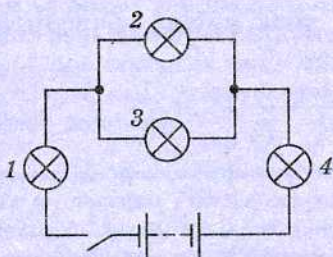
$$R_1 = R_2 = \\ = R_3 = R_4 = 6 \text{ Ом}$$

$$I_1 - ?$$

$$I_2 - ?$$

$$I_3 - ?$$

$$I_4 - ?$$



Аналіз фізичної проблеми

Аналіз поданої електричної схеми показує, що дане електричне коло містить мішане з'єднання провідників: лампи 2 і 3 з'єднані паралельно, а лампи 1 і 4 з'єднані послідовно з ділянкою кола, що складається з ламп 2 і 3.

Скориставшись законом Ома й співвідношеннями для сили струму, напруги та опору при послідовному та паралельному з'єднанні провідників, визначимо значення шуканих величин.

Пошук математичної моделі, розв'язання, аналіз результатів

$$\frac{1}{R_{2,3}} = \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} = \frac{1}{6 \text{ Ом}} + \frac{1}{6 \text{ Ом}} = \frac{2}{6 \text{ Ом}} = \frac{1}{3 \text{ Ом}} \Rightarrow R_{2,3} = 3 \text{ Ом}.$$

$$R = R_1 + R_{2,3} + R_4 = 6 \text{ Ом} + 3 \text{ Ом} + 6 \text{ Ом} = 15 \text{ Ом}.$$

$$\text{Відповідно до закону Ома: } I = \frac{U}{R} = \frac{30 \text{ В}}{15 \text{ Ом}} = 2 \text{ А}.$$

$$\text{Оскільки } I_1 = I_{2,3} = I_4 = I, \text{ то } I_1 = 2 \text{ А}; \quad I_{2,3} = 2 \text{ А}; \quad I_4 = 2 \text{ А}.$$

$$U_{2,3} = I_{2,3} R_{2,3} = 2 \text{ А} \cdot 3 \text{ Ом} = 6 \text{ В}. \quad U_2 = U_3 = U_{2,3} \Rightarrow U_2 = 6 \text{ В}; \quad U_3 = 6 \text{ В}.$$

$$I_2 = \frac{U_2}{R_2} = \frac{6 \text{ В}}{6 \text{ Ом}} = 1 \text{ А}; \quad I_3 = \frac{U_3}{R_3} = \frac{6 \text{ В}}{6 \text{ Ом}} = 1 \text{ А}.$$

Проаналізуємо результат: з одного боку, загальна сила струму на ділянці, що складається з ламп 2 і 3,

дорівнює 2 А, з другого боку, $I_{2,3} = I_2 + I_3 = 1 \text{ А} + 1 \text{ А} = 2 \text{ А}$. Результати збіглися, отже, задачу розв'язано правильно.

Відповідь: сила струму в лампах 1 і 4 дорівнює 2 А; в лампах 2 і 3 — 1 А.

! Підбиваємо підсумки

Коло, що складається з паралельно з'єднаних провідників, обов'язково має розгалуження. Провідники вважаються з'єднаними паралельно, якщо вони приєднані до пари вузлових точок.

Вимикання одного із паралельно з'єднаних провідників практично не впливає на роботу решти.

Якщо ділянка кола складається з n провідників, з'єднаних тільки паралельно, то справджуються такі твердження:

— напруга на кожному провіднику і на всій ділянці є однаковою:

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

— сила струму в нерозгалуженій частині кола дорівнює сумі сил струмів у відгалуженнях: $I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$;

— загальний опір ділянки кола можна обчислити, скориставшись формулою

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}.$$



Контрольні запитання

1. Назвіть характерну ознаку кола, що містить паралельне з'єднання провідників.
2. Порівняйте напругу на всій ділянці кола, що містить паралельно з'єднані провідники, та напруги на кожному провіднику.
3. Яке співвідношення між силою струму в нерозгалуженій частині кола і силою струму в кожній вітці розгалуження?
4. За допомогою якої формули можна обчислити опір ділянки кола, яка складається з кількох паралельно з'єднаних провідників?
5. Чому споживачі електроенергії у вашій оселі з'єднані паралельно?



Вправа № 14

1. Електричне коло складається з акумуляторної батареї та трьох електричних ламп, з'єднаних паралельно. Накресліть схему приєднання до цього кола двох ключів так, щоб один ключ керував одночасно двома лампами, а другий — тільки третьою лампою.
2. На рис. 1 зображено схему ділянки електричного кола. Відомо, що опір R_1 становить 100 Ом, опір R_2 — 150 Ом, показ амперметра А — 2,4 А. Визначте напругу на ділянці.
3. Дві електричні лампи з'єднали паралельно й приєднали до джерела струму, напруга на якому становить 120 В. Визначте силу струму в кожній лампі й у нерозгалуженій частині кола, якщо опір однієї лампи дорівнює 200 Ом, а другої — 300 Ом.
4. Однакові за довжиною та поперечним перерізом дроти — залізний, мідний і срібний — з'єднали паралельно та підключили до джерела струму. У якому дроті сила струму буде більшою?

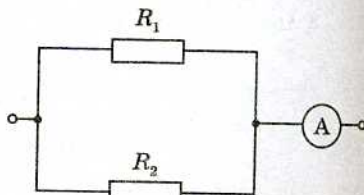


Рис. 1

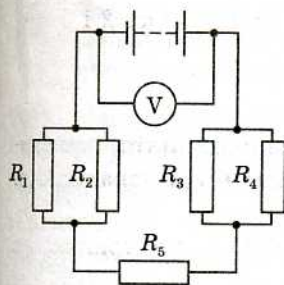


Рис. 2

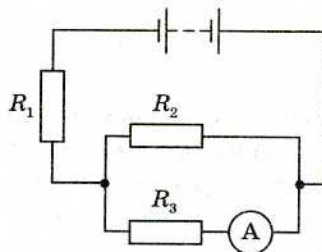


Рис. 3

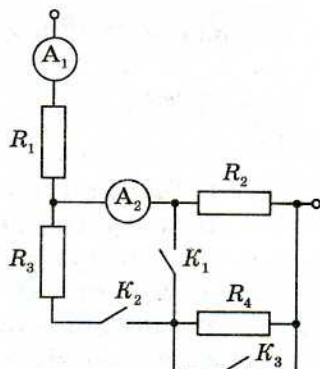


Рис. 4

- Визначте загальний опір кола й загальну силу струму в ньому (рис. 2), якщо $R_1=2$ Ом, $R_2=3$ Ом, $R_3=R_4=4$ Ом, $R_5=0,8$ Ом. Показ вольтметра 4 В.
- Чому дорівнює напруга на полюсах джерела струму, яке живить коло (рис. 3), якщо $R_1=3$ Ом, $R_2=2$ Ом, $R_3=8$ Ом? Показ амперметра 0,1 А.
- Опір усіх резисторів на ділянці електричного кола (рис. 4) є однаковим і дорівнює 5 Ом. До ділянки кола прикладено постійну напругу. Який ключ потрібно замкнути, щоб показ приладу A_2 був нижчим за показ приладу A_1 ? Яке значення сили струму буде показувати прилад A_1 , якщо замкнути ключ K_1 ? Відомо, що прилад A_2 показує 300 мА, якщо усі ключі розімкнені.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7



Тема. Дослідження електричного кола з паралельним з'єднанням провідників.

Мета: експериментально перевірити, що сила струму в нерозгалуженій частині кола дорівнює сумі сил струмів у відгалуженнях; довести, що загальний опір провідників, з'єднаних паралельно, менший за опір кожного з них.

Обладнання: джерело струму; вольтметр; амперметр; ключ; дві електричні лампи на підставці, з'єднувальні проводи.

ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ

II Підготовка до експерименту

- Перш ніж виконувати роботу, переконайтеся, що ви знаєте вимоги безпеки під час роботи з електричними колами.
- Накресліть схему електричного кола, що містить дві паралельно з'єднані лампи, які через ключ приєднані до джерела струму.

3. Складіть і запишіть план проведення експерименту. Якщо вагається, то скористайтеся наведеним планом.

Експеримент

(Результати вимірювань відразу заносьте до таблиці.)

- Зберіть електричне коло за накресленою вами схемою.
- Виміряйте силу струму I , що проходить у нерозгалуженій частині кола, потім силу струму I_1 , який протікає в спіралі лампи 1, та силу струму I_2 , який протікає в спіралі лампи 2.
- Виміряйте напругу U на лампах.
- Накресліть схеми відповідних електричних кіл.

Опрацювання результатів експерименту

Використовуючи результати вимірювань, обчисліть опір спіралей лампи 1 (R_1) і лампи 2 (R_2), а також опір ділянки кола, що містить обидві лампи (R). Результати обчислень занесіть до таблиці.

I, A	I_1, A	I_2, A	U, B	$R_1, \text{Ом}$	$R_2, \text{Ом}$	$R, \text{Ом}$

Аналіз експерименту та його результатів

Проаналізувавши експеримент і його результати, зробіть висновок, у якому зазначте:

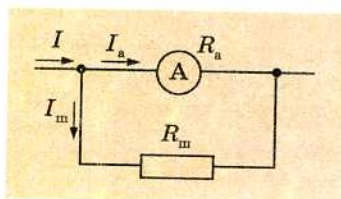
- які співвідношення для паралельно з'єднаних провідників ви перевіряли та які результати отримали;
- чинники, які могли вплинути на точність отриманих результатів.

Творче завдання

Перед тим як виконувати завдання, уважно прочитайте теоретичні відомості.

Теоретичні відомості. Для вимірювання сили струму, більшої за ту, на яку розрахований амперметр, можна скористатися цим самим амперметром. Для цього паралельно амперметру слід підключити резистор, який у данному випадку називають *шунтом*.

У разі застосування шунта сила струму I_a , який іде через амперметр, дорівнює: $I_a = I - I_{ш}$, де I — вимірювана сила струму; $I_{ш}$ — сила струму, що проходить через шунт.



Опір шунта $R_{ш}$ обчислюють за формулою $R_{ш} = \frac{R_a}{n-1}$, де R_a — опір амперметра; $n = \frac{I}{I_a}$ — коефіцієнт, що показує, у скільки разів зростає значення верхньої межі вимірювання сили струму амперметром, тобто у скільки разів зростає ціна поділки його шкали.

Завдання. Розв'яжіть задачу, результати перевірте експериментально.

Опір шкільного амперметра R_a дорівнює 0,07 Ом, ціна поділки його шкали 0,05 А, межа вимірювання — 2 А. За допомогою амперметра потрібно виміряти силу струму до 10 А. Який шунт слід приєднати паралельно амперметру? Якою стане ціна поділки шкали амперметра?

§ 15. РОБОТА Й ПОТУЖНІСТЬ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ

?!

Кожний із вас бачив електролічильник, а деякі навіть знімали його покази. А як ви гадаєте, яку фізичну величину вимірює цей прилад? Щоб перевірити свої припущення, познайомтеся зі змістом цього параграфа.

1

З'ясуємо, значення якої фізичної величини визначають за допомогою електролічильника

На рис. 15.1 подано електролічильник. Запам'ятаємо або запишемо цифри, що зафіксовані на датчику приладу (рис. 15.1, а), інакше кажучи, знімемо показ лічильника. Що означають ці цифри? Очевидно, що це числове значення деякої фізичної величини. А якої?

Для початку визначимо одиниці цієї величини. Поряд із цифровим табло написано: кВт·год. Отже, фізична величина, значення якої показує електролічильник, вимірюється у кіловат-годинах. Відомо, що $1 \text{ кВт} = 1000 \text{ Вт}$ і $1 \text{ год} = 3600 \text{ с}$, а $1 \text{ Вт} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{с}}$. Таким чином,

$$1 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 1000 \frac{\text{Дж}}{\text{с}} \cdot 3600 \text{ с} = 3\,600\,000 \text{ Дж}, \text{ або}$$

$1 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж}$. А одна з фізичних величин, що вимірюються в джоулях, — це робота. Отже, можна припустити, що електролічильником вимірюють *роботу струму*. Щоб переконатися в цьому, включимо в коло електролічильника електрообігрівач. Через деякий час знову знімемо показ лічильника (рис. 15.1, б). Бачимо, що він збільшився. Електричний струм, проходячи спіраллю електрообігрівача, виконав роботу, яку ми зафіксували, використавши покази лічильника. Таким чином, *електролічильник — це прилад для прямого вимірювання роботи струму*.

Вартість одиниці роботи називають *тарифом*. Наприклад, на 1 січня 2009 р. тариф для певної категорії населення в Харкові становив 24,36 к. за 1 кВт·год.

2

Обчислюємо роботу струму

З'ясуємо, чи можна роботу струму виміряти в інший спосіб, не використовуючи електролічильник.

Вивчаючи матеріал § 10 підручника, ви з'ясували, що електрична напруга U на кінцях ділянки електричного кола визначається за формулою $U = \frac{A}{q}$. Отже, роботу A електричного струму з переміщення



а



б

Рис. 15.1. Зняття даних лічильника: а — початкові дані (382 кВт·год); б — дані лічильника після деякого часу роботи електрообігрівача (385 кВт·год). Кількість використаної за певний час електроенергії: $385 - 382 = 3$ (кВт·год)

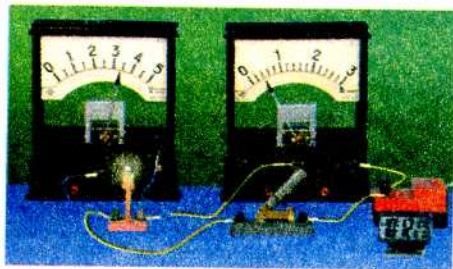


Рис. 15.2. Для вимірювання роботи струму можна скористатися добре відомими вам вимірювальними приладами: амперметром, вольтметром і годинником

електричного заряду q на цій ділянці можна знайти за формулою $A = Uq$. Виразивши заряд q через силу струму I та час t його проходження: $q = It$, — отримаємо формулу для розрахунку роботи електричного струму на даній ділянці кола:

$$A = UIt.$$

Отже, щоб визначити роботу, яку виконує струм у певному споживачі (на певній ділянці електричного кола), достатньо виміряти силу струму в споживачі, напругу на ньому й час проходження струму (рис. 15.2). Ви вже знаєте, що такі вимірювання називають *непрямими*.

Зверніть увагу, що із формули для розрахунку роботи електричного струму випливає: $1 \text{ Дж} = 1 \text{ В} \cdot \text{А} \cdot \text{с}$, — це співвідношення вам стане у пригоді під час перевірки одиниць у процесі розв'язування задач.

3 Обчислюємо потужність струму

Потужність електричного струму — фізична величина, що характеризує швидкість виконання струмом роботи й дорівнює відношенню роботи A струму до часу t , за який цю роботу виконано:

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

де P — потужність електричного струму. Оскільки $A = UIt$, то

$$P = UI.$$

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

Із формули для розрахунку потужності електричного струму випливає: $1 \text{ Вт} = 1 \text{ В} \cdot 1 \text{ А} = 1 \text{ В} \cdot \text{А}$.

1 Вт — це *потужність струму силою 1 А на ділянці кола з напругою 1 В* .

Ват — порівняно невелика одиниця потужності. На практиці частіше використовують кратні одиниці потужності: **кіловат** ($1 \text{ кВт} = 10^3 \text{ Вт}$), **мегават** ($1 \text{ МВт} = 10^6 \text{ Вт}$), **гігават** ($1 \text{ ГВт} = 10^9 \text{ Вт}$).

4 Учимося розрізняти номінальну та фактичну потужності споживачів

Звернувшись до формули розрахунку потужності струму ($P = UI$), побачимо, що потужність струму можна визначити, скориставшись амперметром і вольтметром (перемножити напругу та силу струму, визначені за показами цих приладів).

Існують також прилади для *прямого* вимірювання потужності електричного струму — *ватметри*. Ватметри приєднують паралельно споживачу, потужність струму в якому потрібно виміряти.

Вимірюючи потужність струму в споживачі, ми визначаємо його *фактичну потужність*.

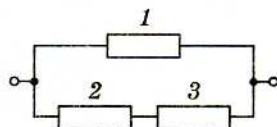
Потужність, яка зазначена в паспорті електричного приладу (або безпосередньо на приладі), називають *номінальною потужністю*. У паспорті електричного приладу зазвичай указують не тільки його номінальну потужність, але й напругу, на яку прилад розрахований. Проте напруга в мережі може трохи змінитися, наприклад, збільшитися, відповідно збільшиться й сила струму. Збільшення сили струму й напруги приведе до збільшення потужності струму в споживачі. Тобто *значення фактичної та номінальної потужностей споживача можуть відрізнятись*.

Якщо коло складається з кількох споживачів, то, розраховуючи їхню фактичну потужність, слід пам'ятати, що *за будь-якого з'єднання споживачів загальна потужність струму в усьому колі дорівнює сумі потужностей окремих споживачів*.

Завершуючи знайомство з потужністю електричного струму, знову звернемося до рис. 15.1. На лічильнику подано значення ще двох фізичних величин: 220 В; 15 А. Перша з них показує, у коло з якою напругою слід вмикати лічильник, друга — максимально допустиму силу струму в приладі. Перемноживши ці значення, одержимо *максимально допустиму потужність споживачів, які можна підключити через цей електролічильник* ($UI = P$).

5 Учимося розв'язувати задачі

Задача 1. Ділянка електричного кола складається з трьох однакових резисторів (див. рисунок). Визначте загальну потужність усіх резисторів, якщо опір кожного з них дорівнює 5 Ом, а напруга на ділянці становить 10 В.



Дано:

$$R_1 = R_2 = R_3 = 5 \text{ Ом}$$

$$U = 10 \text{ В}$$

$P = ?$

Аналіз фізичної проблеми

Розв'язати задачу можна двома способами:

- 1) обчислити потужність кожного резистора, а потім — загальну потужність усіх резисторів;
- 2) визначити загальну силу струму в ділянці й, знаючи загальну напругу, обчислити загальну потужність усіх резисторів.

Пошук математичної моделі, розв'язання, аналіз результатів

Спосіб 1

Оскільки ділянка кола, що містить резистори 2 і 3, з'єднана з резистором 1 паралельно, то

$$U_1 = U_{2,3} = U = 10 \text{ В. За законом Ома } I_1 = \frac{U_1}{R_1} = \frac{10 \text{ В}}{5 \text{ Ом}} = 2 \text{ А.}$$

Відповідно до формули для розрахунку потужності:

$$P_1 = U_1 I_1 = 10 \text{ В} \cdot 2 \text{ А} = 20 \text{ Вт}.$$

Оскільки резистори 2 і 3 з'єднані послідовно, то

$$R_{2,3} = R_2 + R_3 = 5 \text{ Ом} + 5 \text{ Ом} = 10 \text{ Ом}, \quad I_2 = I_3 = I_{2,3} = \frac{U_{2,3}}{R_{2,3}} = \frac{10 \text{ В}}{10 \text{ Ом}} = 1 \text{ А}.$$

$$U_2 = I_2 R_2 = 1 \text{ А} \cdot 5 \text{ Ом} = 5 \text{ В}, \quad P_2 = U_2 I_2 = 5 \text{ В} \cdot 1 \text{ А} = 5 \text{ Вт}.$$

$$U_3 = I_3 R_3 = 1 \text{ А} \cdot 5 \text{ Ом} = 5 \text{ В}, \quad P_3 = U_3 I_3 = 5 \text{ В} \cdot 1 \text{ А} = 5 \text{ Вт}.$$

Таким чином, $P = P_1 + P_2 + P_3 = 20 \text{ Вт} + 5 \text{ Вт} + 5 \text{ Вт} = 30 \text{ Вт}$.

Спосіб 2

Спочатку знайдемо загальний опір R ділянки кола.

Оскільки резистори 2 і 3 з'єднані послідовно, то

$$R_{2,3} = R_2 + R_3 = 5 \text{ Ом} + 5 \text{ Ом} = 10 \text{ Ом}.$$

Оскільки ділянка кола, що містить резистори 2 і 3, з'єднана з резистором 1 паралельно, то

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_{2,3}} + \frac{1}{R_1} = \frac{1}{10 \text{ Ом}} + \frac{1}{5 \text{ Ом}} = \frac{3}{10} \frac{1}{\text{Ом}}; \text{ таким чином, } R = \frac{10}{3} \text{ Ом}.$$

$$\text{За законом Ома: } I = \frac{U}{R} = 10 \text{ В} : \frac{10}{3} \text{ Ом} = 3 \text{ А}.$$

Відповідно до формули для розрахунку потужності:

$$P = UI = 10 \text{ В} \cdot 3 \text{ А} = 30 \text{ Вт}.$$

Проаналізуємо результат: розв'язуючи задачу різними способами, отримуємо однакове значення потужності, отже, задачу розв'язано правильно.

Відповідь: загальна потужність усіх резисторів дорівнює 30 Вт.

Задача 2. Визначте ККД двигуна електровоза, якщо, рухаючись рівномірно зі швидкістю $16 \frac{\text{м}}{\text{с}}$, він розвиває силу тяги 300 кН. Напруга в електромережі становить 3 кВ, сила струму, споживаного двигуном, дорівнює 2 кА.

Дано:

$$v = 16 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$F = 3 \cdot 10^5 \text{ Н}$$

$$U = 3 \cdot 10^3 \text{ В}$$

$$I = 2 \cdot 10^3 \text{ А}$$

η — ?

Аналіз фізичної проблеми

Для розв'язання задачі необхідно з'ясувати, яку частину роботи, виконуваної струмом, що тече по обмотці електродвигуна, становить корисна робота (механічна робота з переміщення електровоза). Використавши формули для розрахунку механічної роботи і роботи струму, знайдемо шукану величину.

Пошук математичної моделі, розв'язання, аналіз результатів

ККД розраховуємо за формулою:

$$\eta = \frac{A_{\text{кор}}}{A_{\text{повн}}}, \quad (1)$$

де $A_{\text{кор}}$ — корисна робота, яку виконує двигун, переміщуючи електровоз на відстань s ; $A_{\text{кор}} = F s$.

Відстань s знайдемо з визначення швидкості:

$$v = \frac{s}{t}; \text{ звідси } s = vt.$$

Таким чином:

$$A_{\text{кор}} = Fvt. \quad (2)$$

Робота струму у двигуні електровоза:

$$A_{\text{повна}} = UI t. \quad (3)$$

Підставивши формули (2) і (3) у формулу (1), одержимо:

$$\eta = \frac{Fvt}{UI t} = \frac{Fv}{UI}.$$

Визначимо значення шуканої величини:

$$[\eta] = \frac{\text{Н} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}}{\text{В} \cdot \text{А}} = \frac{\text{Дж}}{\text{В} \cdot \text{А} \cdot \text{с}} = \frac{\text{Вт}}{\text{Вт}} = 1;$$

$$\{\eta\} = \frac{3 \cdot 10^5 \cdot 16}{3 \cdot 10^3 \cdot 2 \cdot 10^3} = 0,8; \quad \eta = 80\%.$$

Проаналізуємо результат: ККД дорівнює 80 % — для електричних двигунів результат реальний.

Відповідь: ККД двигуна електровоза становить 80 %.

! Підбиваємо підсумки

На ділянці кола електричний струм виконує роботу, значення якої дорівнює добуткові напруги, сили струму і часу проходження струму по колу: $A = UI t$.

Одиницею роботи електричного струму в СІ є джоуль (Дж): $1 \text{ Дж} = 1 \text{ В} \cdot \text{А} \cdot \text{с}$. В електротехніці використовують позасистемну одиницю роботи струму — кіловат-годину (кВт·год); $1 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж}$.

Прилади для прямого вимірювання роботи струму називають лічильниками електричної енергії.

Фізична величина, що характеризує швидкість виконання струмом роботи, називається потужністю електричного струму. Потужність електричного струму обчислюють за формулою $P = UI$. Одиницею потужності

електричного струму в СІ є ват (Вт): $1 \text{ Вт} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{с}} = 1 \text{ В} \cdot \text{А}$.

Потужність, на яку розрахований електричний прилад, називають номінальною потужністю. Зазвичай номінальну потужність зазначають у паспорті електричного приладу. Реальну потужність струму в пристрої називають фактичною потужністю.

? Контрольні запитання

1. За якою формулою обчислюють роботу електричного струму?
2. Назвіть відомі вам одиниці роботи електричного струму.
3. Доведіть, що $1 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж}$.
4. Як вимірюють роботу електричного струму?
5. Що називають потужністю електричного струму?
6. За якою формулою можна обчислити потужність струму?
8. Що називають номінальною потужністю електричного приладу?
9. Що таке фактична потужність приладу?

Вправа № 15

1. Користуючись показами електролічильника (рис. 1), визначте витрачену електроенергію й обчисліть її вартість за тарифом 24,36 к. за 1 кВт·год.
2. Доведіть, що $1 \text{ Дж} = 1 \text{ В} \cdot \text{А} \cdot \text{с}$.
3. Використовуючи покази приладів, зображених на рис. 2, визначте роботу, яку виконає електричний струм за 15 хв роботи електродвигуна.



Рис. 1

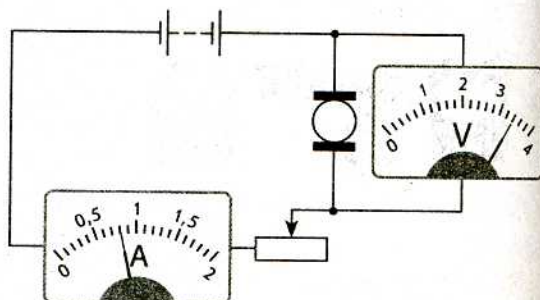


Рис. 2

4. Два провідники опорами 10 і 25 Ом увімкнено до мережі, що має напругу 100 В. Яку роботу виконає електричний струм у кожному провіднику за 5 хв, якщо їх з'єднати: а) паралельно? б) послідовно?
5. Дві лампи, які мають потужності 90 і 40 Вт, увімкнуті паралельно до мережі, що має напругу 220 В. Визначте силу струму, який протікає через кожную лампу, та опір кожноєї лампи.
6. Визначте силу струму, який споживає електродвигун підйомального крана, якщо вантаж масою 1 т кран підіймає на висоту 19 м за 50 с. ККД електродвигуна становить 80%, напруга на клеммах — 380 В.
- 7*. Лампа, що розрахована на напругу 127 В, споживає потужність 50 Вт. Який додатковий опір треба приєднати до лампи, щоб увімкнути її в мережу напругою 220 В?
- 8*. Дві електроплити, спіралі яких мають однакові опори, спочатку увімкнули в мережу послідовно, а потім паралельно. У якому випадку електроплити споживали більшу потужність і в скільки разів?

Експериментальне завдання

1. Дізнайтеся в батьків, скільки коштує 1 кВт·год електроенергії. З'ясуйте потужність різних споживачів електроенергії у вашій оселі. Обчисліть вартість електроенергії, яку споживатиме кожний пристрій, якщо працюватиме 20 хв. Заповніть таблицю.

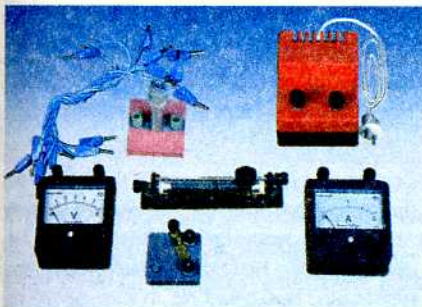
№ з/п	Назва пристрою	Потужність P , Вт	Робота струму, А		Вартість, грн
			Дж	кВт·год	

2. Протягом тижня спостерігайте за споживанням електроенергії у вашій оселі. Для цього щодня в той самий час записуйте показ лічильника електроенергії та обчислюйте, скільки електроенергії спожила за добу ваша родина. За результатами вимірювань та обчислень побудуйте графік споживання електроенергії протягом тижня.

Дайте відповіді на такі запитання.

- 1) У який день тижня витрати електроенергії були найбільшими? Чому?
- 2) Чи були ввімкнені споживачі електроенергії без потреби?
- 3) Як можна заощадити витрати електроенергії вашою родиною?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8



Тема. Вимірювання потужності споживача електричного струму.

Мета: навчитися визначати номінальну та фактичну потужності електричної лампи.

Обладнання: джерело струму, амперметр, вольтметр, лампа на підставці, ключ, повзунковий реостат, з'єднувальні проводи.

ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ

II Підготовка до експерименту

- Перш ніж виконувати роботу, переконайтеся, що ви знаєте:
 - запобіжні заходи, яких слід уживати під час роботи з електричними колами;
 - формулу для обчислення потужності споживача електричного струму.
- Визначте ціну поділки шкал вимірювальних приладів.
- Накресліть схему електричного кола, що складається із послідовно з'єднаних джерела струму, ключа, лампи, амперметра, повзункового реостата, а також вольтметра, який паралельно з'єднаний з лампою.

Експеримент

(Результати вимірювань відразу заносьте до таблиці.)

- Складіть електричне коло за накресленою вами схемою.
- Виміряйте декілька разів силу струму в лампі та напругу на ній, кожного разу змінюючи положення повзунка реостата.

Опрацювання результатів експерименту

- Для кожного досліді обчисліть фактичну потужність лампи.
- Роздивіться цоколь лампи та зазначте її номінальну потужність.
- Результати занесіть до таблиці.

Номер досліді	Сила струму I , А	Напруга U , В	Потужність лампи, Вт	
			фактична $P_{\text{ф}}$	номінальна $P_{\text{н}}$

Аналіз експерименту та його результатів

Проаналізувавши експеримент та його результати, зробіть висновок, у якому зазначте, що саме і яким чином ви визначали. Поясніть причину можливої розбіжності значень номінальної та фактичної потужностей лампи. У якому випадку і чому ця розбіжність була найбільшою?

**Творче завдання**

Перевірте на досліді, у якому випадку потужність двох ламп буде більшою — у разі їхнього паралельного з'єднання чи послідовного. Накресліть схеми відповідних електричних кіл.

§ 16. ТЕПЛОВА ДІЯ СТРУМУ. ЗАКОН ДЖОУЛЯ—ЛЕНЦА



Із власного досвіду вам добре відомо, що під час проходження електричного струму спіраль лампи розжарювання нагрівається настільки, що починає випромінювати видиме світло. Завдяки дії електричного струму нагріваються праска й електрична плита. Однак вентилятор і пиросос нагріваються незначно, так само не стають дуже гарячими (звичайно, якщо все гаразд) і підвідні проводи. Про те, від чого залежить теплова дія струму, ви дізнаєтеся, вивчивши матеріал цього параграфа.

**Розмірковуємо про теплову дію струму**

Уже йшлося про те, що проходження струму завжди супроводжується виділенням теплоти. Цей факт неважко пояснити.

Коли по провіднику йде струм, то вільні заряджені частинки, рухаючись напрямлено під дією електричного поля, зіштовхуються з іншими частинками (електрони в металах — з йонами, розташованими у вузлах кристалічної ґратки, йони в електролітах — з іншими йонами, атомами або молекулами) і передають їм частину своєї енергії. У результаті середня швидкість хаотичного (теплого) руху частинок речовини збільшується — провідник нагрівається. За законом збереження енергії кінетична енергія, набута вільними зарядженими частинками в результаті дії електричного поля, перетворюється на внутрішню енергію.



Очевидно, що чим частіше зіштовхуються частинки, тобто чим більший опір провідника, тим більше енергії передається провіднику і тим більше він нагрівається. Можемо, таким чином, припустити, що *кількість теплоти, яка виділяється у провіднику під час проходження струму, пропорційна опору провідника.*

Неважко здогадатися, що зі збільшенням у провіднику сили струму кількість виділюваної в ньому теплоти теж збільшується. Адже чим більше частинок проходить через поперечний переріз провідника за одиницю часу, тим більше зіткнень частинок відбувається.

**Відкриваємо закон Джоуля—Ленца**

Теплову дію струму вивчали на дослідах англійський учений *Дж. Джоуль* (рис. 16.1) і російський учений *Е. Х. Ленц* (рис. 16.2). Незалежно один від одного вони дійшли однакового висновку, що згодом отримав назву закону Джоуля—Ленца.

Рис. 16.1. Джеймс Прескотт Джоуль (1818–1889) — англійський фізик, один із засновників сучасної теорії теплових явищ. У 1841 р. встановив залежність кількості теплоти, що виділяється в провіднику зі струмом, від сили струму та опору провідника

можна скористатися законом Ома. Справді, $Q = I^2 R t$, а $I = \frac{U}{R}$. Тоді $Q = \left(\frac{U}{R}\right)^2 R t = \frac{U^2}{R^2} R t$. Після скорочення на R одержимо:

$$Q = \frac{U^2 t}{R}.$$

Однак цією формулою, втім, як і формулою $Q = U I t$, можна користуватися тільки в тому випадку, коли вся електрична енергія витрачається на нагрівання.

Якщо ж на ділянці кола є споживачі енергії, в яких виконується механічна робота або відбуваються хімічні реакції, формулами $Q = \frac{U^2 t}{R}$ і $Q = U I t$ користуватися не можна. У таких випадках застосовують складні математичні вирази, які враховують усю сукупність явищ, що відбуваються.

4 Учимся розв'язувати задачі

Задача. Якої довжини треба взяти ніхромовий дріт, щоб виготовити нагрівник, яким можна за 5 хв довести до кипіння 1,5 кг води, узятої за температури 20°C ? Площа поперечного перерізу дроту $0,1 \text{ мм}^2$. Напруга в мережі дорівнює 220 В, ККД кип'ятильника становить 90 %.

Дано:

$$\tau = 300 \text{ с}$$

$$m = 1,5 \text{ кг}$$

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

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

$$S = 0,1 \text{ мм}^2$$

$$U = 220 \text{ В}$$

$$\eta = 0,9$$

$$\rho = 1,1 \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}$$

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

l — ?

Аналіз фізичної проблеми

При проходженні в нагрівнику електричного струму виділяється кількість теплоти $Q_{\text{повна}}$. Частина її ($Q_{\text{кор}}$) витрачається на нагрівання води. Отже, $\eta Q_{\text{повна}} = Q_{\text{кор}}$.

Виразивши $Q_{\text{повна}}$ і $Q_{\text{кор}}$ через подані в умові задачі величини, знайдемо шукану величину.

Пошук математичної моделі, розв'язання

$$\eta Q_{\text{повна}} = Q_{\text{кор}}. \quad (1)$$

$$Q_{\text{кор}} = c m (t_2 - t_1); \quad (2)$$

$$Q_{\text{повна}} = \frac{U^2 \tau}{R}. \quad (3)$$

Опір дроту знайдемо зі співвідношення

$$R = \frac{\rho l}{S}. \quad (4)$$

Підставивши формулу (4) у формулу (3), маємо:

$$Q_{\text{повна}} = \frac{U^2 \tau}{\frac{\rho l}{S}} = \frac{U^2 \tau S}{\rho l}. \quad (5)$$

Підставимо формули (5) і (2) у формулу (1):

$$\frac{\eta U^2 \tau S}{\rho l} = c m (t_2 - t_1). \text{ Звідси } l = \frac{\eta U^2 \tau S}{c m (t_2 - t_1) \rho}.$$

Значення питомого опору ρ ніхрому й питомої теплоємності c води знайдемо у відповідних таблицях.

Визначимо значення шуканої величини:

$$[l] = \frac{\frac{\text{В}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{мм}^2}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}} \cdot \frac{\text{Ом} \cdot \text{мм}^2}{\text{м}}}{\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}}} = \frac{\text{В}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{м}}{\text{Дж} \cdot \text{Ом}} = \frac{\text{В}^2 \cdot \text{с} \cdot \text{м}}{\text{В} \cdot \text{А} \cdot \text{с} \cdot \frac{\text{В}}{\text{А}}} = \text{м};$$

$$\{l\} = \frac{0,9 \cdot 220 \cdot 220 \cdot 300 \cdot 0,1}{4200 \cdot 1,5 \cdot 80 \cdot 1,1} = 2,36; \quad l = 2,36 \text{ м}.$$

Відповідь: потрібно взяти ніхромовий дріт завдовжки 2,36 м.

! Підбиваємо підсумки

Проходження струму в провіднику супроводжується виділенням теплоти. Кількість теплоти, яка виділяється у провіднику зі струмом, прямо пропорційна квадрату сили струму, опору провідника й часу проходження струму: $Q = I^2 R t$ (закон Джоуля—Ленца).

Існують ще дві формули для розрахунку кількості теплоти: $Q = \frac{U^2 t}{R}$ і $Q = U I t$, однак цими формулами можна користуватися тільки в тому випадку, коли вся електрична енергія йде на нагрівання.

? Контрольні запитання

1. Чому нагріваються провідники, в яких тече електричний струм?
2. Сформулюйте закон Джоуля—Ленца. Чому він має таку назву?
3. Як математично записується закон Джоуля—Ленца?
4. Які формули для розрахунку кількості теплоти, що виділяється під час проходження струму в провіднику, ви знаєте? Чи завжди можна користуватися ними?

Вправа № 16

1. Чому електричні проводи, по яких подається напруга до електричної лампи розжарювання, не нагріваються, а волосок лампи нагрівається та яскраво світиться?
2. Скільки теплоти виділиться за 10 хв в електричній печі, увімкнутій в мережу, якщо опір нагрівального елемента печі становить 30 Ом, а сила струму в ньому дорівнює 4 А?
3. Два провідники опорами 10 і 20 Ом увімкнуті в мережу, що має напругу 100 В. Яка кількість теплоти виділиться за 5 с в кожному провіднику, якщо їх з'єднати паралельно?
4. Скільки часу буде нагріватися 1,5 л води від 20 до 100°C в електричному чайнику потужністю 600 Вт, якщо ККД чайника становить 80%?
5. Електорокип'ятильник за 5 хв нагріває 0,2 кг води від 14°C до кипіння за умови, що по його обмотці протікає струм силою 2 А. Визначте, на яку напругу розрахований електорокип'ятильник. Витратами енергії знехтувати.
- 6*. Якої довжини ніхромовий дріт треба взяти, щоб виготовити електричний камін, який працюватиме при напрузі 120 В і виділятиме 1 МДж теплоти за годину? Діаметр дроту 0,5 мм.

§ 17. ЕЛЕКТРИЧНІ НАГРІВАЛЬНІ ПРИСТРОЇ. ЗАПОБІЖНИКИ



Статистика — наука безкомпромісна. Статистичні дані свідчать, що серед причин виникнення пожеж друге місце після необережного поводження з вогнем посідає загоряння проводки унаслідок короткого замикання. Про те, що таке коротке замикання і як убезпечитися від загоряння проводів, якщо замикання все ж таки відбулося, ви дізнаєтеся з цього параграфа.



Вивчаємо електронагрівальні пристрої

Електричні нагрівальні пристрої широко застосовують у сільському господарстві (рис. 17.1), промисловості, на транспорті, у побуті. Незважаючи на зовнішнє різноманіття, усі електронагрівники, використовувані на практиці, мають деякі спільні риси.



Рис. 17.1. Робота інкубаторів ґрунтується на тепловій дії струму

По-перше, робота всіх електричних нагрівників ґрунтується на *тепловій дії струму*, тобто в таких пристроях енергія електричного струму перетворюється на внутрішню енергію нагрівника, який, у свою чергу, шляхом теплопередачі віддає енергію довкіллю (рис. 17.2).

По-друге, основною частиною будь-якого електронагрівника є *нагрівальний елемент* — провідник, який нагрівається при проходженні в ньому струму (рис. 17.3). Нагрівальні елементи мають витримувати нагрівання до дуже високої температури, тому їх виготовляють із *тугоплавких матеріалів*, тобто з матеріалів, що мають високу температуру плавлення (рис. 17.4). Щоб уникнути ураження струмом, нагрівальні елементи ізолюють від корпусу нагрівального пристрою.

За законом Джоуля—Ленца кількість теплоти Q , що виділяється у нагрівальному елементі, становить: $Q = I^2 R t$, отже, змінюючи силу струму в нагрівальному елементі, можна *регулювати температуру нагрівника* (рис. 17.5).

Підвідні проводи та нагрівальний елемент з'єднані послідовно, отже, сила струму в них є однаковою. Щоб проводи нагрівалися набагато менше, ніж нагрівальний елемент, його опір має бути в багато разів більшим за опір підвідних проводів. Тому нагрівальні елементи найчастіше виготовляють із речовин з великим питомим опором.



Рис. 17.2. Щоб збільшити тепловіддачу, поверхню обігрівача роблять ребристою, а нагрівальну поверхню електроплити виготовляють із темних металів

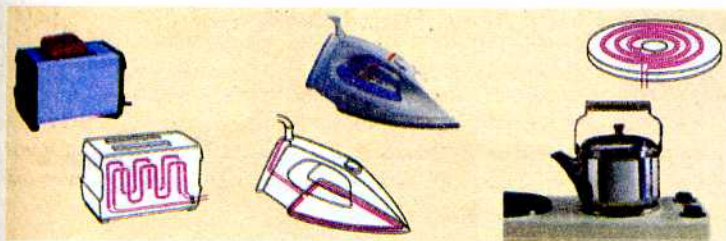


Рис. 17.3. Основна частина будь-якого електричного нагрівального пристрою — нагрівальний елемент

2 З'ясуємо причини різкого збільшення сили струму в колі

Опір підвідних проводів досить малий, проте в разі значного збільшення сили струму вони дуже нагріваються, і це може стати причиною пожежі.

З'ясуємо, з яких причин може різко збільшитися сила струму в електричному колі звичайної квартири. Для цього згадаємо закон Ома: $I = \frac{U}{R}$.

Оскільки напруга в мережі є сталою, збільшення сили струму можливе тільки за умови зменшення загального опору кола. Як відомо, споживачі у квартирі з'єднані паралельно, тому, якщо увімкнути відразу кілька потужних споживачів, загальний опір кола суттєво зменшиться, відповідно сила струму в колі значно збільшиться.

Різко збільшується сила струму в колі й у випадку короткого замикання — з'єднання кінців ділянки кола провідником, опір якого дуже малий порівняно з опором цієї ділянки. Так, коротке замикання може виникнути у випадку порушення ізоляції проводів або під час ремонту елементів електричного кола, які перебувають під напругою (нагадаємо, що це є смертельно небезпечним!).

3 Застосовуємо запобіжники

Щоб уникнути пожежі у випадку короткого замикання або перевантаження електричного кола, а також щоб не зіпсувати споживачі електричної енергії під час небезпечного збільшення сили струму, використовують запобіжники — пристрої, які розмикають коло, якщо сила струму в ньому збільшиться понад норму (рис. 17.6–17.8).

Увага! Дуже небезпечно застосовувати несправні запобіжники або використовувати саморобні запобіжні пристрої. Якщо при збільшенні сили струму понад норму коло своєчасно не розімкнеться, виникне пожежа.



Рис. 17.4. Нагрівальний елемент електричної лампи розжарювання виготовляють із вольфраму, температура плавлення якого 3387 °С. Нагріваючись до температури 3000 °С, тонкий вольфрамовий волосок починає яскраво світитися



Рис. 17.5. Повертаючи тумблер праски, ми настроюємо її на певний температурний режим

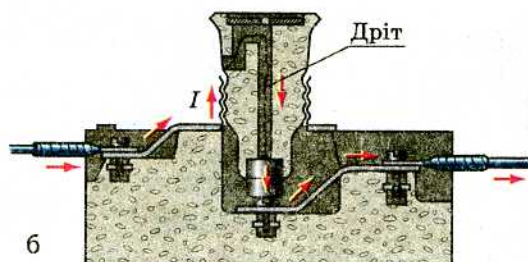


Рис. 17.6. Плавкий запобіжник, застосовуваний у квартирній проводці: а — зовнішній вигляд; б — схема. Струм, що йде до споживача (напрямок струму позначений стрілками), проходить через дріт, виготовлений із легкоплавкого металу, наприклад свинцю. У разі зростання сили струму понад норму дріт нагрівається й розплавляється — електричне коло розмикається

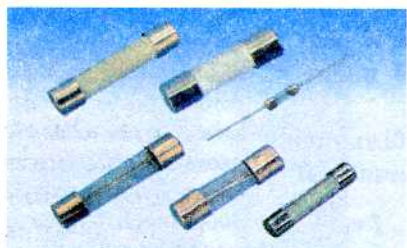


Рис. 17.7. Плавкі запобіжники, застосовувані в радіотехніці. По осі скляної трубочки з металевими наконечниками натягнутий тонкий легкоплавкий провідник

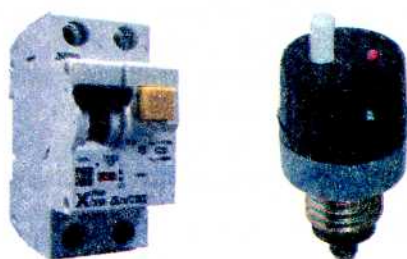


Рис. 17.8. Автоматичні запобіжники. Робоча частина автоматичного запобіжника — біметалічна пластина. У разі збільшення сили струму понад норму біметалічна пластина вигинається, в результаті чого коло розмикається. Після охолодження запобіжник знову можна повернути в робочий стан

4 Учимся розв'язувати задачі

Задача. Автоматичний запобіжник на квартирному електролічильнику розрахований на силу струму 10 А. Чи спрацює запобіжник, якщо одночасно увімкнути лампу потужністю 200 Вт, пральну машину потужністю 800 Вт, електричний чайник потужністю 1200 Вт?

Дано:

$$I = 10 \text{ А}$$

$$P_1 = 200 \text{ Вт}$$

$$P_2 = 800 \text{ Вт}$$

$$P_3 = 1200 \text{ Вт}$$

$$U = 220 \text{ В}$$

$$P_{\text{макс}} \text{ — ?}$$

$$P_{\text{заг}} \text{ — ?}$$

Аналіз фізичної проблеми

Для розв'язання задачі слід визначити загальну потужність $P_{\text{заг}}$ увімкнених споживачів. Якщо $P_{\text{заг}}$ споживачів менша за максимально можливу потужність струму $P_{\text{макс}}$, на яку розрахований запобіжник, то запобіжник не спрацює, якщо більша — то він розімкне коло. Потужність струму $P_{\text{макс}}$ знайдемо, знаючи напругу в мережі (220 В) і максимальну силу струму, на яку розрахований запобіжник.

Пошук математичної моделі, розв'язання, аналіз результатів

Оскільки за будь-якого з'єднання споживачів їх загальна потужність дорівнює сумі потужностей окремих споживачів, то $P_{\text{заг}} = P_1 + P_2 + P_3$.

Відповідно до формули для розрахунку потужності: $P_{\text{макс}} = UI_{\text{макс}}$.
Визначимо значення шуканих величин:

$$[P] = B \cdot A = \text{Вт};$$

$$\{P_{\text{макс}}\} = 220 \cdot 10 = 2200; P_{\text{макс}} = 2200 \text{ Вт}.$$

$$P_{\text{заг}} = 200 + 800 + 1200 = 2200 \text{ (Вт)}.$$

Проаналізуємо результати. Порівнявши значення отриманих потужностей, бачимо, що навантаження в колі досягло максимально можливого значення. А оскільки ще є втрата потужності на підвідних проводах, можна стверджувати, що запобіжник спрацює і коло розімкнеться.

Відповідь: запобіжник розімкне коло.

Підбиваємо підсумки

Робота численних і різноманітних електронагрівальних пристроїв ґрунтується на тепловій дії струму.

Згідно із законом Джоуля—Ленца певна кількість теплоти виділяється і в підвідних проводах. Значне нагрівання провідників може стати причиною пожежі, тому, якщо є небезпека надмірного збільшення сили струму, до всіх електричних кіл приєднують запобіжники. Запобіжник являє собою пристрій, який розмикає коло, якщо сила струму в ньому збільшиться понад норму.

Контрольні запитання

1. Назвіть електричні пристрої, робота яких ґрунтується на тепловій дії струму. 2. Які перетворення енергії відбуваються всередині електронагрівника в разі його ввімкнення в коло? 3. Які властивості повинен мати метал, із якого виготовляють нагрівальний елемент? 4. Чому нагрівальний елемент має бути ізольований від корпусу нагрівального приладу? 5. Що може стати причиною надмірного збільшення сили струму в колі? До чого це може призвести? 6. Що таке коротке замикання? 7. З якою метою застосовують запобіжники? 8. Поясніть будову та принцип дії плавкого запобіжника.

Вправа № 17

- Для приєднання зварювального апарата, який споживає 100 А, молодий робітник вирішив скористатися освітлювальним шнуром. Чому ви, знаючи фізику, ніколи цього не зробите?
- Яким вимогам має відповідати речовина, з якої виготовляють дріт для плавкого запобіжника?
- Чому для запобігання займанню електропроводки особливу увагу слід приділяти якісному з'єднанню дрітів один з одним та з приладами, які ввімкнено в мережу?
- Яку найбільшу потужність може споживати пристрій, якщо плавкий запобіжник розраховано на максимальний струм 6 А при напрузі 220 В?

Експериментальне завдання

За паспортами й інструкціями до різних споживачів у вашій оселі з'ясуйте їхню потужність. Дізнайтеся в батьків, на яку силу струму розраховані запобіжники, що встановлені на електролічильнику. Визначте, скільки споживачів і які саме можна одночасно увімкнути в одному відгалуженні проводки.

§ 18. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ У МЕТАЛАХ



Електричний струм можуть проводити рідини й тверді речовини, за певних умов електричний струм проводять і гази. Вивчення електричного струму в різних середовищах ми почнемо з вивчення струму в металах. По-перше, тому, що всі без винятку метали добре проводять електричний струм, а по-друге, саме з провідністю металів пов'язане широке застосування електричної енергії в житті людини.

1 З'ясовуємо природу електричного струму в металах

Із курсу хімії вам відомо, що валентні електрони в металах легко залишають свій атом і стають вільними. У результаті у вузлах кристалічної ґратки металу залишаються позитивні йони.

За відсутності електричного поля вільні електрони всередині металевого провідника рухаються хаотично. Рух електронів у металах нагадує рух молекул газу, саме тому вільні електрони в металах називають *електронним газом* (рис. 18.1).

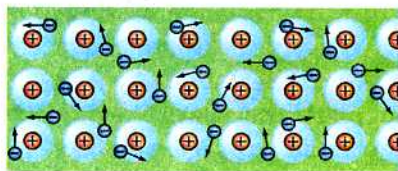


Рис. 18.1. Вільні електрони в металах за відсутності електричного поля рухаються хаотично

Якщо ж у провіднику створене електричне поле, то електрони, рухаючись хаотично, починають зміщуватись у бік позитивного полюса джерела струму. Рух електронів стає напрямленим — у металі утворюється електричний струм.

Електричний струм у металах являє собою напрямлений рух вільних електронів.

Уперше цей факт експериментально довели російські вчені *Л. І. Мандельштам* і *М. Д. Папалексі* (1913 р.) й незалежно від них — американські фізики *Р. Толмен* і *Т. Стюард* (1916 р.).

Учені користувалися такими міркуваннями. Якщо металевому провіднику надати швидкого руху (рис. 18.2), а потім різко його зупинити, то наявні в ньому вільні заряджені частинки рухатимуться за інерцією (аналогічно тому, як у випадку різкої зупинки транспорту в ньому продовжують рух незакріплені предмети). У результаті в провіднику виникне короткочасний струм, який можна зафіксувати гальванометром. За напрямком відхилення стрілки гальванометра з'ясовують знак заряду частинок, рух яких спричинив появу струму; за відношенням заряду частинок до їхньої маси встановлюють, які саме частинки створюють струм.

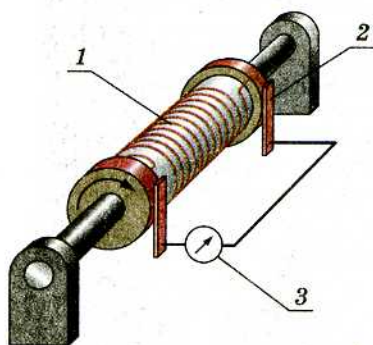


Рис. 18.2. Схема досліду з вивчення електричного струму в металах: 1 — котушка з металевим дротом; 2 — ковзні контакти; 3 — чутливий гальванометр. Котушці надають швидкого обертання й різко зупиняють. У результаті в колі виникає електричний струм, який реєструється гальванометром

2 Переконаємося, що опір металів залежить від температури

У дослідах, про які йшлося в п. 1, після зупинки провідника напрямлений рух частинок швидко припиняється. І це зрозуміло, оскільки провідник чинить опір струмові. Опір металевого провідника залежить не тільки від його геометричних параметрів та речовини, з якої він виготовлений, але й від температури. Переконаємося в цьому за допомогою досліду.

З'єднаємо сталеву спіраль з джерелом струму й підігріватимемо її в полум'ї спиртівки (рис. 18.3). Напругу будемо підтримувати постійною. Дослід продемонструє, що в міру нагрівання сила струму в спіралі зменшується, отже, опір спіралі зростає. Проведемо такий самий дослід з іншими спіралями — однаковими зі сталеною спіраллю за розмірами, але виготовленими з інших речовин, і переконаємося, що при збільшенні температури опір цих спіралей також збільшується, але зміна опору буде іншою.

Ретельні дослідження показують, що опір металевих провідників залежить від температури практично лінійно. Знаючи, як змінюється опір металевого провідника за умови зміни температури, можна, вимірюючи опір, визначити температуру провідника. Цей факт покладено в основу роботи так званих *термометрів опору*. Датчик температури (найчастіше платиновий дріт) розміщують у середовищі, температуру в якому необхідно виміряти. Опір дроту в результаті змінюється, що фіксує *омметр*. За відомим опором визначають температуру середовища. На практиці шкалу омметра відразу градуують в одиницях температури.

3 Знайомимося з явищем надпровідності

У 1911 р. нідерландський учений Г. Камерлінг-Оннес (рис. 18.4), досліджуючи, як поводить себе ртуть за температур, близьких до абсолютного нуля (-273°C), помітив дивне явище: у разі зниження температури ртуті до $4,1\text{ K}$ (-269°C) її питомий опір стрибком падав до нуля. Аналогічне явище спостерігалося з оловом, свинцем та іншими металами. Це явище отримало назву *надпровідності* (рис. 18.5). Надпровідність неможливо пояс-

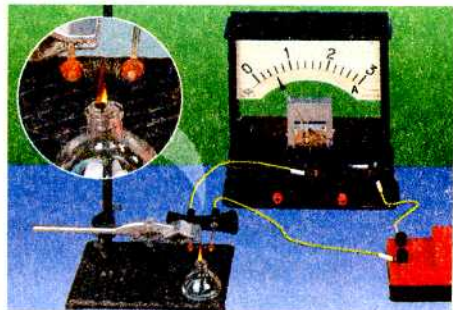


Рис. 18.3. Дослід, що демонструє залежність опору металів від температури. У процесі нагрівання спіралі сила струму в ній зменшується, отже, опір спіралі зростає



Рис. 18.4. Гейке Камерлінг-Оннес (1853–1926) — нідерландський фізик, лауреат Нобелівської премії (1913 р.). Відкрив явище надпровідності металів

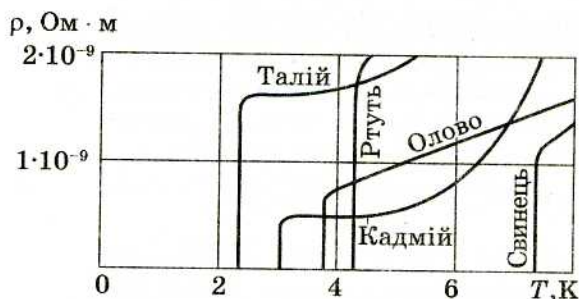


Рис. 18.5. Графіки змінювання питомого опору деяких металів за температур, близьких до абсолютного нуля. З наближенням до нульової позначки питомий опір цих металів стрибком падає до нуля — метал переходить у надпровідний стан



Рис. 18.6. Джон Бардін, Леон Купер, Джон Роберт Шриффер — лауреати Нобелівської премії з фізики (1972 р.) за розробку квантової теорії надпровідності

нити з погляду електронної провідності металів. У 1967 р. групою американських учених (рис. 18.6) була розроблена квантова теорія надпровідності.

! Підбиваємо підсумки

Електричний струм у металах являє собою напрямлений рух вільних електронів.

При відсутності електричного поля вільні електрони в металах рухаються хаотично. Якщо ж у металевому провіднику створити електричне поле, то вільні електрони, не припиняючи свого хаотичного руху, починають рухатися напрямлено.

Опір металевих провідників залежить від їхньої температури. Цей факт покладено в основу роботи термометрів опору.

У разі зменшення температури деяких металів до температур, близьких до абсолютного нуля, їхній опір стрибком падає до нуля. Це явище називають надпровідністю.

? Контрольні запитання

1. Опишіть характер руху вільних електронів у металах: при відсутності електричного поля; при наявності електричного поля.
2. Що являє собою електричний струм у металах?
3. Опишіть суть дослідів учених щодо виявлення природи електричного струму в металах.
4. У чому полягає причина опору металів?
5. Чи залежить опір металів від температури? Якщо залежить, то як?
6. У чому полягає явище надпровідності?



Вправа № 18

1. Визначте напрямок короткочасного електричного струму, що виникає після зупинки котушки (див. рис. 18.2).
2. Відомо, що номінальну потужність електроплити розраховують для працюючого пристрою. Уявіть, що опір спіралі плити зі зміненням температури не змінюється. Треба збільшити чи зменшити довжину спіралі, щоб потужність плити не змінилася? Поясніть свою відповідь.

- 3*. Металевий волосок розжарювання електричної лампи поступово тоншає через випаровування металу з його поверхні; врешті-решт у найтоншому місці волосок перегорить. Поясніть, чому лампа перегорить найчастіше саме в той момент, коли її вмикають.



ФІЗИКА ТА ТЕХНІКА В УКРАЇНІ

Інститут металофізики НАН України (Київ)

Сучасне життя неможливо уявити без застосування металів. На жаль, природа не створила «ідеального» металу. Так, одні з них мають велику міцність, невелику густину, проте є досить коштовними (титан), інші мають малий електричний опір та водночас недостатню міцність (алюміній). Тож протягом століть учені намагаються покращити властивості конкретних металів, зберігаючи їхні «добрі» якості та зменшуючи «погані».

Квантова фізика XX ст. надала можливість цілеспрямовано змінювати властивості металів. Цей процес базується на вивченні їхньої мікроструктури за допомогою різних методів. Інститут металофізики має один із найбільших арсеналів для вивчення мікроструктури металів. Тому винахід у кінці XX ст. *наноматеріалів* учені інституту зустріли всебічно озброєними (хто забув, що таке «наноматеріали», зверніться до Енциклопедичних сторінок у підручнику для 7-го класу).

Практичне втілення наукових розробок Інституту металофізики націлене на створення матеріалів з унікальними властивостями. Вони використовуються в новітніх металевих конструкціях для авіаційної та автомобільної промисловості, космічної техніки, виробів медичного призначення.

§ 19. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ У РІДИНАХ



Дистильована вода — практично діелектрик, тому що в ній майже немає вільних заряджених частинок; діелектриком є й кухонна сіль. Однак якщо дрібку кухонної солі кинути в дистильовану воду, то отриманий розчин добре проводитиме струм. Чому це так? Звідки в розчині взяли вільні частинки, що мають електричний заряд?



Знайомимося з електролітами

Молекули багатьох речовин (наприклад, солей) являють собою позитивні і негативні йони, з'єднані в одне ціле силою електричного притягання. Так, макромолекула кухонної солі (NaCl) складається з позитивних йонів Натрію (Na^+) і негативних йонів Хлору (Cl^-) (рис. 19.1), макромолекула купрум сульфату (CuSO_4) — з позитивних йонів Купруму (Cu^{2+}) і негативних йонів сульфату (SO_4^{2-}). Якщо ці речовини розчинити, наприклад, у воді, то притягання між йонами стане набагато слабшим і молекули речовин можуть розпастися на окремі йони. З курсу хімії ви вже знаєте, що розпад деяких речовин на йони під дією полярних молекул розчинника називають *електролітичною дисоціацією* (від латин. *dissociatio* — роз'єднання, розділення).

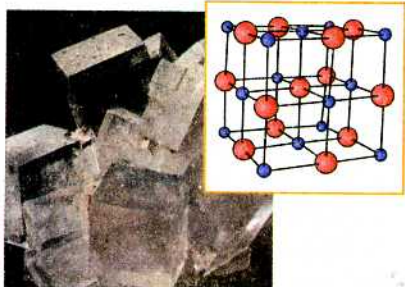


Рис. 19.1. Макромолекула кухонної солі (NaCl) складається з позитивних йонів Натрію Na^+ і негативних йонів Хлору Cl^-

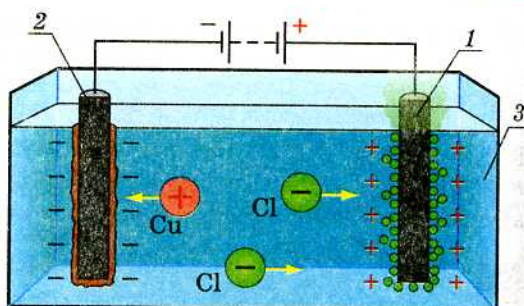


Рис. 19.2. Схема дослідження електричного струму в рідинах: 1 — анод; 2 — катод; 3 — ванна з розчином електроліту. Після замикання кола позитивні йони (катіони) рухаються до катода, негативні йони (аніони) — до анода

У результаті електролітичної дисоціації в розчині з'являються вільні заряджені частинки — позитивні і негативні йони й розчин починає проводити струм.

Досліди показують, що розпадання молекул на йони може бути спричинене не тільки розчинником. За умови значного збільшення температури деякі солі та оксиди металів можуть розпадатися на окремі йони й без «допомоги» розчинника. Тому розплави цих речовин теж проводять електричний струм.

Речовини, розчини й розплави яких проводять електричний струм, називають електролітами.

2 З'ясовуємо, як проходить електричний струм через електроліти

Візьмемо два вугільні стрижні (електроди) та з'єднаємо їх із полюсами джерела струму (див. рис. 19.2). Нагадаємо, що електрод, з'єднаний із позитивним полюсом джерела струму, називають *анодом*, а електрод, з'єднаний із негативним полюсом, — *катодом*. Опустимо електроди в посудину з розчином електроліту, наприклад, із водним розчином купрум хлориду (CuCl_2), і замкнемо коло. У розчині купрум хлориду виникне електричне поле, під дією якого вільні позитивні йони Купруму (Cu^{2+}) попрямують до катода, а вільні негативні йони Хлору (Cl^-) — до анода. Отже, у розчині виникне напрямлений рух вільних заряджених частинок — електричний струм.

Електричний струм у розчинах і розплавах електролітів являє собою напрямлений рух вільних йонів.

Слід звернути увагу, що йонний механізм провідності мають (крім розчинів та розплавів електролітів) і деякі тверді речовини, наприклад натрій хлорид (NaCl), калій хлорид (KCl), аргентум нітрат (AgNO_3) та ін.

Електроліти — це тверді або рідкі речовини, що мають йонну провідність.

Під час проходження струму через електроліти позитивні йони рухаються до негативного електрода — катода, тому їх називають *катіонами*; негативні йони рухаються до позитивного електрода — анода, і їх відповідно називають *аніонами*.

3 Даємо визначення електролізу

Проходження електричного струму через електроліт (на відміну від проходження струму через метал) характеризується тим, що йони переносять хімічні складові електроліту і ті виділяються на електродах — відкладаються у вигляді твердого шару або виділяються в газоподібному стані.

Наприклад, якщо через водний розчин купрум хлориду протягом кількох хвилин пропускати струм, то побачимо, що поверхню катода вкриє тонкий шар міді (рис. 19.3), а біля анода виділиться газоподібний хлор. Наявність хлору можна визначити за характерним запахом або, якщо попередньо обгорнути анод кольоровою тканиною, — за її знебарвленням.

Це відбувається тому, що під час проходження струму через розчин купрум хлориду вільні позитивні йони Купруму (Cu^{2+}) прямують до катода, а вільні негативні йони Хлору (Cl^-) — до анода. Досягнувши катода, катіон Купруму «бере» з його поверхні електрони, яких йому бракує, тобто відбувається *хімічна реакція відновлення*. Унаслідок цієї реакції катіон Купруму перетворюється на нейтральний атом; на поверхні катода осідає мідь. Водночас аніони Хлору, досягнувши поверхні анода, навпаки, «віддають» йому надлишкові електрони — відбувається *хімічна реакція окиснення*; на аноді виділяється хлор.

Процес виділення речовин на електродах, пов'язаний з окисно-відновними реакціями, що відбуваються на електродах під час проходження струму, називають *електролізом*.

4 Відкриваємо закон Фарадея

Уперше явище електролізу докладно вивчив англійський фізик *М. Фарадей* (рис. 19.4). Точно вимірюючи масу речовин, які виділялись на електродах під час проходження електричного струму через розчин електроліту, він



Рис. 19.3. Через кілька хвилин після початку пропускання струму через розчин купрум хлориду поверхню катода вкриє тонкий шар міді



Рис. 19.4. Майкл Фарадей (1791–1867) — англійський фізик, засновник вчення про електромагнітне поле. Виявив хімічну дію електричного струму, встановив закони електролізу і здійснив чимало інших видатних відкриттів

сформулював закон, який згодом був названий **законом електролізу**, або **першим законом Фарадея**:

Маса m речовини, яка виділяється на електроді під час електролізу, пропорційна силі струму I та часу t його проходження через електроліт:

$$m = kIt,$$

де k — коефіцієнт пропорційності, який отримав назву **електрохімічний еквівалент речовини**.

Електрохімічний еквівалент речовини чисельно дорівнює масі цієї речовини, яка виділиться на електроді за 1 с під час проходження через електроліт струму силою 1 А $\left([k] = \frac{\text{мг}}{\text{А} \cdot \text{с}} = \frac{\text{мг}}{\text{Кл}}\right)$.

Електрохімічні еквіваленти деяких речовин

Речовина	Електрохімічний еквівалент k , $\frac{\text{мг}}{\text{Кл}}$	Речовина	Електрохімічний еквівалент k , $\frac{\text{мг}}{\text{Кл}}$
Алюміній (Al^{3+})	0,09	Нікель (Ni^{2+})	0,30
Водень (H^+)	0,01	Срібло (Ag^+)	1,12
Кисень (O^{2-})	0,08	Хром (Cr^{3+})	0,18
Мідь (Cu^{2+})	0,33	Хлор (Cl^-)	0,37
Натрій (Na^+)	0,24	Цинк (Zn^{2+})	0,34

5 Учимся розв'язувати задачі

Задача. Для визначення електрохімічного еквіваленту міді через розчин купрум сульфату протягом 30 хв пропускали струм силою 0,5 А. Яке значення електрохімічного еквіваленту отримали, якщо маса катода до початку досліду становила 75,2 г, а після досліду — 75,47 г?

Дано:

$$t = 1800 \text{ с}$$

$$I = 0,5 \text{ А}$$

$$m_1 = 75\,200 \text{ мг}$$

$$m_2 = 75\,470 \text{ мг}$$

k — ?

Аналіз фізичної проблеми

Для розв'язання задачі скористаємося законом електролізу. Масу міді, що виділилася на катоді, знайдемо як різницю мас катода до і після досліду. Оскільки в таблицях електрохімічний еквівалент подають у міліграмах на кулон, то масу зручно подати в міліграмах.

Пошук математичної моделі, розв'язання, аналіз результатів

Відповідно до першого закону Фарадея маємо: $m = kIt$, отже, $k = \frac{m}{It}$; при цьому $m = m_2 - m_1$. Одержуємо:

$$k = \frac{m_2 - m_1}{It}.$$

Визначимо значення шуканої величини:

$$[k] = \frac{\text{мг}}{\text{А} \cdot \text{с}} = \frac{\text{мг}}{\text{Кл}};$$

$$\{k\} = \frac{75470 - 75200}{0,5 \cdot 1800} = \frac{270}{900} = 0,30; \quad k = 0,30 \frac{\text{мг}}{\text{Кл}}.$$

Проаналізуємо результат. Порівнявши отримане значення електрохімічного еквіваленту міді з табличним $\left(k = 0,33 \frac{\text{мг}}{\text{Кл}}\right)$, бачимо, що результати практично збіглися.

Похибка виникла через неточність вимірювання маси. Отже, задачу розв'язано правильно.

Відповідь: отримане в результаті досліду значення електрохімічного еквіваленту міді становить $0,30 \frac{\text{мг}}{\text{Кл}}$.

Підбиваємо підсумки

Розпад електролітів на йони під дією розчинника називають електролітичною дисоціацією. У результаті дисоціації в розчині з'являються вільні заряджені частинки — катіони та аніони. Електроліти — це будь-які тверді або рідкі речовини, які мають йонний характер провідності.

Електричний струм в електролітах — це напрямлений рух вільних йонів. При проходженні електричного струму через електроліт хімічні складові електроліту осаджуються на електродах або виділяються в газоподібному стані. Процес виділення речовин на електродах, пов'язаний з окисно-відновними реакціями, що відбуваються на електродах під час проходження струму, називають електролізом. Під час електролізу справджується перший закон Фарадея (закон електролізу): маса речовини, що виділяється на електроді, пропорційна силі струму та часу його проходження через електроліт: $m = kIt$. Коефіцієнт пропорційності k називають електрохімічним еквівалентом речовини.

Контрольні запитання

1. У чому полягає явище електролітичної дисоціації? Наведіть приклади.
2. Що таке електроліт?
3. Що являє собою електричний струм у розчинах і розплавах електролітів?
4. Опишіть процес електролізу.
5. Сформулюйте перший закон Фарадея.
6. Яким є фізичний зміст електрохімічного еквіваленту речовини?

Вправа № 19

1. Скориставшись законом електролізу, виведіть одиницю електрохімічного еквіваленту в СІ.
2. Дистильована вода не є провідником. А чому водопровідна вода, а також річкова й морська добре проводять електричний струм?
3. Чому розчин солі у воді добре проводить електричний струм, а розчин цукру у воді — погано?
4. Під час електролізу, де електролітом виступав аргентум нітрат, на катоді виділилося 25 г срібла. Скільки часу тривав електроліз, якщо сила струму була сталою й дорівнювала 0,5 А?
5. Через розчин аргентум нітрату протягом 2 год пропускали електричний струм. Визначте масу срібла, яке утворилося на катоді під час електролізу, якщо напруга на електродах становила 2 В, а опір розчину — 0,4 Ом.
6. Під час електролізу розчину сульфатної кислоти за 50 хв виділилося 3 г водню. Визначте потужність, яку витрачено на нагрівання розчину електроліту, якщо його опір становив 0,4 Ом.

§ 20. ЗАСТОСУВАННЯ ЕЛЕКТРОЛІЗУ



Існує легенда, що наприкінці XVIII ст. король Англії надіслав у подарунок російській імператриці Єкатерині II... алюмінієвий кухоль. Уявіть, що вона була вражена таким коштовним подарунком! Річ у тім, що в ті часи алюміній був дуже рідкісним і коштував у кілька разів дорожче від золота. Згодом завдяки застосуванню електролізу алюміній став загальнодоступним і досить недорогим. Проте, як за допомогою електролізу одержують метали і де ще застосовують електроліз, ітиметься в цьому параграфі.

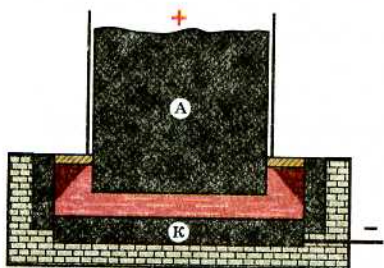


Рис. 20.1. Виробництво алюмінію (схема промислового пристрою). Ванна наповнена алюміній оксидом, розчиненим у розплавленому кріоліті. Дно та стінки ванни, викладені графітом, слугують катодом, алюміній збирається на дні ванни; вугільні блоки слугують анодом, на них виділяється кисень



Застосовуємо електроліз для одержування металів

Електроліз широко застосовують у промисловості. За допомогою електролізу із солей і оксидів одержують багато металів: мідь, нікель, алюміній та ін. Наприклад, щоб одержати алюміній, як електроліт використовують алюміній оксид (Al_2O_3), розчинений у розплавленому кріоліті (Na_3AlF_6) за температури 950°C . Розчин поміщають у спеціальні електролітичні ванни; катодом зазвичай слугують дно та стінки ванни, викладені графітом, а анодом — занурені в електроліт вугільні блоки (рис. 20.1). У процесі пропускання струму через електроліт на катоді виділяється алюміній. Аналогічно одержують деякі інші метали.



Одержуємо чисті метали

Метали, отримані шляхом електролізу (або іншим способом), зазвичай містять деяку кількість домішок, оскільки сировина не може бути «ідеальною». Так, у розплаві завжди наявні солі й оксиди інших металів, і ті так само можуть виділятися на катоді. Для очищення металів від домішок можна знову використати електроліз.

Спосіб очищення металів за допомогою електролізу називають рафінуванням. У такий спосіб очищають мідь, алюміній, свинець, срібло та деякі інші метали.

Наведемо приклад. У ванну з розчином купрум сульфату (CuSO_4) опускають два електроди. Анодом слугує товста пластинка неочищеної міді, а катодом — тонка пластинка чистої міді. У разі пропускання струму чиста мідь переноситиметься з анода на катод, а домішки осідатимуть у розчині (рис. 20.2). З'ясуємо, як відбувається цей процес.

У розчині купрум сульфат розкладається (дисоціює) на катіони Купруму (Cu^{2+}) та сульфат-аніони (SO_4^{2-}). Під час електролізу катіони Купруму прямують до катода, де отримують електрони, яких

їм бракує. Нейтральні атоми Купруму осідають на катоді, при цьому маса катода більшає. А сульфат-аніони рухаються до анода, де з'єднуються з йонами Купруму; таким чином, анод поступово розчиняється і його маса меншає.

3 Знайомимось з гальваностегією

Шляхом електролізу можна наносити тонкі шари металів на поверхню іншого металу — робити сріблення, золочення, нікелювання, хромування тощо. Такі шари можуть захищати метал від корозії, збільшувати його міцність або просто ставати прикрасою виробу.

Електролітичний спосіб покривання виробу тонким шаром металів називають гальваностегією.

Виріб, який бажають покрити тонким шаром металу, опускають у ванну з розчином електроліту, до складу якого входить потрібний метал. Виріб, що покривається, є катодом, а пластинка металу, яким покривають виріб, — анодом. Під час пропускання струму метал осідає на виробі (катоді), а анодна пластинка поступово розчиняється (рис. 20.2).

4 Вивчаємо гальванопластику

Гальванопластика — це одержання за допомогою електролізу точних копій рельєфних виробів.

Припустимо, що необхідно одержати точну копію виробу складної форми (монети, медалі, скульптурного барельєфа тощо). Спочатку роблять зліпок рельєфного предмета із воску або іншого пластичного матеріалу. Щоб поверхня зліпка проводила струм, її покривають тонким шаром графіту. Потім зліпок поміщають у ванну з розчином електроліту; зліпок слугуватиме катодом. Анодом буде пластинка металу. Під час пропускання струму через розчин на зліпку нарощується досить товстий шар металу, що заповнює всі нерівності зліпка. Після припинення електролізу восковий зліпок відділяють від шару металу і в результаті отримують точну копію виробу (рис. 20.4).

Зрозуміло, що застосування електролізу в сучасній техніці не обмежене розглянутими прикладами. За допомогою електролізу можна здійснити полірування поверхні анода; електроліз лежить в основі

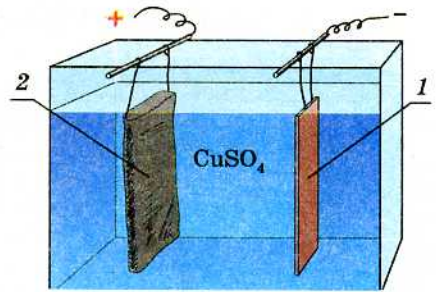


Рис. 20.2. Рафінування міді: тонка пластинка чистої міді є катодом (1), товста пластинка неочищеної міді — анодом (2); ванна наповнена водним розчином купрум сульфату

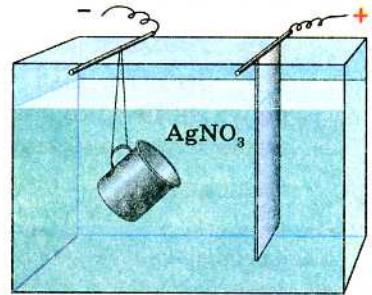


Рис. 20.3. Гальванічне сріблення. Предмет, який покривають сріблом (кружка), є катодом, срібна пластинка — анодом; ванна наповнена розчином аргентум нітрату

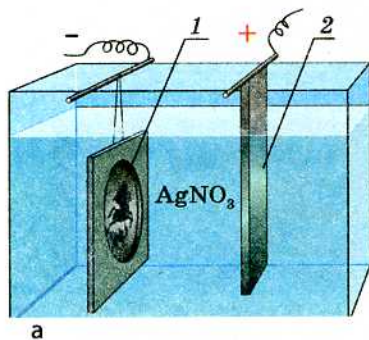


Рис. 20.4. Одержування рельєфних копій за допомогою електролізу: *а* — схема пристрою: восковий зліпок, покритий тонким шаром графіту, є катодом (1), срібна пластинка — анодом (2); ванна наповнена розчином аргентум нітрату; *б* — одержана копія

заряджання та розряджання кислотних і лужних акумуляторів тощо. Однак хімічні й фізичні процеси, що відбуваються при цьому, досить складні, і їх детальне вивчення виходить за рамки шкільного курсу фізики.

5 Учимся розв'язувати задачі

Задача. Під час нікелювання на кожний 1 дм² поверхні виробу, який нікелюють, подають силу струму 0,4 А. За який час на виріб буде нанесено шар нікелю завтовшки 0,2 мм? Густина нікелю становить $9 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.

Дано:

$$S = 100 \text{ см}^2$$

$$I = 0,4 \text{ А}$$

$$d = 0,02 \text{ см}$$

$$\rho = 9 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$$

$$k = 0,30 \frac{\text{мг}}{\text{Кл}}$$

$$= 0,0003 \frac{\text{г}}{\text{Кл}}$$

$t = ?$

Аналіз фізичної проблеми

Час перебігу електролізу можна знайти за допомогою першого закону Фарадея, якщо масу речовини, що виділилася на електроді, виразити через густину та об'єм. Електрохімічний еквівалент нікелю знайдемо у відповідній таблиці. Розв'язуючи задачу, густину зручно подати в грамах на кубічний сантиметр, товщину шару — у сантиметрах, площу поверхні — у квадратних сантиметрах, а електрохімічний еквівалент — у грамах на кулон.

Пошук математичної моделі, розв'язання

Згадаємо перший закон Фарадея: $m = kIt$. Звідси

$$t = \frac{m}{kI}. \quad (1)$$

З визначення густини: $\rho = \frac{m}{V}$; звідси $m = \rho V$.

Оскільки $V = Sd$, то

$$m = \rho Sd. \quad (2)$$

Підставивши формулу (2) у формулу (1), одержимо:

$$t = \frac{\rho Sd}{kI}.$$

Визначимо значення шуканої величини:

$$[t] = \frac{\frac{\text{г}}{\text{см}^3} \cdot \text{см}^2 \cdot \text{см}}{\frac{\text{г}}{\text{Кл}} \cdot \text{А}} = \frac{\text{г} \cdot \text{Кл}}{\text{г} \cdot \text{А}} = \frac{\text{А} \cdot \text{с}}{\text{А}} = \text{с}; \quad \{t\} = \frac{9 \cdot 100 \cdot 0,02}{0,0003 \cdot 0,4} = 15\,000;$$

$$t = 15\,000 \text{ с} = 4 \text{ год } 10 \text{ хв.}$$

Відповідь: процес нікелювання триватиме 4 год 10 хв.

Підбиваємо підсумки

Електроліз широко застосовують у промисловості. За допомогою електролізу із солей і оксидів одержують багато металів (мідь, нікель, алюміній та ін.), а також очищують їх. Спосіб очищування металів за допомогою електролізу називають рафінуванням.

Шляхом електролізу можна наносити тонкий шар металу на поверхню виробу і виготовляти точні копії рельєфних виробів. Електролітичний спосіб покривання виробу тонким шаром металу називається гальваностегією, а одержування за допомогою електролізу точних копій рельєфних виробів — гальванопластикою.

Контрольні запитання

1. Наведіть приклади застосування електролізу.
2. Як за допомогою електролізу одержують алюміній?
3. Як можна очистити метали від домішок?
4. Для чого поверхню металів покривають тонким шаром іншого металу?
5. Що таке гальваностегія? гальванопластика?

Вправа № 20

1. На рис. 1 наведено схематичне зображення електричної установки, складовим елементом якої є посудина з водним розчином аргентум нітрату. За даними рисунка визначте час, необхідний для утворення на електроді шару срібла завтовшки 8 мкм, якщо густина срібла 10,5 г/см³. Яка енергія буде витрачена при цьому, якщо напруга на електродах становить 11 В?
2. На рис. 2 наведено схематичне зображення електричного кола, до складу якого входить посудина з водним розчином цинк сульфату. За даними рисунка обчисліть товщину шару цинку, що утвориться на катоді в результаті електролізу. Густина цинку 7,1 г/см³.
3. Для сріблення ложок через розчин аргентум нітрату пропускали струм силою 1,8 А. Катодом слугували 12 ложок, кожна з яких мала площу поверхні 50 см². Скільки часу тривав електроліз, якщо на ложках відклався шар срібла завтовшки 58 мкм? Густина срібла 10,5 г/см³.

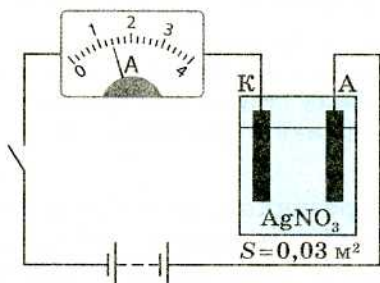


Рис. 1

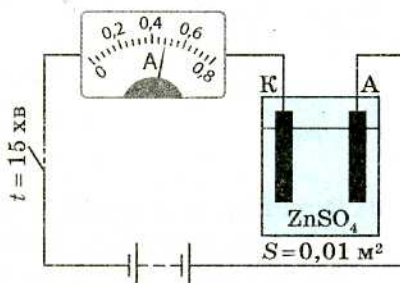
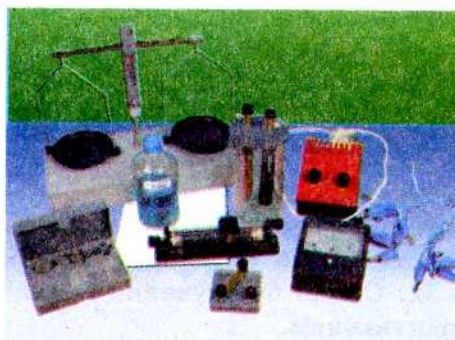


Рис. 2

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9



Тема. Дослідження явища електролізу.

Мета: експериментально довести, що маса речовини, яка виділяється на електроді, прямо пропорційна заряду, який пройшов через електроліт.

Обладнання: електролітична ванна; водний розчин купрум сульфату (CuSO_4); електроди; джерело постійного струму; секундомір; амперметр; терези з важками; реостат; фільтрувальний папір; ключ; з'єднувальні проводи.

ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ

II Підготовка до експерименту

Перш ніж почати виконувати роботу, переконайтеся, що ви знаєте:

- 1) вимоги безпеки під час роботи з електричними колами;
- 2) як правильно користуватися важільними терезами;
- 3) як залежить маса речовини, що виділяється на електроді, від сили струму в розчині та часу його проходження.

Експеримент

Результати вимірювань одразу заносьте до таблиці.

З'ясуйте, як залежить маса міді, що виділяється на електроді, від заряду, який пройшов через електроліт. Для цього виконайте такі дії:

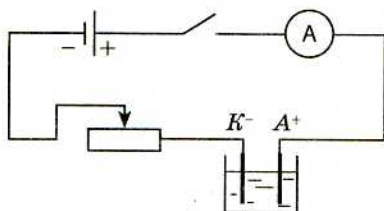


Рис. 1

- 1) За допомогою терезів визначте масу m_1 електрода, який у досліді слугуватиме катодом.
- 2) Складіть електричне коло за схемою, поданою на рис. 1.

З а у в а ж е н н я. Не забудьте, що зважений електрод є катодом і приєднується до негативного полюса джерела струму. Під час дослідів силу струму підтримуйте незмінною за допомогою реостата.

- 3) Опустіть електроди у ванну з розчином, замкніть ключ і одночасно ввімкніть секундомір. Установіть у колі силу струму 1–2 А. Через 7 хв розімкніть коло, катод акуратно про-

мокніть фільтрувальним папером, а потім визначте масу m_2 катода.

- 4) Повторіть дії, що описані в пункті 3, ще три рази, щоразу приєднуючи зважений електрод до негативного полюса джерела струму.

Опрацювання результатів експерименту

Результати обчислень одразу заносьте до таблиці.

- 1) За формулою $m = m_2 - m_1$ обчисліть масу m міді, що виділилася на катоді, за 7 хв, 14 хв, 21 хв, 28 хв.
- 2) За формулою $q = It$ обчисліть заряд q , що пройшов за вказані проміжки часу через електроліт.

Номер досліджу	Маса катода до дослідів m_1 , мг	Маса катода після кожного дослідів m_2 , мг	Маса міді, що виділилася на катоді, m , мг	Час t		Сила струму I , А	Заряд q , Кл
				хв	с		
1				7			
2				14			
3				21			
4				28			

Аналіз експерименту та його результатів

Проаналізуйте експеримент та його результати. Зробіть висновок, у якому зазначте, як залежить маса речовини, що виділилася на електроді, від заряду, який пройшов через електроліт. Укажіть чинники, які могли вплинути на точність результатів.

Творче завдання

Побудуйте графік залежності маси міді, що виділилася на катоді, від заряду, який пройшов через електроліт. Скориставшись графіком, визначте електрохімічний еквівалент міді. Порівняйте отриманий результат з табличним, поясніть причину розбіжності.

§ 21. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ У ГАЗАХ



Прочитавши назву параграфу, дехто з вас здивується: ми ж на початку розділу вивчали, що гази є діелектриками, а це означає, що в них немає вільних заряджених частинок. Тож про який електричний струм може йти мова?

Зауваження цілком слушне, але йшлося про те, що гази є діелектриками за звичайних умов. Однак існують умови, за яких гази можуть ставати провідниками. Про те, коли це відбувається і що собою являє електричний струм у газах, йтиметься в цьому параграфі.

1 Проводимо експеримент

Складемо електричне коло з *потужного* джерела струму, гальванометра та двох металевих пластин (рис. 21.1, а). Пластини відсунуті одна від одної, отже, між ними є повітря. Замкнувши коло, побачимо, що стрілка гальванометра не відхиляється. А це означає, що в колі немає електричного струму або струм такий слабкий, що навіть чутливий гальванометр його не реєструє. Таким чином, можна зробити висновок: *за звичайних умов у повітрі немає вільних заряджених частинок і воно не проводить електричного струму.*

Помістимо між металевими пластинами запалену спиртівку і побачимо, що стрілка гальванометра відхиляється (рис. 21.1, б). Це означає, що в повітрі з'явилися вільні заряджені частинки і воно почало проводити електричний струм. З'ясуємо, що це за частинки, звідки і як вони з'явилися.

2 Знайомимося з механізмом провідності газів

Ви знаєте, що атом будь-якої речовини складається з позитивно зарядженого ядра та негативно заряджених електронів. Оскільки сумарний заряд електронів дорівнює заряду ядра, то атоми й молекули,

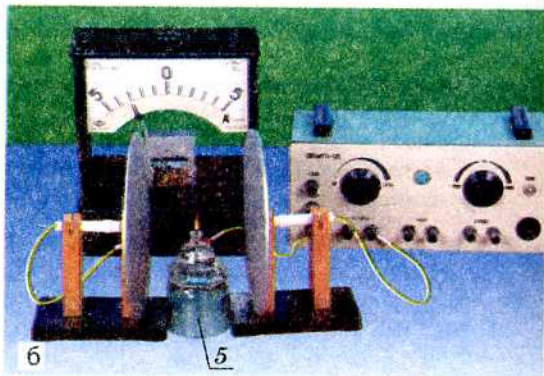
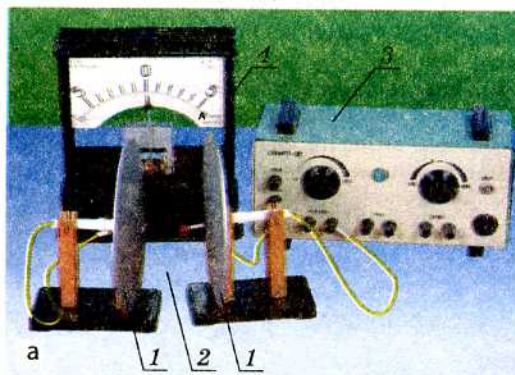


Рис. 21.1. Експеримент із вивчення провідності газів: 1 — металеві пластини; 2 — повітряний проміжок; 3 — потужне джерело струму; 4 — гальванометр; 5 — спиртівка. За звичайних умов повітря не проводить електричного струму (а); у разі внесення в повітряний проміжок запаленої спиртівки повітря стає провідником (б)

з яких складається повітря, електронейтральні. Тому за звичайних умов повітря є ізолятором.

Полум'я нагріває повітря, й кінетична енергія теплового руху молекул (атомів) повітря збільшується. Тепер у разі їхнього зіткнення електрон може відірватися від молекули (атома) та стати вільним. Втративши електрон, молекула (атом) стає позитивним іоном (рис. 21.2).

Під час теплового руху електрон, зіткнувшись з нейтральною молекулою чи атомом, може «прилипнути» до них — таким чином утвориться негативний іон (рис. 21.3).

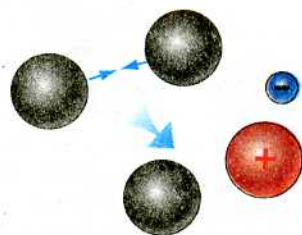


Рис. 21.2. Схема йонізації молекули газу. Втративши в результаті зіткнення електрон, молекула стає позитивним іоном



Рис. 21.3. Схема утворення негативних іонів у газі: електрон «прилипає» до нейтральної молекули

Процес утворення позитивних і негативних іонів та вільних електронів з молекул (атомів) називають **йонізацією**.

У результаті йонізації в газі з'являються вільні заряджені частинки: електрони, позитивні і негативні йони. Такий газ називають **йонізованим**.

Якщо йонізований газ помістити в електричне поле, то під дією поля позитивні йони рухатимуться в напрямку пластини, з'єднаної з негативним полюсом джерела струму, а електрони та негативні йони — в напрямку пластини, з'єднаної з позитивним полюсом джерела. У просторі між пластинами виникне напрямлений рух вільних заряджених частинок — електричний струм.

Електричний струм у газах являє собою напрямлений рух вільних електронів, позитивних і негативних іонів.

Слід звернути увагу на той факт, що газ може стати йонізованим не тільки в результаті підвищення його температури, але й внаслідок впливу інших чинників. Наприклад, верхні шари атмосфери Землі йонізуються під дією космічних променів; сильний йонізаційний вплив на газ мають рентгенівські промені й т. д.

3 Даємо визначення несамостійного газового розряду

Електричний струм у газах інакше називають **електричним** або **газовим розрядом**. Дослід показує, що якщо усунути причину, яка викликала йонізацію газу (прибрати пальник, вимкнути джерело рентгенівського випромінювання тощо), то газовий розряд зазвичай припиняється.

Газовий розряд, який відбувається тільки за наявності зовнішнього йонізатора, називають **несамостійним газовим розрядом**.

З'ясуємо, чому після припинення дії йонізатора газовий розряд припиняється.

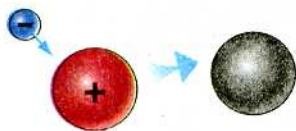


Рис. 21.4. Схема рекомбінації (відновлення) молекул газу

По-перше, у процесі теплового руху позитивний йон може наблизитися до електрона і притягти його, у результаті чого утвориться нейтральна молекула (атом) газу. Цей процес називають *рекомбінацією* (рис. 21.4). Унаслідок рекомбінації кількість вільних заряджених частинок у повітряному проміжку між пластинами зменшується.

По-друге, позитивний йон, досягши негативного електрода (катода), «забирає» з нього електрон і перетворюється на нейтральну молекулу (атом). Аналогічно негативний йон, досягши позитивного електрода (анода), віддає йому зайвий електрон і теж перетворюється на нейтральну молекулу (атом). Нейтральні молекули (атоми) повертаються в газ, а вільні електрони притягуються до анода й поглинаються ним.

Якщо йонізатор «працює», у газі безперервно з'являються нові йони. Після припинення дії йонізатора кількість вільних заряджених частинок у газі швидко зменшується і газ перестає бути провідником електрики.

4 Дізнаємося про йонізацію електронним ударом

За певних умов газ може проводити електричний струм і після припинення дії йонізатора.

Газовий розряд, який відбувається без дії зовнішнього йонізатора, називають **самостійним газовим розрядом**.

Розглянемо, як відбувається самостійний газовий розряд.

Уявіть собі вільний електрон, що під дією електричного поля рухається в напрямку від катода до анода. Під час руху швидкість електрона поступово зростає (аналогічно тому, як зростає швидкість каменя, що падає, під дією гравітаційного поля Землі). Разом з цим на своєму шляху електрон стикається з частинками газу (атомами, молекулами, йонами) і втрачає свою швидкість. Якщо ж на проміжку між зіткненнями електрон встигне набутися великої швидкості, а отже, достатньої кінетичної енергії, то, зіткнувшись з нейтральним атомом чи молекулою, він може вибити з них електрон, іншими словами, може їх *йонізувати*. Таким чином, у результаті йонізації атома чи молекули утворюються позитивний йон і ще один електрон. Послідовність таких зіткнень спричиняє створення *електронної лавини* (рис. 21.5). Описаний процес називають *ударною йонізацією* або *йонізацією електронним ударом*.

Усі електрони, що утворилися внаслідок ударної йонізації, прямують до анода і врешті-решт поглинаються ним. Проте газовий розряд не припиниться, якщо в ньому будуть з'являтися нові електрони. Одним із джерел нових електронів може бути поверхня катода. Річ у тім, що утворені внаслідок ударної йонізації позитивні йони прямують до катода й вибивають з нього нові електрони. Іншими словами, внаслідок бомбардування катода позитивними йонами відбувається *емісія* (випускання) електронів з поверхні катода.

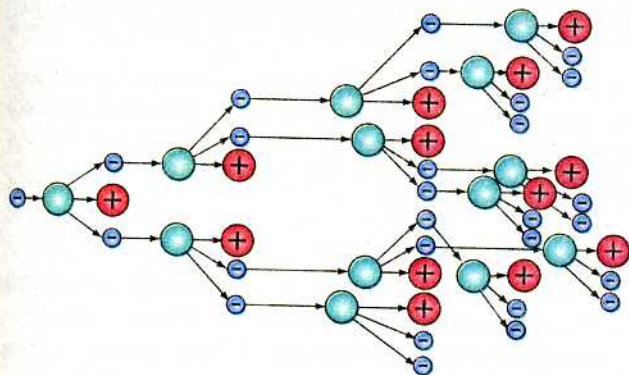


Рис. 21.5. Схема розвитку електронної лавини. Вільний електрон, прискорений електричним полем, йонізує молекулу чи атом і звільняє ще один електрон. Розігнавшись, 2 електрони звільняють ще 2. До анода летять уже 4 електрони. Потім загальна кількість вільних електронів збільшується до 8, 16, 32 і т. д. Число вільних електронів збільшується лавиноподібно доти, доки вони не досягнуть анода

5 З'ясуємо, за яких умов можлива йонізація електронним ударом

Щоб електрон зміг у разі зіткнення вибити електрон із нейтральних атома чи молекули, він має набути достатньо великої енергії. Досягти її електрон може у двох випадках: якщо буде або довго розганятись, або швидко розганятись.

За атмосферного тиску електрон дуже часто зазнає зіткнень, тому *електричне поле, в якому він рухається, має бути досить сильним, щоб електрон зміг набути енергії, необхідної для йонізації за короткий проміжок часу між зіткненнями.*

Якщо ж *газ досить розріджений*, то час між зіткненнями значно збільшується й електрон може набути енергії, необхідної для йонізації молекули, в слабшому полі.

! Підбиваємо підсумки

За звичайних умов газ практично не містить вільних заряджених частинок, тому не проводить електричного струму. Щоб газ почав проводити струм, його необхідно йонізувати. Йонізацією газу називають процес утворення позитивних і негативних йонів та вільних електронів з електрично нейтральних атомів і молекул.

Електричний струм у газах являє собою напрямлений рух вільних електронів, позитивних і негативних йонів.

Газовий розряд, який відбувається тільки за наявності зовнішнього йонізатора, називають несамостійним газовим розрядом. Розряд у газі, що відбувається без дії зовнішнього йонізатора, називають самостійним газовим розрядом — він можливий завдяки йонізації електронним ударом та емісії електронів з катода.

? Контрольні запитання

1. Чому за звичайних умов газ не проводить електричного струму?
2. Який газ називають йонізованим?
3. Що таке йонізація?
4. Який розряд у газі називають самостійним?
5. Чому після припинення дії йонізатора самостійний газовий розряд швидко припиняється?
6. Дайте визначення несамостійного газового розряду.
7. Опишіть механізм ударної йонізації.
8. Яким ще шляхом, крім йонізації електронним ударом, поповнюється нестача вільних електронів у випадку самостійного газового розряду?

§ 22. ВИДИ САМОСТІЙНИХ ГАЗОВИХ РОЗРЯДІВ



Яскраві (а іноді й небезпечні) явища: блискавка, полярне сяйво, моторошні для необізнаної людини «вогні святого Ельма», різнобарвне світіння газових трубок, сліпуче світло під час зварювання металу — усе це приклади різних самостійних газових розрядів. Від чого залежить і як виникає той чи інший електричний розряд у газах, ви дізнаєтеся з цього параграфу.



Знайомимося з іскровим газовим розрядом

Іскорки, які виникають, коли ви знімаєте синтетичний светр; блискавка, що з'являється під час грози; іскра, що виникає між зарядженими кондукторами електрофорної машини (рис. 22.1), — усе це приклади *іскрового розряду*.

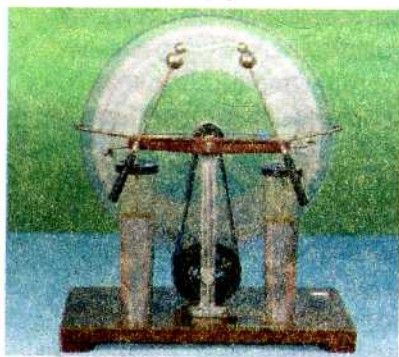


Рис. 22.1. Іскровий розряд між зарядженими кондукторами електрофорної машини



Рис. 22.2. Зовнішній вигляд іскрового розряду



Рис. 22.3. Електрична напруга між електродами свічки запалювання становить 12–15 тис. вольтів

Іскровий розряд має вигляд яскравих зигзагоподібних смужок, що розгалужуються (рис. 22.2). Він триває всього кілька десятків мікросекунд і зазвичай супроводжується певними звуковими ефектами (потріскування, тріск, грім тощо). Річ у тім, що температура газу, а отже, й тиск у *каналі розряду* різко підвищуються, в результаті повітря швидко розширюється і виникають звукові хвилі.

У техніці іскровий розряд використовують, наприклад, у свічках запалювання бензинових двигунів (рис. 22.3), для оброблення поверхні особливо міцних металів.

Прикладом грандіозного іскрового розряду в природі є блискавка.

У результаті наукових досліджень було встановлено, що під час грози відбувається перерозподіл зарядів у грозовій хмарі, у результаті різні частини хмари заряджаються зарядами протилежних знаків. Напруга між двома хмарами, зверненими одна до одної різнойменно зарядженими частинами, та напруга між хмарию і Землею сягають кількох сотень мільйонів вольтів. Від ударної йонізації та йонізації випромінюванням, яке супроводжує розряд, в електричному полі між хмарами з'являються лавини вільних йонів та електронів, тобто виникає короткочасний самостійний газовий розряд — блискавка. Сила струму в каналі блискавки сягає сотень тисяч амперів.

Електричні властивості блискавки першими почали вивчати незалежно один від

одного російський учений *М. В. Ломоносов* (рис. 22.4) і американський дослідник *Б. Франклін* (рис. 22.5).

2 Бережемося від удару блискавки

Підраховано, що в атмосфері земної кулі щосекунди проскакує близько 100 блискавок, а кожна двадцята з них ударає в землю, завдаючи чималої шкоди. Удар блискавки може викликати лісові пожежі, вивести з ладу лінії електропередач і навіть призвести до загибелі людей.

Щоб не стати жертвою удару блискавки, слід пам'ятати, що блискавка частіше вдаряє у відносно високі предмети, тому слід дотримуватися таких правил.

- Опинившись під час грози у полі, не можна бігти ним, — навпаки, потрібно лягти, щоб не підноситися над місцевістю.
- Під час грози у лісі не можна ховатися під високими деревами, а в полі — під поодиноким деревом, копицею сіна тощо, навіть якщо вони здаються дуже надійними прихистками.
- Під час грози не можна купатись у відкритих водоймах, а перебуваючи високо в горах, краще ховатися в печері або під глибоким уступом.
- Під час грози не можна запускати повітряного змія: мокра мотузка стає провідником електрики й блискавка може вдарити в змія. При цьому заряди пройдуть через руку й тіло людини в землю. До речі, саме так під час експерименту загинув друг і колега *М. В. Ломоносова* російський учений *Г. Ріхман* (рис. 22.6).

3 Знайомимося з коронним газовим розрядом

Перед грозою або під час грози біля гострих виступів предметів іноді можна спостерігати слабе фіолетове світіння у вигляді корони, що охоплює вістря. Дослідження показують, що причиною цього явища є самостійний газовий розряд. Описаний вид газового розряду називають **коронним** (рис. 22.7). З'ясуємо, чому і як він виникає.

На поверхні Землі під дією електричного поля грозової хмари накопичуються (індукуються) заряди, за знаком протилежні заряду хмари. Особливо щільно такі заряди розташовані на гострих частинах предметів (див. рис. 22.7, 22.8). У результаті електричне поле біля вістря виявляється настільки сильним, що



Рис. 22.4. Михайло Васильович Ломоносов (1711–1765) — видатний російський учений; один із засновників фізичної хімії; поет, художник, історик



Рис. 22.5. Бенджамін Франклін (1706–1790) — американський учений, видатний державний діяч. Один із перших дослідників атмосферної електрики, запропонував блискавковідвід



Рис. 22.6. Трагічна загибель Георга Вільгельма Ріхмана 6 серпня 1753 р. (гравюра)



Рис. 22.7. «Вогні святого Ельма» — коронний розряд біля гострих кінців корабельних щогл — багато століть викликали жах мореплавців, які не могли пояснити їхню справжню природу

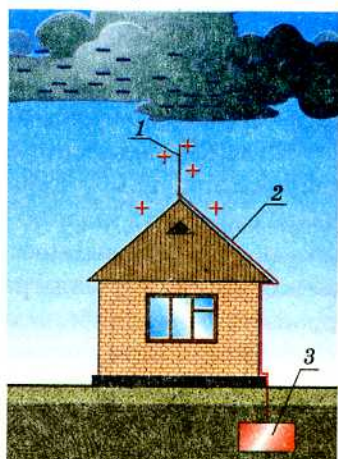


Рис. 22.8. Блискавковідвід (гromовідвід): 1 — загострений металевий стрижень; 2 — провідник — товстий з'єднувальний провід; 3 — металевий предмет, закопаний глибоко у землю

заряд стікає із загостреного предмета, йонізуючи довколишнє повітря. Оскільки поле є досить сильним тільки навколо вістря, то коронні розряди спостерігаються лише біля гострих частин предметів.

На виникненні коронного розряду ґрунтується дія *блискавковідводу*. Блискавковідвід являє собою загострений металевий стрижень, з'єднаний товстим провідником із металевим предметом (див. [рис. 22.8](#)). Стрижень установлюють вище за найвищу точку будинку, який захищають, а металевий предмет закопують глибоко в землю (на рівні ґрунтових вод). Під час грози на кінці блискавковідводу виникає коронний розряд. У результаті заряд не накопичується на будинку, а стікає з вістря блискавковідводу.

4

Спостерігаємо дуговий газовий розряд

У 1802 р. російський фізик *Василь Володимирович Петров* (1761–1834) провів такий дослід. Він приєднав два вугільні електроди до полюсів великої електричної батареї, з'єднав електроди один з одним, а потім трохи розсунув. Між кінчиками електродів учений спостерігав яскраве дугоподібне полум'я, а самі кінчики розжарювалися, випромінюючи сліпуче біле світло. Так був отриманий ще один вид самостійного газового розряду — *дуговий газовий розряд (електрична дуга)* ([рис. 22.9](#)). З'ясуємо причину виникнення цього явища.

Коли електроди з'єднані, електричне коло є замкненим і по ньому йде досить сильний електричний струм. У місці з'єднання опір кола найбільший, отже, саме тут, відповідно до закону Джоуля—

Ленца, виділяється найбільша кількість теплоти. Кінці електродів розжарюються до $3000\text{--}4000^\circ\text{C}$, і з поверхні катода починають «випаровуватись» електрони.

Тому, навіть якщо електроди розвести, в проміжку між ними буде достатня кількість вільних заряджених частинок (вільні електрони, що «випарувалися» з катода, а також вільні електрони та йони, що з'явилися внаслідок йонізації газу через високу температуру). У результаті через проміжок між електродами проходить струм — виникає самостійний газовий розряд. Надалі висока температура катода й анода підтримується бомбардуванням електродів позитивними і негативними йонами та електронами, прискореними електричним полем.

Висока температура йонізованого газу у випадку дугового розряду, а також випромінювання світла, що супроводжує такий розряд, забезпечили широке застосування електричної дуги в науці, техніці, промисловості. Електрична дуга «працює» як потужне джерело світла в прожекторах. У металургії широко застосовують електропечі, в яких використовують дуговий розряд; жаром електричної дуги зварюють метали тощо (рис. 22.10).

5 З'ясовуємо умови виникнення тліючого газового розряду

За низького тиску, що становить десятки й соті частки міліметра ртутного стовпа, можна спостерігати світіння розрідженого газу — **тліючий розряд**. За такого низького тиску відстань між молекулами достатня для того, щоб навіть у слабкому електричному полі електрон устиг набути досить великої швидкості, а отже, набути енергії, достатньої для ударної йонізації.

Тліючий розряд використовують у рекламних трубках, лампах денного світла (люмінесцентних трубках), у квантових джерелах світла — газових лазерах.

Останнім часом поширені телевізори з плазмовими екранами (екранами, функціонування яких ґрунтується на електричному розряді в газах). Пікселі на плазмовій панелі працюють подібно до люмінесцентних трубок.

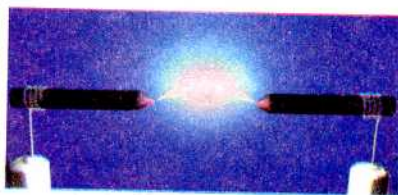


Рис. 22.9. Дуговий газовий розряд

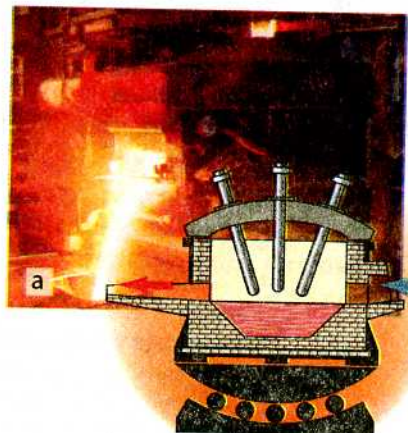


Рис. 22.10. Застосування дугового газового розряду для плавлення (а) та зварювання (б) металів

! Підбиваємо підсумки

Залежно від тиску й температури газу, способів його йонізації, напруги та характеру світіння, що супроводжує газовий розряд, розрізняють чотири основні типи самостійних газових розрядів.

За атмосферного тиску й великої напруги між електродами виникає іскровий газовий розряд, який являє собою яскраві зигзагоподібні смужки, що розгалужуються. Прикладом гігантського іскрового розряду є блискавка. Удар блискавки може спричинити смерть, тому під час грози необхідно суворо дотримуватися правил безпеки.

Самостійний газовий розряд, що утворюється в сильному електричному полі біля гострих виступів предметів, називають коронним газовим розрядом.

За високої температури між електродами, розведеними на невелику відстань, виникає газовий розряд, що супроводжується дуже яскравим світінням у формі дуги, — дуговий газовий розряд.

За низького тиску (десяті й соті частки міліметра ртутного стовпа) можна спостерігати світіння розрідженого газу внаслідок тліючого розряду.

? Контрольні запитання

1. Перелічіть основні види самостійних газових розрядів.
2. Наведіть приклади іскрового газового розряду. За яких умов він виникає?
3. Що таке блискавка? Коли й чому вона виникає?
4. Назвіть основні правила безпеки, яких потрібно дотримуватися під час грози.
5. Що являє собою коронний розряд?
6. Які особливості дугового розряду забезпечили його широке застосування?
7. Де застосовують електричну дугу?
8. За яких умов виникає тліючий розряд? Де його використовують?

**ФІЗИКА ТА ТЕХНІКА В УКРАЇНІ****Інститут електрозварювання
ім. Є. О. Патона НАН України (Київ)**

Практично кожного дня ми стикаємося з явищем дугового розряду або його наслідками. Це і маленькі «сонця», які палають у руках робітників на будмайданчиках, і звичайні петлі, приварені до дверей у вашій оселі. Саме завдяки зварюванню фізичне явище «дуговий розряд»

набуло такого поширення. Безперечний світовий авторитет України в цій галузі забезпечили роботи вчених Інституту електрозварювання ім. Є. О. Патона.

У багатьох місцях пострадянських країн розташовані монументи з танком Т-34 — кращим танком Другої світової війни. Таке визнання танк отримав багато в чому завдяки новітній на той час технології зварювання броні, яку розробив засновник та перший директор інституту академік *Євген Оскарович Патон*.

На фото — відомий суцільнозварний міст Патона у Києві. Цей міст Американське зварювальне товариство визнало видатною зварною конструкцією XX ст.

Президент НАНУ академік *Борис Євгенович Патон*, який зараз очолює інститут, гідно продовжив справу свого батька. Під його керівництвом розроблені не тільки «звичайні» засоби зварювання для промисловості — новітні технології застосовуються в космосі й навіть для зварювання живих тканин.

§ 23. ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ У НАПІВПРОВІДНИКАХ

?! Коли ви дивитеся телевізор, працюєте з мікрокалькулятором або комп'ютером, розмовляєте по мобільному телефону, то навряд чи замислюєтесь, як улаштовані ці пристрої. Усі ці тепер звичні пристрої не були б створені, якби вчені не дослідили, а техніки не навчилися використовувати напівпровідники (рис. 23.1). З цього параграфу ви дізнаєтеся про особливості провідності напівпровідників.



Рис. 23.1. Дія багатьох сучасних електричних пристроїв ґрунтується на використанні напівпровідників

1 Згадуємо, що таке напівпровідники

Напівпровідники, як це й виходить з їхньої назви, за своєю провідністю посідають проміжне місце між провідниками і діелектриками. Якщо значення питомого електричного опору провідників становить приблизно 10^{-8} Ом·м, а діелектриків — від 10^{12} до 10^{20} Ом·м, то напівпровідників — від 10^{-4} до 10^7 Ом·м. З точки зору мікроструктури речовини це означає, що концентрація вільних заряджених частинок у напівпровідниках набагато менша, ніж у провідниках, і набагато більша, ніж у діелектриках. Наприклад, дуже поширений у техніці напівпровідник германій при кімнатній температурі має приблизно 10^{20} вільних заряджених частинок у 1 м^3 речовини. Здавалося б, велика кількість? Але це в 10 млрд разів менше, ніж у металах.

У процесі вивчення фізичних властивостей напівпровідників, зокрема провідності, виявилось, що в напівпровідників залежність провідності від зовнішніх чинників значно відрізняється від тієї, що спостерігається в металах.

По-перше, якщо опір металів із підвищенням температури збільшується, то опір напівпровідників, навпаки, зменшується. По-друге, опір напівпровідників падає зі збільшенням освітленості, тоді як опір металів від освітленості практично не залежить. По-третє, якщо за наявності домішок метали гірше проводять струм, то введення домішок у напівпровідники, навпаки, різко зменшує опір останніх. Існують і інші, не менш важливі й цікаві відмінності, але про них ви дізнаєтеся пізніше.

2 Знайомимось з особливостями внутрішньої будови напівпровідників

З'ясуємо, які частинки є носіями заряду в напівпровідниках, за яких умов концентрація цих частинок збільшується і звідки вони з'являються. Для цього розглянемо будову чистих (без домішок) напівпровідників на прикладі силіцію.

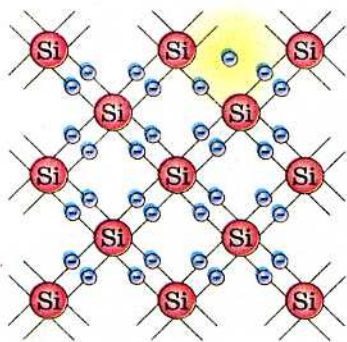


Рис. 23.2. Схематичне зображення ковалентного зв'язку силіцію

У Періодичній системі елементів Д. І. Менделєєва бачимо, що Силіцій — це хімічний елемент, який має порядковий номер 14 і розташований у IV групі. Як і всі елементи цієї групи, Силіцій має чотири валентні електрони. Саме ці валентні електрони відповідають за зв'язок між сусідніми атомами. У твердому стані для силіцію характерна кристалічна ґратка, в якій кожний атом має чотирьох найближчих «сусідів».

Атом Силіцію ніби «позичає» своїм сусідам по одному валентному електрону. Сусіди, у свою чергу, «позичають» йому свої валентні електрони «для спільного користування». У результаті між кожними двома атомами Силіцію завжди є електронна пара, що на даний момент спільна для обох атомів. Такий зв'язок, як вам відомо з курсу хімії, називають *ковалентним* (рис. 23.2).

3 Пояснюємо механізм власної провідності напівпровідників

У напівпровідниковому кристалі серед валентних електронів обов'язково є електрони, кінетична енергія яких настільки велика, що вони можуть залишити зв'язок і стати вільними.

Якщо напівпровідниковий кристал помістити в електричне поле, то вільні електрони почнуть рухатися до позитивного полюса джерела струму і в напівпровіднику виникне електричний струм.

Зі збільшенням температури середня кінетична енергія електронів збільшується, у результаті дедалі більше електронів стають вільними. Тому, незважаючи на те що йони внаслідок коливального руху ще більше заважають рухові вільних електронів, опір напівпровідника зменшується.

Провідність напівпровідників, зумовлену наявністю в них вільних електронів, називають *електронною провідністю*, а вільні електрони — *електронами провідності*.

Коли електрон залишає ковалентний зв'язок одного з атомів, точніше — однієї пари атомів, то цей зв'язок у парі лишається незайнятим — вільним. Цей вільний зв'язок прийнято називати *діркою*. Природно, що *дірці приписують позитивний заряд*.

На вакантне місце може «перестрибнути» електрон від сусіднього зв'язку, і там, у свою чергу, утвориться дірка. У результаті послідовності таких «стрибків» дірка ніби переміщується по кристалу. (Насправді ж, як ви бачите на рис. 23.3, переміщуються — у зворотному напрямку! — зв'язані валентні електрони.)

Провідність напівпровідників, зумовлену «переміщенням» дірок, називають *дірковою провідністю*.

У чистому напівпровіднику електричний струм створює однакова кількість вільних електронів і дірок. Таку провідність називають *власною провідністю напівпровідників*.

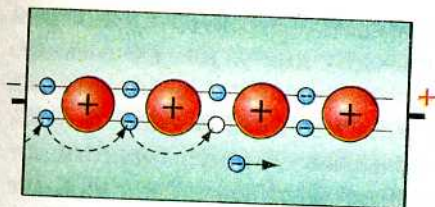


Рис. 23.3. Механізм діркової провідності в напівпровідниках. Червоні кружечки — йони кристалічної ґратки; сині кружечки — зв'язані електрони; білий кружечок — вакантне місце (дірка). Під дією електричного поля зв'язаний електрон переміщується в напрямку до позитивного полюса джерела струму — на вакантне місце біля сусіднього атома. Це виглядає так, начебто дірка переміщується в напрямку до негативного полюса

4 Вивчаємо домішкову провідність напівпровідників

До цього було розглянуто електричний струм у чистих напівпровідниках. У таких напівпровідниках кількість вільних електронів і дірок є однаковою. Проте якщо в чистий напівпровідник додати невелику кількість домішки, то картина дещо зміниться.

Наприклад, якщо в чистий розплавлений силіцій додати трохи арсену, то після кристалізації утвориться звичайна кристалічна ґратка силіцію, однак у деяких її вузлах замість атомів Силіцію перебуватимуть атоми Арсену (рис. 23.4). Арсен, як відомо, — п'ятивалентний елемент. Чотири валентні електрони атома Арсену утворюють парні електронні зв'язки із сусідніми атомами Силіцію. П'ятому ж валентному електрону зв'язку не вистачить, при цьому він буде так слабо пов'язаний з атомом Арсену, що легко стане вільним. У результаті *кожний атом домішки дасть один вільний електрон*, а вакантне місце (дірка) при цьому не утвориться. Домішки, атоми яких легко віддають електрони, називаються *донорними домішками* (від латин. *donare* — дарувати, жертвувати).

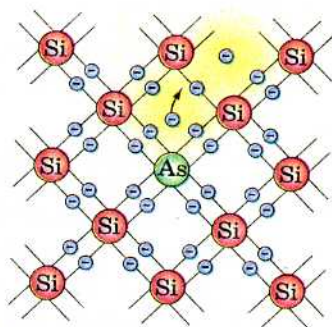


Рис. 23.4. Схема будови кристала силіцію із введеними атомами Арсену. П'ятий валентний електрон Арсену не бере участі в ковалентному зв'язку і стає вільним

Нагадаємо, що крім вільних електронів, які надаються домішками, у напівпровідниках є електрони й дірки, наявність яких спричинена власною провідністю напівпровідників. Отже, у напівпровідниках з донорними домішками кількість вільних електронів значно більша, ніж кількість дірок. Таким чином, основними носіями зарядів у таких напівпровідниках є негативні частинки. Тому напівпровідники з донорними домішками називають напівпровідниками *n-типу* (від латин. *negativus* — негативний).

Якщо в силіцій додати невелику кількість тривалентного елементу, наприклад Індію, то характер провідності напівпровідника зміниться. Оскільки атом Індію має три валентні електрони, то він може встановити ковалентний зв'язок тільки з трьома сусідніми атомами Силіцію (рис. 23.5). Для встановлення зв'язку з четвертим атомом електрона не вистачить, і цей відсутній електрон Індій «запозичить»

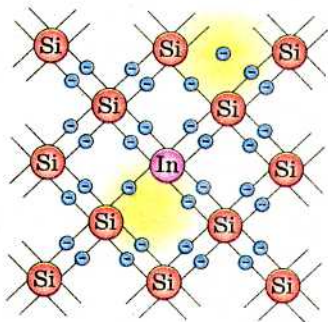


Рис. 23.5. Схема будови кристала силіцію із введеними атомами Індію. Кожний атом Індію створює одну дірку

у сусідніх атомів Силіцію. У результаті кожний атом Індію створює одну дірку. Домішки такого роду називаються *акцепторними домішками* (від латин. *acceptor* — той, що приймає).

У напівпровідниках з акцепторними домішками основними носіями заряду є дірки. Напівпровідники з переважно дірковою провідністю називають напівпровідниками *p-типу* (від латин. *positivus* — позитивний).

Оскільки при наявності домішок кількість вільних заряджених частинок збільшується (кожний атом домішки дає вільний електрон або дірку), то провідність напівпровідників з домішками набагато краща, ніж провідність чистих напівпровідників.

5 Застосовуємо напівпровідники

Широке застосування напівпровідників зумовлене кількома чинниками.

По-перше, властивостями *p-n-переходу* — місця контакту двох напівпровідників — *p*- і *n*-типу. Саме тут спостерігається ряд цікавих явищ. Наприклад, через такий контакт електричний струм добре проходить в одному напрямку і практично не проходить у протилежному. Це явище отримало назву *однобічної провідності*.

Властивості *p-n-переходу* використовують для виготовлення напівпровідникових діодів і транзисторів, без яких не обходиться жодний сучасний електронний пристрій (рис. 23.6), а також у сонячних батареях — приладах для безпосереднього перетворення енергії випромінювання Сонця на електричну енергію.

Слід додати, що застосування напівпровідників у техніці майже на 99 % зумовлене саме властивостями *p-n-переходу* і що докладніше з цими властивостями ви познайомитеся під час подальшого вивчення фізики.

По-друге, опір напівпровідників зменшується зі збільшенням температури, і навпаки. Цю залежність використовують у спеціальних

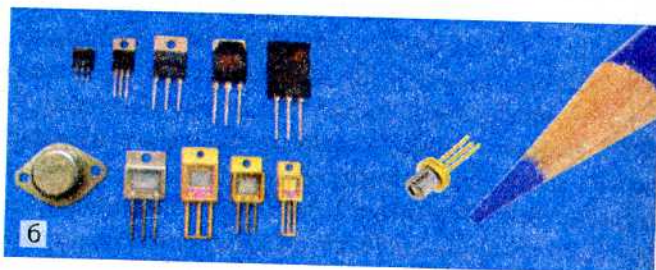
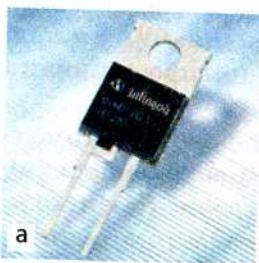


Рис. 23.6. Будь-який сучасний електронний пристрій містить мініатюрні напівпровідникові діоди (а), транзистори (б)

приладах — *терморезисторах*, або *термісторах*, які застосовують для вимірювання температури, підтримування сталої температури в автоматичних пристроях (рис. 23.7).

По-третє, напівпровідники мають властивість змінювати свій опір залежно від освітленості. Ця властивість використовується у напівпровідникових приладах, які називають *фоторезисторами* і застосовують для вимірювання освітленості, контролю якості поверхні та ін. (рис. 23.8).

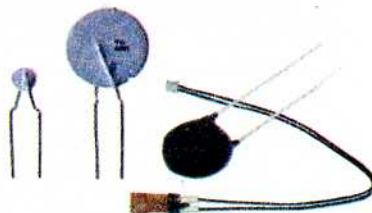


Рис. 23.7. Зовнішній вигляд деяких терморезисторів

! Підбиваємо підсумки

Провідність напівпровідників зумовлена рухом вільних електронів (електронна провідність) і рухом дірок (діркова провідність). У чистому напівпровіднику електричний струм створює однакова кількість вільних електронів і дірок. Таку провідність називають власною провідністю напівпровідників.

За наявності домішок провідність напівпровідників різко збільшується. У разі введення в напівпровідник домішки з більшою валентністю (донорної домішки) вільних електронів стає в багато разів більше, ніж дірок. Такі напівпровідники називають напівпровідниками *n*-типу.

У випадку введення в напівпровідник домішки з меншою валентністю (акцепторної домішки) дірок стає більше, ніж вільних електронів. Напівпровідники з переважно дірковою провідністю називають напівпровідниками *p*-типу.

Напівпровідники широко використовують у техніці, наприклад для виготовлення напівпровідникових діодів і транзисторів, фотоелементів, термісторів, фоторезисторів тощо.



Рис. 23.8. Деякі фоторезистори, застосовувані на практиці

? Контрольні запитання

1. Чим напівпровідники відрізняються від металів?
2. Який зв'язок називають ковалентним?
3. Як у чистих напівпровідниках з'являються вільні електрони?
4. Поясніть механізм діркової провідності.
5. У чому полягає власна провідність напівпровідників?
6. Чому опір напівпровідників дуже залежить від наявності домішок?
7. Яка домішка називається донорною?
8. Назвіть основні носії зарядів у напівпровідниках *n*-типу.
9. Чи є в напівпровідниках *n*-типу дірки?
10. Яку домішку потрібно ввести, щоб одержати напівпровідник *p*-типу?
11. Якими чинниками зумовлене широке застосування напівпровідників?
12. Де застосовують напівпровідники?

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ РОЗДІЛУ 2 «ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ»

1. Вивчаючи цей розділ, ви довідалися, що *електричний струм* — це *направлений рух частинок, які мають електричний заряд*, та переконалися, що для існування електричного струму в колі необхідне виконання *двох умов*.

УМОВИ ІСНУВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ

Наявність вільних частинок, що мають електричний заряд

Наявність електричного поля

2. Ви з'ясували, що дізнатися про наявність електричного струму можна *за його діями*, а електричне поле створюється *джерелами струму*.
- Дії електричного струму засновані на перетворенні енергії електричного поля на інші види енергії.

ДІЇ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ

Теплова

Магнітна

Хімічна

Світлова

- Усередині джерела струму здійснюється робота з розподілу електричних зарядів, відбувається перетворення різних видів енергії на енергію електричного поля.

ДЖЕРЕЛА ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ

Механічні

Хімічні

Теплові

Світлові

3. Ви вивчили фізичні величини, які застосовують для характеристики ділянки кола, і простежили зв'язок між ними.

Фізична величина	Символ для позначення	Одиниця	Формула для визначення	Прилад для вимірювання
Сила струму	I	А (ампер)	$I = \frac{q}{t}$	Амперметр
Напруга	U	В (вольт)	$U = \frac{A}{q}$	Вольтметр
Опір	R	Ом (ом)	$R = \rho \frac{l}{S}$	Омметр

ЗАКОН ОМА ДЛЯ ДІЛЯНКИ КОЛА: $I = U/R$

4. Ви навчилися складати електричні кола, познайомилися з різними видами з'єднань споживачів в електричне коло і встановили закономірності послідовного й паралельного з'єднань.

Фізична величина	Вид з'єднання провідників	
	Послідовне	Паралельне
		
Сила струму	$I = I_1 = I_2 = \dots = I_n$	$I = I_1 + I_2 + \dots + I_n$
Напруга	$U = U_1 + U_2 + \dots + U_n$	$U = U_1 = U_2 = \dots = U_n$
Опір	$R = R_1 + R_2 + \dots + R_n$	$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}$

5. Ви згадали, що зміна енергії завжди супроводжується виконанням роботи, і довідалися про формули для визначення роботи й потужності струму, а також для розрахунку кількості теплоти, що завжди виділяється під час проходження струму.

Робота струму	Потужність струму	Кількість теплоти
$A = UIt$	$P = UI$	$Q = I^2 Rt$ — закон Джоуля – Ленца

6. Ви дізналися, що всі речовини поділяються на провідники, напівпровідники й діелектрики; розглянули природу електричного струму в різних середовищах.

ЕЛЕКТРИЧНИЙ СТРУМ У РІЗНИХ СЕРЕДОВИЩАХ			
Метали	Рідини	Гази	Напівпровідники
Напрявлений рух вільних електронів	Напрявлений рух вільних йонів, які виникають унаслідок електролітичної дисоціації	Напрявлений рух вільних йонів і електронів, які виникають унаслідок йонізації	Напрявлений рух вільних електронів і дірок
$m = kq = kIt$ — закон електролізу; k — електрохімічний еквівалент речовини			

10. (2 бали) Яким є опір ніхромового дроту завдовжки 20 см і площею поперечного перерізу 2 мм^2 ?

а) 0,11 Ом; в) 22 Ом;
б) 11 Ом; г) 1100 Ом.

11. (3 бали) Три резистори приєднані до електричного кола, як показано на рис. 2. Якою є загальна сила струму в колі, якщо сила струму в першому резисторі дорівнює 1 А, у другому — 1 А, у третьому — 1,5 А?

а) 1 А; в) 2,5 А;
б) 1,5 А; г) 3,5 А.

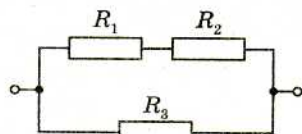


Рис. 2

12. (3 бали) Резистори опорами 3 і 6 Ом з'єднані паралельно й приєднані до джерела струму, напруга на затискачах якого становить 12 В. Якою є сила струму в колі?

13. (3 бали) Резистори опорами 3 і 6 Ом з'єднані послідовно. Якою є напруга на обох резисторах, якщо напруга на першому резисторі дорівнює 1,2 В?

14. (4 бали) Струм якої сили проходить через реостат, якщо його обмотка виготовлена з нікелінового дроту завдовжки 50 м і площею поперечного перерізу $0,5 \text{ мм}^2$? Напруга на затискачах реостата дорівнює 168 В.

15. (4 бали) На рис. 3 зображено ділянку електричного кола. Визначте показання вольтметра, а також загальну напругу на всій ділянці кола, якщо амперметр показує силу струму 1,5 А. Опір резистора R_1 дорівнює 3 Ом, резистора R_2 — 6 Ом, а резистора R_3 — 2 Ом. Опором з'єднувальних проводів знехтувати.

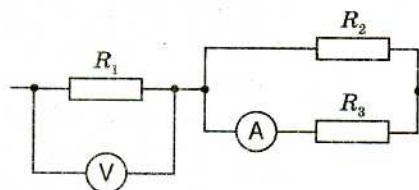


Рис. 3

16. (4 бали) Як зміняться показання приладів (рис. 4), якщо повзунок реостата перемістити ліворуч?

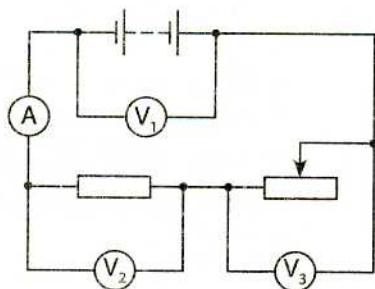


Рис. 4

Звірте ваші відповіді з наведеними в кінці підручника. Позначте завдання, які ви виконали правильно, і полічіть суму балів. Потім цю суму розділіть на три. Одержане число відповідатиме рівню ваших навчальних досягнень.

Частина II. Робота і потужність струму. Закон Джоуля – Ленца.

Електричний струм у різних середовищах

Завдання 1–10 містять тільки одну правильну відповідь.



Рис. 1

- (1 бал) Фізичний прилад, який зображено на рис. 1, слугує для вимірювання:
 - роботи електричного струму;
 - сили струму;
 - опору провідника;
 - напруги електричного струму.
- (1 бал) У газах вільні заряджені частинки можуть з'явитися в результаті:
 - електролітичної дисоціації;
 - хаотичного руху молекул газу;
 - дії зовнішнього йонізатора;
 - рекомбінації молекул газу.
- (1 бал) В електрозварюванні застосовується:
 - тліючий розряд;
 - іскровий розряд;
 - коронний розряд;
 - дуговий розряд.
- (1 бал) Електричний струм у напівпровідниках — це напрямлений рух:
 - вільних електронів;
 - дірок і вільних електронів;
 - позитивних і негативних йонів;
 - йонів і вільних електронів.
- (2 бали) На рис. 2 схематично зображено три дроти, що виготовлені з різних матеріалів і приєднані до джерела струму. Довжини дротів, а також площі їхніх поперечних перерізів однакові. У якому дроті виділяється найбільша кількість теплоти?



Рис. 2

- у сталевому;
 - мідному;
 - ніхромовому;
 - у дротах виділяється однакова кількість теплоти.
- (2 бали) Яку роботу виконає струм силою 0,3 А під час проходження в провіднику протягом 10 с? Напруга на кінцях провідника становить 4 В.
 - 0,12 Дж;
 - 0,74 Дж;
 - 3,6 Дж;
 - 12 Дж.
 - (2 бали) Сила струму в нагрівальному елементі електричної праски становить 5 А, опір елемента — 40 Ом. Яка кількість теплоти виділяється в нагрівальному елементі за 5 хв?
 - 2 Дж;
 - 200 Дж;
 - 300 кДж;
 - 5 кДж.

8. (2 бали) Якою є сила струму в спіралі електричної лампи (рис. 3) під час її світіння?
 а) близько 0,45 А; б) 2,2 А; в) 22 кА; г) визначити неможливо.

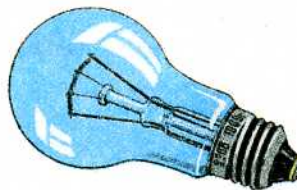


Рис. 3

9. (2 бали) Під час сріблення виробу за 1 год на катоді виділилося 2 г срібла. Якою приблизно була сила струму в процесі сріблення?
 а) 0,3 А; б) 0,4 А; в) 0,5 А; г) 0,6 А.

10. (3 бали) Три резистори з'єднані в електричне коло, як показано на рис. 4. Скільки теплоти виділиться в колі за 2 с, якщо сила струму в першому резисторі дорівнює 1 А, а опір кожного резистора становить 2 Ом?

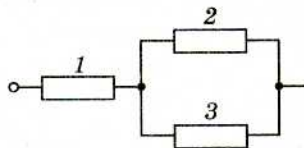


Рис. 4

- а) 1 Дж; б) 2 Дж; в) 6 Дж; г) 12 Дж.

11. (3 бали) Резистори, що мають опори 3 і 6 Ом, з'єднані паралельно й приєднані до джерела струму, напруга на затискачах якого дорівнює 12 В. Визначте потужність електричного струму в кожному резисторі й на всій ділянці.

12. (4 бали) Транспортёр піднімає вантаж масою 300 кг на висоту 16 м за 2 хв. Визначте силу струму в електродвигуні транспортера, якщо напруга мережі дорівнює 380 В, а ККД транспортера становить 60 %.

13. (4 бали) В електричний чайник, опір спіралі якого становить 110 Ом, налили 2 л води. Чайник увімкнули в електричну мережу напругою 220 В і через 0,5 хв вимкнули. На скільки градусів збільшилася температура води в чайнику, якщо ККД чайника становить 70 %? Питома теплоємність води $4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$.

14. (4 бали) Три резистори з'єднані так, як показано на рис. 5, і приєднані до батареї гальванічних елементів. Напруга на затискачах батареї становить 4 В, опір кожного резистора дорівнює 12 Ом. Визначте потужність, споживану кожним резистором.

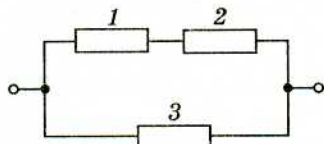


Рис. 5

15. (4 бали) Нікелювання металевої пластини здійснювалося при силі струму 0,15 А й тривало 2 год. Визначте товщину шару нікелю, що вкрив пластину, якщо площа поверхні пластини становить 96 см^2 . Густина нікелю $8500 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$.

Зверте ваші відповіді з наведеними в кінці підручника. Позначте завдання, які ви виконали правильно, і полічіть суму балів. Потім цю суму розділіть на три. Одержане число відповідатиме рівню ваших навчальних досягнень.

ВІД ЛЕЙДЕНСЬКИХ БАНОК ДО СУПЕРКОНДЕНСАТОРІВ

На XVIII–XIX ст. припадає низка винаходів, які, певним чином модернізовані, дійшли до нашого часу. Так, вивчаючи вплив електричного поля на різні об'єкти, англійський учений *Майкл Фарадей* створив клітку у вигляді куба з ребром 4 м, вкрив її стінки матеріалом, який є добрим провідником, та ізолював від землі. На думку вченого, ця споруда повинна була надійно захищати дослідника від впливу електричного поля. Для перевірки ефективності пристрою вчений узяв надчутливий електроскоп і ввійшов до клітки. Ззовні асистенти створювали потужні електричні розряди, але електроскоп не зареєстрував наявності електричного заряду в клітці. Цей пристрій одержав назву *клітка Фарадея* і зараз використовується для захисту від електромагнітних впливів. Кліткою Фарадея «навпаки» користується більшість із нас, розігріваючи їжу в мікрохвильовій печі. Металевий корпус печі та сітка, нанесена на скло дверець, «не випускають» електромагнітні хвилі назовні.

Електричний заряд й пов'язана з ним енергія мають один дуже вагомий недолік — їх важко накопичувати. Наприклад, вага автомобільного акумулятора становить понад десять кілограмів, і цей важкий акумулятор працює на повну потужність усього кілька секунд — коли потрібно завести двигун. Інші потреби електричної системи автомобіля задовольняє генератор (про цей прилад ви дізнаєтесь у розділі 3 підручника), а для живлення ламп на парковці досить і маленької батарейки. Навіщо ж тягати з собою зайві кілограми? Таке ж запитання поставили собі й інженери. На сьогодні вони вже винайшли спосіб суттєво зменшити розміри акумулятора, застосувавши сучасний аналог *лейденської банки* (рис. 1) — *суперконденсатор* (рис. 2), енергія якого використовується тільки під час запуску двигуна. Порівняйте розміри й вагу суперконденсатора та автомобільного акумулятора. Погодьтеся, різниця вражаюча.



Рис. 1



Рис. 2

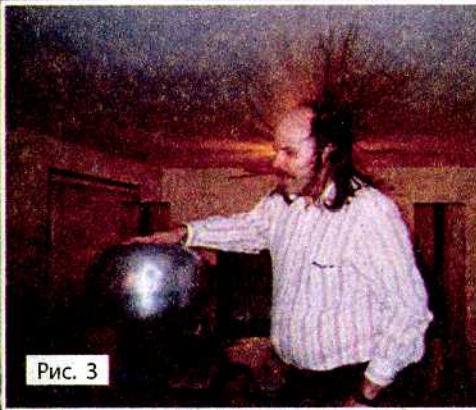


Рис. 3

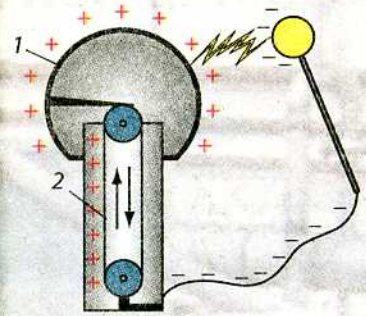


Рис. 4

Лейденська банка є найбільш давнім накопичувачем електричної енергії. Її було створено у середині XVIII ст. у місті Лейден (Голандія). Лейденська банка являє собою скляну банку, обклеєну зсередини й ззовні металевою фольгою. З'єднання з внутрішньою оболонкою здійснюється за допомогою металевого стрижня, укріпленого всередині банки. Щоб зарядити лейденську банку, її слід тримати в руці (таким чином зовнішня оболонка банки з'єднується із землею) і торкнутися стрижня зарядженим тілом. Якщо здійснити цю операцію кілька разів, можна накопичити значний заряд (рис. 3).

Принцип дії лейденської банки покладений в основу конструкції, яка за ім'ям винахідника одержала назву *генератор Ван де Граафа* (рис. 4). Цей прилад працює так. Усередину ізолюваної кулі (1), виготовленої з провідника, уведено стрічку (2) транспортера, яка перебуває в постійному русі. Рухаючись, стрічка заряджається і передає заряд на кулю. Генератор Ван де Граафа є «серцем» деяких сучасних прискорювачів, що використовуються для вивчення мікрміру (рис. 5) (детальніше про них ітиметься в розділі 4 підручника).

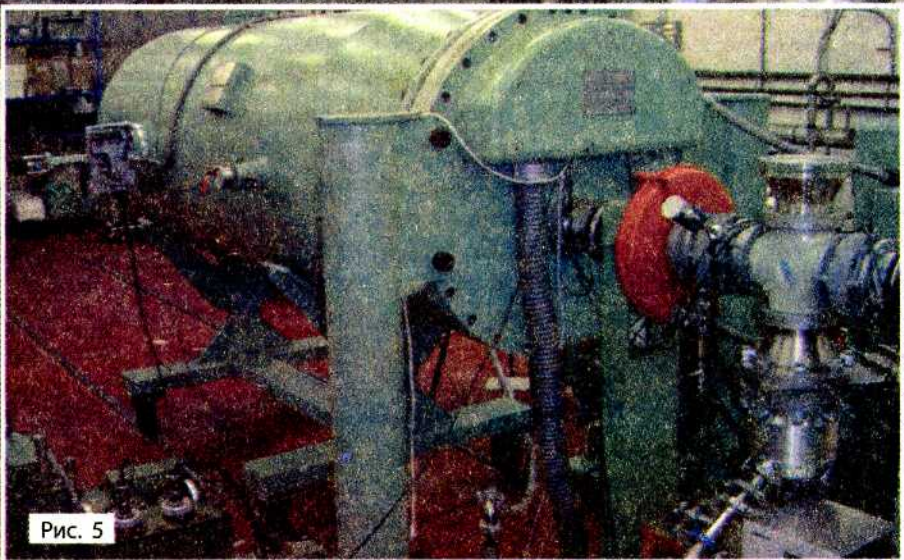


Рис. 5

РОЗДІЛ 3. МАГНІТНЕ ПОЛЕ

§ 24. ПОСТІЙНІ МАГНІТИ. МАГНІТНЕ ПОЛЕ. ЛІНІЇ МАГНІТНОГО ПОЛЯ

?!

Ще у глибоку давнину була помічена здатність деяких залізних руд притягувати до себе залізні тіла. Давні греки називали шматки такої руди магнітними каменями, імовірно, за назвою міста Магnezія, з якої привозили ту руду. Зараз їх називають *природними магнітами*. Існують також і *штучні магніти*. З цього параграфа ви дізнаєтеся про деякі властивості магнітів.

1

Вивчаємо властивості постійних магнітів

Тіла, які тривалий час зберігають магнітні властивості, називають **постійними магнітами**.

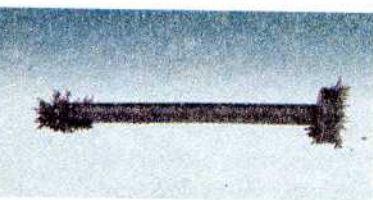


Рис. 24.1. Залізні ошурки найсильніше притягаються до полюсів магніту



Рис. 24.2. Стрілка компаса — постійний магніт, один полюс якого завжди вказує на північ, а другий — на південь

Першим ретельно дослідив властивості постійних магнітів англійський фізик В. Гільберт (див. рис. 3.1). Наведемо основні з них.

Основні властивості постійних магнітів

1. *Магнітна дія постійного магніту є різною на різних ділянках його поверхні. Щоб підтвердити це, зануримо намагнічений сталевий гвинт (постійний магніт) у залізні ошурки. До кінців гвинта притягнеться багато ошурок, а до середини — майже нічого. Ті ділянки поверхні магніту, де магнітна дія виявляється найсильніше, називають **полюсами магніту** (рис. 24.1).*

2. *Магніт має північний та південний полюси. Якщо магніт, наприклад, у вигляді штаби установити на вістря, то він розташується певним чином: один його полюс буде вказувати на північ Землі, а другий — на південь. Звідси й назви полюсів магніту (рис. 24.2). Північний полюс позначають літерою N, південний — літерою S (від голл. *noord* — північ, *zuiden* (нім. *Süden*) — південь).*

3. *Однотипні полюси магнітів відштовхуються, а різнотипні — притягуються. Якщо до магніту наблизити компас, то північний полюс стрілки компаса притягнеться до південного полюса магніту, і навпаки.*

4. Неможливо одержати магніт тільки з одним полюсом. Наприклад, якщо намагнічену за допомогою постійного магніту спицю перекусити кусачками на декілька частин, то кожна з цих частин матиме два полюси: північний і південний (рис. 24.3).

5. Постійні магніти виготовляють із магнітних матеріалів. Постійні магніти чинять помітну магнітну дію лише на тіла, які теж виготовлені з магнітних матеріалів. Зазвичай магнітні матеріали містять Ферум, Нікол, Кобальт і деякі рідкоземельні метали: Гадоліній, Тербій та ін. Наприклад, магніти для кріплення плакатів роблять зі сталі, до складу якої входить Ферум. Вони добре тримаються на сталевій класній дошці й зовсім не тримаються на дерев'яній або пластиковій.

6. У разі нагрівання постійного магніту до певної температури його магнітні властивості зникають. Температуру, при досягненні якої постійні магніти втрачають магнітні властивості, називають *точкою Кюрі*. Наприклад, для заліза точка Кюрі дорівнює 769°C .

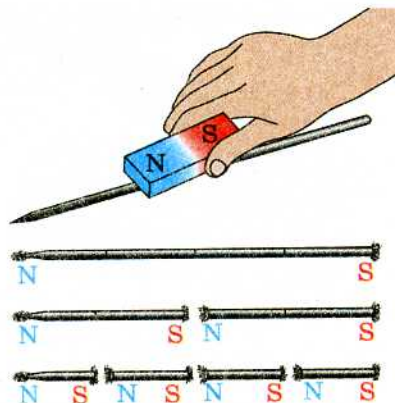


Рис. 24.3. І намагнічена спиця, й окремі її частини являють собою магніти із двома різноіменними полюсами

2

Знайомимося з магнітним полем

Під час вивчення електричних явищ йшлося про те, що простір навколо зарядженого тіла змінюється — у ньому утворюється електричне поле, яке діє на інші заряджені тіла з деякою електричною силою. У результаті однойменно заряджені тіла відштовхуються, а різноіменно заряджені — притягуються.

Навколо намагніченого тіла теж відбувається певна зміна простору, а саме утворюється *магнітне поле*. Це магнітне поле діє на інше намагнічене тіло з деякою магнітною силою, унаслідок чого ці тіла відштовхуються однойменними полюсами та притягуються різноіменними.

Вивчаючи електричні явища, ми також звертали увагу на те, що незаряджене тіло завжди притягується до зарядженого. Під впливом електричного поля зарядженого тіла всередині незарядженого тіла відбувається перерозподіл електричних зарядів, тому ближче до зарядженого тіла завжди опиняються заряди протилежного йому знака (див. § 3, п. 5).

Під дією магнітного поля всередині тіл також відбуваються зміни. Так, цвях, уміщений у магнітне поле постійного магніту, намагнічується і сам стає магнітом (рис. 24.4). Ближче до північного полюса постійного магніту утворюється південний полюс цвяха, тому цвях притягується до магніту.

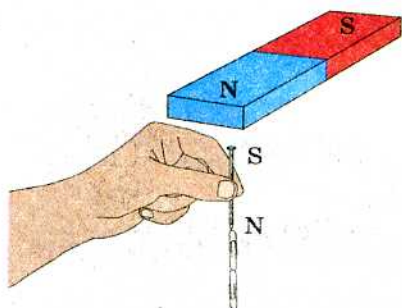


Рис. 24.4. Цвях, який поміщено в магнітне поле постійного магніту, починає проявляти магнітні властивості (намагнічується)

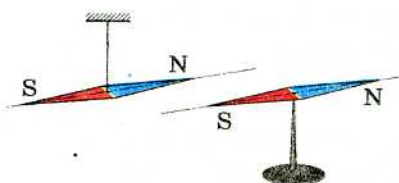


Рис. 24.5. Полюси магнітної стрілки розташовані на її кінцях. Уявна лінія, що проходить через полюси,— вісь магнітної стрілки

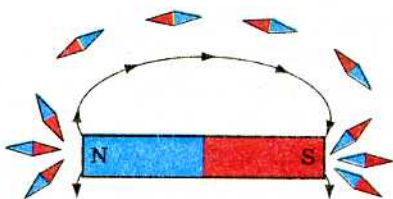


Рис. 24.6. У магнітному полі постійного магніту магнітні стрілки орієнтуються вздовж магнітних ліній

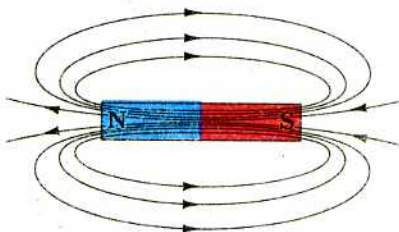


Рис. 24.7. Лінії магнітного поля являють собою замкнені криві

3 Вводимо поняття магнітних ліній

Існування магнітного поля в просторі можна виявити кількома способами. Здавна для вивчення магнітних полів використовують **магнітні стрілки** — постійні магніти, що зазвичай мають форму витягнутого ромба (рис. 24.5).

Розташуємо навколо штабового магніту велику кількість маленьких магнітних стрілок. Стрілки встановляться (зорієнтуються) впорядковано — їхні осі ніби утворять лінії. Це відбувається тому, що на стрілки діє магнітне поле, створене магнітом.

Умовні лінії, уздовж яких у магнітному полі встановлюються осі маленьких магнітних стрілок, називають **лініями магнітного поля** або **магнітними лініями*** (рис. 24.6).

За **напрямок** ліній магнітного поля беруть напрямом, на який *указує північний полюс магнітної стрілки*.

За допомогою магнітних ліній зручно зображувати магнітні поля графічно. Домоглися креслити магнітні лінії таким чином, щоб їхня густота відбивала інтенсивність магнітного поля: чим сильніше магнітне поле, тим частіше креслять лінії.

Дівлячись на зображення ліній магнітного поля штабового магніту (рис. 24.7), можна зробити кілька висновків. По-перше, поза магнітом *лінії магнітного поля виходять із північного полюса магніту і входять у південний*; по-друге, *лінії магнітного поля замкнені*, по-третє, *магнітне поле є найсильнішим навколо полюсів магніту*.

Картину магнітних ліній можна побачити, скориставшись залізними ошурками. Візьмемо підковоподібний магніт, покладемо на нього пластинку з оргскла і через ситечко насипатимемо на пластинку ошурки. У магнітному полі кожний шматочок заліза на-

* Лінії магнітного поля називають ще *лініями магнітної індукції*. Про це йтиметься в старшій школі.

магнітяться й ніби перетворюються на маленьку магнітну стрілку. Імпровізовані «стрілки» зорієнтуються певним чином. Рисунок, створений ланцюжками ошук, відтворить картину ліній магнітного поля, або, як кажуть фізики, *спектр магнітного поля* (рис. 24.8).

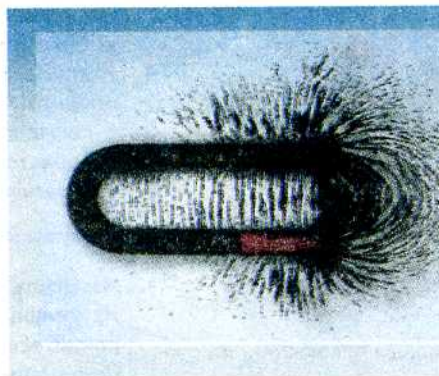


Рис. 24.8. Розташування залізних ошук навколо підковоподібного магніту

! Підбиваємо підсумки

Тіла, які тривалий час зберігають свої магнітні властивості, називають постійними магнітами.

Основні властивості магнітів:

- магнітна дія магніту найсильніше виявляється поблизу його полюсів (північний і південний полюси магніту позначають літерами N і S відповідно);
- однойменні полюси магнітів відштовхуються, а різнойменні притягуються;
- неможливо одержати магніт тільки з одним полюсом;
- магніти виготовляють із магнітних матеріалів; магніти чинять помітну магнітну дію лише на тіла, які теж виготовлені з магнітних матеріалів;
- у разі нагрівання постійного магніту до певної температури (точка Кюрі) його магнітні властивості зникають.

Навколо намагніченого тіла існує магнітне поле. Умовні лінії, уздовж яких у магнітному полі встановлюються осі маленьких магнітних стрілок, називають лініями магнітного поля або магнітними лініями. За напрямок магнітних ліній беруть напрямок, у якому вказує північний полюс магнітної стрілки. Лінії магнітного поля являють собою замкнені криві. Поза магнітом вони виходять з його північного полюса і входять у південний.

? Контрольні запитання

1. Що таке постійний магніт? 2. Що таке полюси магніту і яку назву має кожний із них? 3. Назвіть властивості постійних магнітів. 4. За допомогою яких дослідів можна виявити властивості постійних магнітів? 5. Як розташовуються в магнітному полі магнітні стрілки? 6. Наведіть означення магнітних ліній. 7. Який напрямок взято за напрямок ліній магнітного поля? 8. Як можна побачити спектр магнітного поля?

✎ Вправа № 21

1. Магнітну стрілку розташували біля штабового магніту (рис. 1). Визначте, який полюс магніту є південним, а який — північним.
2. Магніт південним полюсом підносять до підвішеної на нитці залізної кульки. Що в цьому випадку спостерігатиметься: притягування кульки чи відштовхування? Поясніть свою відповідь.



Рис. 1



Рис. 2

3. Чому залізні ошурки, притягнуті до полюсів магніту, стирчать у різні боки (див. рис. 24.1)?
4. Чому на постійному магніті можна отримати ланцюжок залізних предметів (рис. 2)?
5. Є дві однакові сталеві пластинки, одна з яких намагнічена. Як, не використовуючи інших предметів, визначити, яка саме пластинка є намагніченою?



Експериментальне завдання

1. Намагнітьте дві сталеві голки, залишивши їх на деякий час на постійному магніті. Переконайтеся, що кожна голка має два полюси і що однойменні полюси голок відштовхуються, а різнойменні — притягуються.
2. Візьміть кілька голок з нитками. Складіть нитки в один пучок і повільно піднесіть знизу до голок постійний магніт (рис. 3). Поясніть спостережувані явища.



Рис. 3

§ 25. МАГНІТНЕ ПОЛЕ ЗЕМЛІ



Для обізнаної людини XXI ст. не становить великої проблеми під час подорожі визначити, у якому напрямку рухатися. Для цього достатньо скористатися супутниковою системою GPS. Але що робити, коли відповідного пристрою немає? Звичайно ж, скористатися компасом — пристроєм, який люди знають з давніх давен (рис. 25.1). А от чому стрілка компаса одним кінцем вказує на північ, а другим — на південь і чи завжди це так, ви дізнаєтеся з цього параграфа.



Доводимо, що Земля має магнітне поле

Те, що магнітна стрілка біля поверхні Землі завжди орієнтується певним чином, доводить, що планета Земля має магнітне поле. Стрілка встановлюється вздовж магнітних ліній цього поля. Магнітне поле Землі здавна допомагало зорієнтуватись мандрівникам, морякам, військовим і не лише їм. Доведено, що риби, морські ссавці й птахи під час своїх міграцій орієнтуються за магнітним полем Землі. Так само орієнтуються, шукаючи шлях додому, і деякі тварини, наприклад кішки.



Рис. 25.1. Старовинний китайський компас

Перші експерименти з вивчення земного магнетизму провів Вільям Гільберт (див. рис. 3.1). Він виготовив із постійного магніту кулю і переконався, що вона має два полюси: північний і південний. Розташувавши на цій кулі компас, Гільберт з'ясував, що північний

полюс магнітної стрілки завжди вказує на південний полюс кулі. Цей експеримент дозволив ученому припустити, що Земля — це великий магніт і що на півночі нашої планети розташований її південний магнітний полюс. Подальші дослідження повністю підтвердили гіпотезу Гільберта.

Аналізуючи картину ліній магнітного поля Землі (рис. 25.2), можна зробити декілька висновків.

По-перше, поблизу південного географічного полюса Землі розташований північний магнітний полюс, з якого лінії магнітного поля виходять. І навпаки, біля північного географічного полюса Землі розташований південний магнітний полюс, у який лінії магнітного поля входять.

По-друге, магнітний і географічний полюси не збігаються (вони віддалені один від одного приблизно на 2100 км), тому стрілка компаса вказує напрямом на північ і на південь лише приблизно.

По-третє, лінії магнітного поля не паралельні поверхні планети. Якщо закріпити магнітну стрілку таким чином, щоб вона могла вільно обертатися як навколо горизонтальної, так і навколо вертикальної осей, то вона встановиться під певним кутом до поверхні Землі (рис. 25.3). При наближенні до магнітного полюса стрілка буде все більше схилятися до вертикалі й на магнітному полюсі встановиться вертикально.

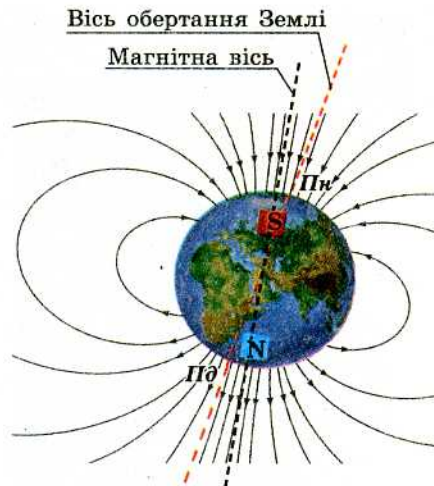


Рис. 25.2. Схема розташування ліній магнітного поля Землі

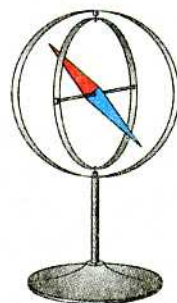


Рис. 25.3. Магнітна стрілка, що може вільно обертатися навколо вертикальної і горизонтальної осей, установлюється під кутом до поверхні Землі

2 Дізнаємося про магнітні бурі та магнітні аномалії

Ретельні дослідження показали, що магнітне поле Землі у будь-якій місцевості не є постійним. Так, установлено, що магнітна стрілка періодично, щодоби, дещо відхиляється. Спостерігаються також невеликі щорічні зміни магнітного поля Землі. Однак іноді трапляються й дуже різкі його зміни. Сильні збурення магнітного поля Землі, що охоплюють всю планету і тривають від одного до кількох днів, називають *магнітними бурями*. Помічено, що магнітні бурі спостерігаються одночасно зі зростанням сонячної активності (рис. 25.4).

Магнітні бурі практично не відчуваються здоровими людьми, а от у тих, хто страждає на серцево-судинні захворювання та захворювання нервової системи, вони викликають погіршення самопочуття.

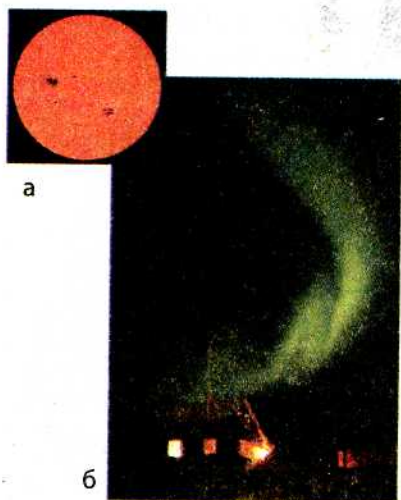


Рис. 25.4. У період підвищення сонячної активності збільшується площа темних плям на Сонці (а); а на Землі спостерігаються магнітні бурі й полярні сяйва (б)

Під час магнітних бур магнітна стрілка поводить ся аномально, тобто не встановлюється в напрямку «північ — південь». Утім, на нашій планеті є певні ділянки, де магнітна стрілка поводить ся аномально завжди: напрям, що вона вказує, повсякчас не збігається з напрямком ліній магнітного поля Землі. Такі ділянки називають *магнітними аномаліями*. У місцях магнітних аномалій магнітне поле завжди відхилене від норми. Дослідження деяких магнітних аномалій дозволяють виявляти поклади корисних копалин, у першу чергу залізної руди, а в комплексі з іншими методами — визначати глибину їх залягання та кількість запасів.



Підбиваємо підсумки

Планета Земля має магнітне поле, що задає напрямком магнітним стрілкам компасів, — ті встановлюються вздовж ліній магнітного поля Землі. Поблизу південного географічного полюса Землі розташований її північний магнітний полюс; поблизу північного географічного полюса Землі — її південний магнітний полюс.

Зазвичай магнітне поле Землі зазнає незначних періодичних змін, однак у період збільшення сонячної активності спостерігаються й різкі зміни магнітного поля. Це явище одержало назву магнітних бур.

Ділянки на поверхні Землі, де магнітне поле завжди відхилене від норми, називають магнітними аномаліями.



Контрольні запитання

1. Доведіть, що Земля має магнітне поле.
2. Як розташовані магнітні полюси Землі відносно географічних?
3. Чим можна пояснити виникнення магнітних бур? Як вони впливають на самопочуття людини?
4. Що таке магнітна аномалія?



Вправа № 22

1. У якому місці Землі магнітна стрілка обома полюсами вказує на південь?
2. Чому сталеві віконні ґрати можуть з часом намагнітитися?
3. Якій вимозі має відповідати матеріал, що використовують для будівництва науково-дослідних кораблів, на яких науковці вивчають магнітне поле Землі?



Експериментальне завдання

1. За стрілкою компаса визначте напрямок магнітного поля Землі у вашій кімнаті. Чи буде ваша відповідь правильною, якщо біля стрілки розмістити сталевий предмет? постійний магніт? Поясніть своє припущення та перевірте його експериментально.
2. Піднесіть компас спочатку до дна, а потім до верхньої частини залізного відра, що стоїть на землі. Поясніть спостережуване явище.

§ 26. МАГНІТНА ДІЯ СТРУМУ. МАГНІТНЕ ПОЛЕ ПРОВІДНИКА ЗІ СТРУМОМ



Уже йшлося про те, що електричний струм може чинити теплову, хімічну та магнітну дії. І якщо теплова та хімічна дії струму виявляються не завжди, то магнітна дія є загальною властивістю будь-якого струму. Виходячи з цього можна припустити, що навколо провідника зі струмом існує магнітне поле. З'ясуємо це.

1 Дізнаємося про дослід Ерстеда

Ще вчені Давньої Греції висловлювали припущення, що магнітні й електричні явища якимось чином пов'язані між собою, проте встановити цей зв'язок удалося лише на початку XIX ст.

Данський учений Х. Ерстед (рис. 26.1) демонстрував студентам досліди з нагріванням провідників електричним струмом. Під час одного з дослідів він помітив, що *при проходженні електричного струму по провіднику магнітна стрілка, розташована поблизу провідника, відхиляється від напрямку «північ — південь»* (рис. 26.2). У разі ж відсутності струму стрілка знов встановлюється вздовж ліній магнітного поля Землі. Так учений з'ясував, що електричний струм чинить певну дію на магнітну стрілку.

2 Знайомимося з гіпотезою Ампера

Ерстед розіслав статтю з описом своїх дослідів усім провідним науковцям Європи. Французький математик і фізик А. Ампер (див. рис. 9.2) уперше почув про дослід Ерстеда на засіданні Французької академії наук 4 вересня 1820 р. і вже за тиждень продемонстрував аудиторії взаємодію двох паралельно розташованих провідників зі струмом (рис. 26.3). Крім того, Ампер довів, що котушки, по яких проходить струм, поведуться як постійні магніти (рис. 26.4).

Проаналізувавши результати дослідів, Ампер зробив декілька висновків.

1. *Навколо постійного магніту, або провідника зі струмом, або будь-якої рухомої зарядженої частинки існує магнітне поле.*

2. *Магнітне поле діє з деякою силою на заряджену частинку, що рухається в цьому полі.*



Рис. 26.1. Ханс Християн Ерстед (1777–1851), данський фізик. Відкрив дію електричного струму на магнітну стрілку

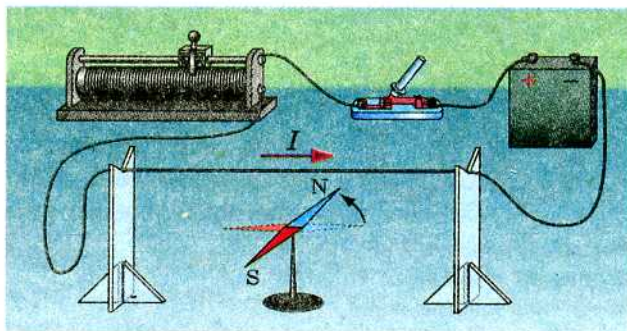


Рис. 26.2. Схема дослідів Х. Ерстеда

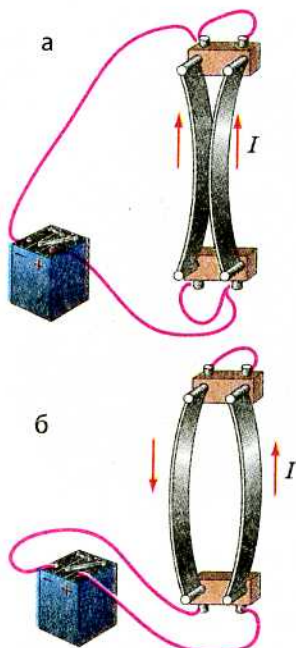


Рис. 26.3. Схема досліду А. Ампера. Якщо у двох паралельних провідниках течуть струми одного напрямку, ці провідники притягуються (а); якщо протилежних напрямків — відштовхуються (б)

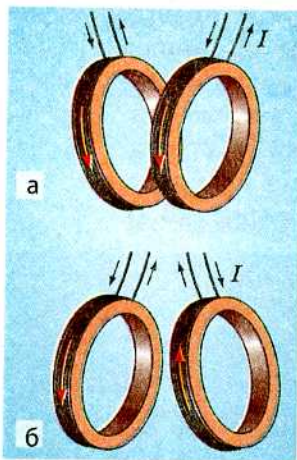


Рис. 26.4. Котушки зі струмом поводяться як постійні магніти: вони притягуються (а) або відштовхуються (б)

3. Електричний струм являє собою напрямлений рух заряджених частинок, тому *магнітне поле діє на провідник зі струмом*.

4. Взаємодію провідника зі струмом і постійного магніту, а також взаємодію постійних магнітів можна пояснити, *припустивши існування всередині магніту незгасаючих молекулярних електричних струмів*. (Це припущення назвали *гіпотезою Ампера*. Гіпотеза Ампера тільки частково пояснює магнітні властивості речовини. Сучасні уявлення про природу магнетизму ґрунтуються на законах квантової механіки.)

Таким чином, усі магнітні явища Ампер пояснював взаємодією заряджених частинок, що рухаються; взаємодія здійснюється через магнітні поля цих частинок.

Магнітне поле — особлива форма матерії, яка існує навколо заряджених частинок або тіл, що рухаються, і діє з деякою силою на інші заряджені частинки або тіла, що рухаються у цьому полі.

3 Знайомимося з правилом свердлика

Дослідимо магнітне поле провідника зі струмом за допомогою залізних ошурок (рис. 26.5). Зорієнтувавшись у магнітному полі провідника, ошурки відтворюють картину ліній магнітного поля — концентричні кола, що охоплюють провідник.

Напрямок ліній магнітного поля провідника зі струмом можна визначити, як і у випадку з постійними магнітами, за допомогою магнітної стрілки. Проте це не завжди зручно. Тому користуються **правилом свердлика**:

Якщо вкручувати свердлик за напрямком струму в провіднику, то напрямок обертання ручки свердлика вкаже напрямок ліній магнітного поля струму.

Тим, хто хоч трохи працював викруткою або ручним дрилем, скористатися правилом свердлика буде неважко (див. рис. 26.6). Решті ж пропонуємо визначати напрямок магнітних ліній поля за **правилом правої руки** (рис. 26.7):

Якщо спрямувати великий палець правої руки за напрямком струму в провіднику, то чотири зігнуті пальці вкажуть напрямок ліній магнітного поля струму.



Рис. 26.5. Дослідження магнітного поля прямого провідника зі струмом за допомогою залізних ошурок

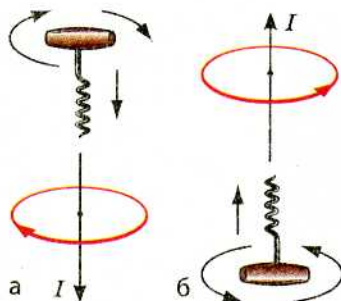


Рис. 26.6. Визначення напрямку ліній магнітного поля провідника зі струмом за правилом свердлика: а — струм напрямлений униз; б — струм напрямлений угору

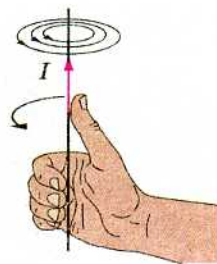


Рис. 26.7. Визначення напрямку ліній магнітного поля за правилом правої руки

4 Вивчаємо магнітне поле котушки зі струмом

Звернемося до одного з дослідів Ампера. Змотаємо ізольований провід у котушку й пустимо по ньому струм. Якщо тепер навколо котушки розмістити магнітні стрілки, то до одного торця котушки стрілки повернуться північним полюсом, а до другого — південним (рис. 26.8). Отже, *навколо котушки зі струмом існує магнітне поле.*

Як і штабовий магніт, котушка зі струмом має два полюси — південний і північний. Полюси котушки розташовані на її торцях, і їх легко визначити за допомогою правої руки. А саме: якщо чотири зігнуті пальці правої руки спрямувати за напрямком струму в котушці, то відігнутий великий палець укаже напрямок на північний полюс котушки (рис. 26.9). Зрозуміло, що зі зміною напрямку струму в котушці її полюси міняються місцями.

Дослідимо магнітне поле котушки зі струмом за допомогою залізних ошурок (рис. 26.10, а). Якщо порівняти картини ліній магнітних полів котушки зі струмом (рис. 26.10, б) і постійного штабового магніту (див. рис. 24.7), то неважко помітити їх надзвичайну схожість.

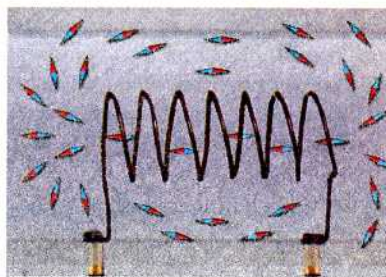


Рис. 26.8. Дослідження магнітного поля котушки зі струмом за допомогою магнітних стрілок

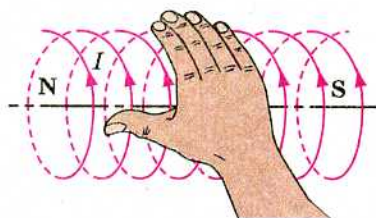


Рис. 26.9. Визначення полюсів котушки зі струмом за допомогою правої руки

! Підбиваємо підсумки

Якщо в провіднику проходить електричний струм, то магнітна стрілка, розташована поблизу

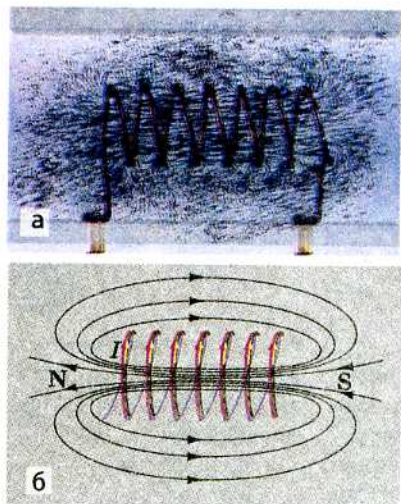


Рис. 26.10. Картина ліній магнітного поля котушки зі струмом: *а* — отримана за допомогою залізних ошукор; *б* — схематичне зображення: магнітні лінії виходять із північного полюса котушки і входять у південний

провідника, орієнтується певним чином. Це відбувається тому, що навколо провідника зі струмом існує магнітне поле.

Магнітне поле — особлива форма матерії, яка існує навколо заряджених частинок або тіл, що рухаються, і діє з деякою силою на інші заряджені частинки або тіла, що рухаються у цьому полі.

Напрямок ліній магнітного поля провідника зі струмом можна визначити за допомогою правила свердлика: якщо вкручувати свердлик за напрямком струму в провіднику, то напрямком обертання ручки свердлика вкаже напрямок ліній магнітного поля струму. Їхній напрямок можна також визначити за допомогою правила правої руки.

Котушка зі струмом, як і постійний магніт, має два полюси. Їх можна визначити за допомогою правої руки: якщо чотири зігнуті пальці правої руки спрямувати за напрямком струму в котушці, то відігнутий великий палець укаже напрямок на її північний полюс.



Контрольні запитання

1. У чому полягав дослід Х. Ерстеда?
2. Опишіть досліди А. Ампера.
3. Як А. Ампер пояснював наявність магнітного поля постійних магнітів?
4. Дайте означення магнітного поля.
5. Як визначити напрямок ліній магнітного поля провідника зі струмом?
6. Який вигляд має спектр магнітного поля прямого провідника зі струмом? котушки зі струмом?
7. Як визначити магнітні полюси котушки зі струмом?



Вправа № 23

1. Як пояснити взаємодію двох провідників зі струмом?
2. На рис. 1 зображено лінію магнітного поля провідника зі струмом. Укажіть напрямок струму.
3. Перенесіть рис. 2 до зошита. Нарисуйте лінії магнітного поля котушки зі струмом. Укажіть напрямок цих ліній.
4. Над котушкою підвішено магніт (рис. 3). Як поводитиметься магніт, якщо замкнути коло? Обґрунтуйте відповідь.
5. На рис. 4 зображено джерело струму, котушку, по якій проходить струм, ключ і магнітну стрілку. Визначте полюси джерела струму. Відповідь обґрунтуйте.

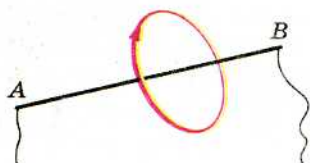


Рис. 1

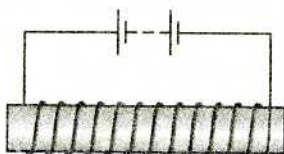


Рис. 2



Рис. 3

6. Як розташується відносно магніту рухома котушка (рис. 5), якщо: а) пропустити по ній струм? б) змінити напрямок струму?

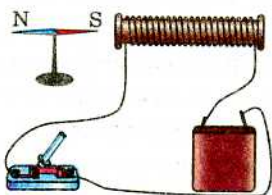


Рис. 4

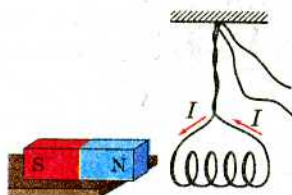


Рис. 5

Експериментальне завдання

Виготовте електромагнітний компас. Для цього склейте паперовий циліндр завдовжки 4–5 см. Намотайте на цей каркас 20–30 витків тонкого гнучкого ізольованого проводу. Отриману таким чином котушку закріпіть на невеликій дощечці (або корку) і з'єднайте кінці проводу з батареєю гальванічних елементів. За допомогою правої руки визначте полюси котушки й позначте їх на каркасі. Опустіть дощечку в широку посудину з водою. Електромагнітний компас готовий. Поясніть, як він діятиме. Що відбудеться, якщо джерело струму від'єднати? Вставте всередину котушки залізний цвях. Чи буде ваш компас правильно вказувати напрямок «північ — південь»?

§ 27. ЕЛЕКТРОМАГНІТИ ТА ЇХ ЗАСТОСУВАННЯ

Електричний шкільний дзвоник, електродвигун, підймальний кран на складі металобрухту, збагачувач залізної руди... Як пов'язані ці, на перший погляд зовсім різні, пристрої? Людина, що знає фізику, однозначно відповість, що в кожному використовується електромагніт. Отже, з'ясуємо, що таке електромагніт, дізнаємося про його будову і про те, як він працює.

З'ясуємо, від чого залежить магнітна дія котушки зі струмом

Складемо електричне коло з джерела струму, котушки, реостата й амперметра. Над котушкою підвісимо на динамометрі залізний циліндр. Якщо замкнути коло, то циліндр притягнеться до котушки, додатково розтягнувши пружину динамометра (рис. 27.1). Ви вже знаєте, чому це відбувається: навколо котушки зі струмом існує магнітне поле; потрапивши в нього, залізний циліндр сам стає магнітом і починає взаємодіяти



Рис. 27.1. Дослідження магнітної дії котушки зі струмом

з магнітним полем котушки. Можна сказати, що котушка зі струмом чинить на брусок магнітну дію.

З'ясуємо, від чого залежить магнітна дія котушки. Спочатку змінюватимемо силу струму в котушці за допомогою реостата; зміну сили струму реєструватимемо амперметром. Виявиться, що при збільшенні сили струму брусок сильніше притягується до котушки, про що свідчить більший розтяг пружини динамометра. Отже, *у разі збільшення сили струму в котушці її магнітна дія посилюється.*

Замінімо котушку на іншу — з більшим числом витків і побачимо, що за тієї самої сили струму подовження пружини динамометра збільшиться. Отже, *у разі збільшенні числа витків у котушці її магнітна дія посилюється.*

Уведемо всередину котушки товстий залізний стрижень — осердя. Увімкнемо струм — брусок спрямується до котушки та «прилипне» до осердя. Отже, *магнітна дія котушки значно посилюється в разі уведення всередину залізного осердя.* Річ у тім, що уведене в котушку осердя, виготовлене з магнітного матеріалу, намагнічується, тобто само стає магнітом. При цьому магнітне поле такого осердя є набагато сильнішим, ніж магнітне поле самої котушки.

2 Вивчаємо будову електромагнітів і сферу їх застосування

Котушку з уведеним усередину осердям із магнітного матеріалу називають **електромагнітом**.

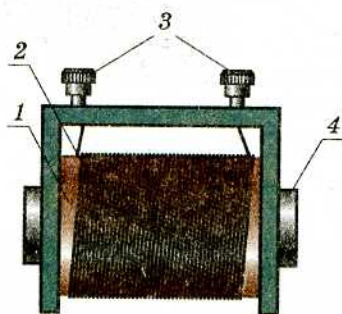


Рис. 27.2. Будова електромагніту: 1 — каркас; 2 — обмотка; 3 — клем; 4 — осердя

Розглянемо будову електромагніту (рис. 27.2). Будь-який електромагніт має каркас (1), виготовлений із діелектрика. На каркас щільно намотано ізольований дрот — це обмотка електромагніту (2). Кінці обмотки підведено до спеціальних клем (3), за допомогою яких електромагніт приєднують до джерела струму. У середині каркаса розміщено осердя (4), виготовлене з магнітного матеріалу. Зазвичай осердю електромагніту надають підковоподібної форми, оскільки в цьому випадку магнітна дія електромагніту значно посилюється.

Електромагніти набули широкого застосування в техніці насамперед тому, що їхню магнітну дію легко регулювати — достатньо змінити силу струму в обмотці. Крім того, електромагніти можна виготовити будь-яких форм та розмірів.

Електромагніти застосовують в електродвигунах і електричних генераторах, трансформаторах і електровимірювальних приладах, телефонах, електричних дзвінках, мікрофонах тощо. Ми розглянемо застосування електромагнітів в *електромагнітних підіймальних кранах та електромагнітному реле.*

3 Вивчаємо принцип дії електромагнітного підіймального крана та електромагнітного реле

Проведемо дослід. Складемо електричне коло з джерела струму й електромагніту. Замкнувши коло, побачимо, що залізні ошурки притяглися до осердя електромагніту, отже, можемо перенести їх, наприклад, на інший кінець столу (рис. 27.3).

Саме за таким принципом працюють *електромагнітні підіймальні крани* (рис. 27.4), що переносять важкі залізні болванки, металобрухт тощо. І не потрібні ніякі гаки! Увімкнули струм — залізні предмети притяглися до електромагніту і їх перенесли у потрібне місце, вимкнули струм — залізні предмети припинили притягуватися і залишилися там, куди їх перенесли.

Електромагніти використовують і тоді, коли виникає потреба у застосуванні споживачів електроенергії, сила струму в яких сягає сотень і тисяч амперів. Замикальний пристрій і споживач з'єднані послідовно, тому через замикальний пристрій буде проходити дуже сильний струм. А це, без сумніву, становитиме небезпеку для людей, які працюють за пультом керування. Що ж робити? На допомогу приходять *електромагнітні реле* — пристрої для керування електричним колом (рис. 27.5). Зверніть увагу: замикальний пристрій (1), установлений на пульті керування, та електромагніт (2) приєднані до джерела струму А з малою напругою на вході, а споживач (на рисунку це електродвигун) живиться від потужного джерела В.

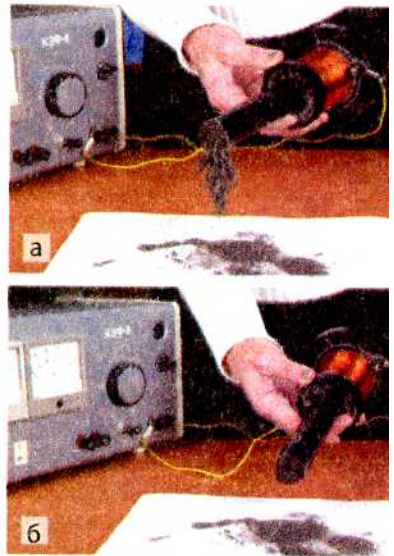


Рис. 27.3. Після замикання кола залізні ошурки притягуються до осердя (а); після розімкнення — відпадають (б)



Рис. 27.4. Електромагнітний підіймальний кран

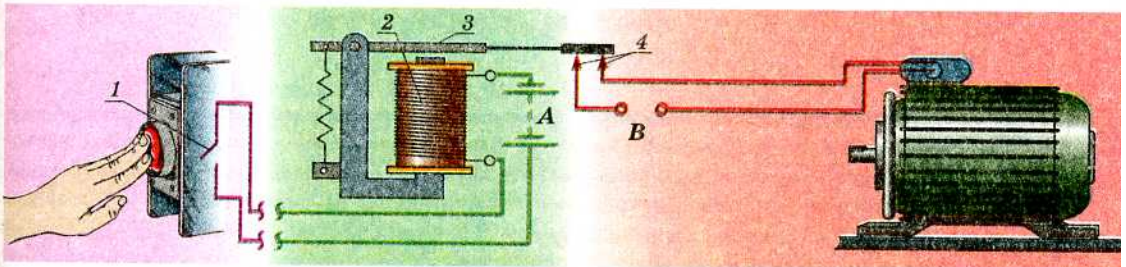


Рис. 27.5. Принцип дії електромагнітного реле. У разі замикання ключа (1) (кнопки) по колу електромагніту (2) йде слабкий безпечний струм. Унаслідок цього залізне осердя електромагніту притягує до себе якор (3). Коли якор замикає контакти (4), замикається коло електродвигуна, який споживає струм значно більшої сили

3 Вивчаємо принцип дії електромагнітного підіймального крана та електромагнітного реле

Проведемо дослід. Складемо електричне коло з джерела струму й електромагніту. Замкнувши коло, побачимо, що залізні ошурки притяглися до осердя електромагніту, отже, можемо перенести їх, наприклад, на інший кінець столу (рис. 27.3).

Саме за таким принципом працюють *електромагнітні підіймальні крани* (рис. 27.4), що переносять важкі залізні болванки, металобрухт тощо. І не потрібні ніякі гаки! Увімкнули струм — залізні предмети притяглися до електромагніту і їх перенесли у потрібне місце, вимкнули струм — залізні предмети припинили притягуватись і залишились там, куди їх перенесли.

Електромагніти використовують і тоді, коли виникає потреба у застосуванні споживачів електроенергії, сила струму в яких сягає сотень і тисяч амперів. Замикальний пристрій і споживач з'єднані послідовно, тому через замикальний пристрій буде проходити дуже сильний струм. А це, без сумніву, становитиме небезпеку для людей, які працюють за пультом керування. Що ж робити? На допомогу приходять *електромагнітні реле* — пристрої для керування електричним колом (рис. 27.5). Зверніть увагу: замикальний пристрій (1), установлений на пульті керування, та електромагніт (2) приєднані до джерела струму А з малою напругою на вході, а споживач (на рисунку це електродвигун) живиться від потужного джерела В.



Рис. 27.3. Після замикання кола залізні ошурки притягуються до осердя (а); після розімкнення — відпадають (б)



Рис. 27.4. Електромагнітний підіймальний кран

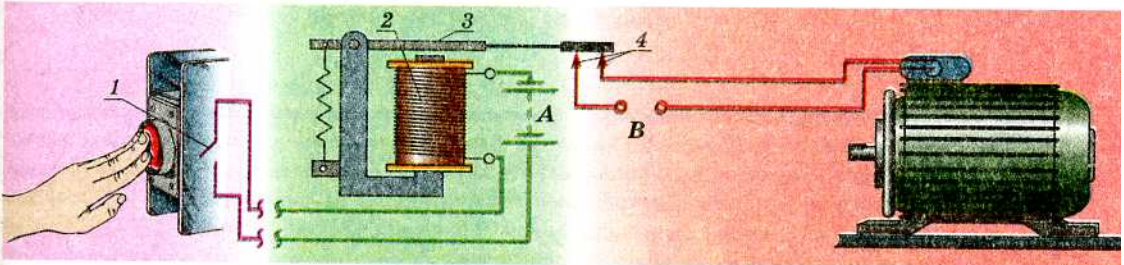


Рис. 27.5. Принцип дії електромагнітного реле. У разі замикання ключа (1) (кнопки) по колу електромагніту (2) йде слабкий безпечний струм. Унаслідок цього залізне осердя електромагніту притягує до себе кір (3). Коли кір замикає контакти (4), замикається коло електродвигуна, який споживає струм значно більшої сили

Підбиваємо підсумки

Магнітна дія котушки зі струмом посилюється, якщо збільшити кількість витків у ній; збільшити силу струму; внести всередину котушки осердя, виготовлене з магнітного матеріалу.

Котушку з уведеним усередину осердям із магнітного матеріалу називають електромагнітом.

Електромагніти набули широкого застосування в техніці. Це зумовлене тим, що магнітну дію електромагніту легко регулювати, змінюючи силу струму в обмотці, а також тим, що електромагніти можна виготовити будь-яких форм і розмірів.

Контрольні запитання

- Від чого і як саме залежить магнітна дія котушки зі струмом? Опишіть дослід на підтвердження вашої відповіді.
- Що таке електромагніт? Яка його будова?
- Чому електромагніти набули широкого застосування в техніці?
- Поясніть принцип дії електромагнітного підйимального крана.
- Для чого призначене електромагнітне реле? Опишіть принцип його дії.

Вправа № 24

- Намотавши на залізний цвях ізольований провід і з'єднавши кінці проводу з батареєю гальванічних елементів, одержали найпростіший електромагніт (рис. 1). Визначте полюси цього електромагніту. Обґрунтуйте свою відповідь.
- До яких затискачів електромагнітного реле (рис. 2) слід приєднати джерело слабкого (керувального) струму?
- На рис. 3 подано схему будови автомата, що спрацьовує за певної температури. Назвіть основні частини цього пристрою, поясніть принцип його дії. Де доцільно встановлювати такі автомати?
- Як зміниться підймальна сила електромагніту, якщо пересунути повзунок реостата праворуч (рис. 4)? Відповідь обґрунтуйте.

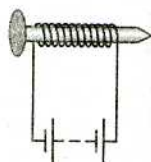


Рис. 1

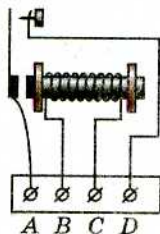


Рис. 2

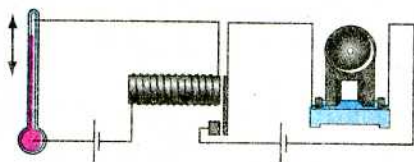


Рис. 3

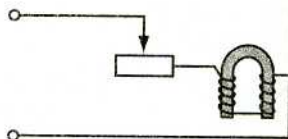


Рис. 4

Експериментальне завдання

Виготовте найпростіший електромагніт. Для цього намотайте на залізний цвях ізольований дріт і з'єднайте його кінці з батареєю гальванічних елементів (див. рис. 1). Розімкніть коло й закріпіть електромагніт горизонтально на деякій відстані від поверхні столу. Змішайте дрібні шматочки паперу, зерна рису та дрібні залізні предмети (краще ошурки). Замкніть коло. Повільно просипаючи суміш повз голівку цвяха, відокремте залізні предмети. Подумайте, де можна використовувати аналогічний пристрій і як його вдосконалити.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 10



Тема. Виготовлення найпростішого електромагніту й випробування його дії.

Мета: навчитися виготовляти найпростіший електромагніт і з'ясувати, від чого залежить його дія.

Обладнання: штатив, мідний дріт, джерело постійного струму, залізні стрижні (або великі цвяхи), пробник, залізні ошурки, реостат, ключ, амперметр, магнітна стрілка або компас, з'єднувальні проводи.

ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ

Теоретичні відомості

Для оцінки магнітної дії електромагніту можна скористатися *пробником* (рис. 1). Він складається зі сталевий пластинки (1), яку закріплено за допомогою пружини (2) усередині пластмасового корпусу. Якщо піднести пробник до електромагніту, магнітне поле останнього буде діяти на пластинку пробника. Пластинка притягуватиметься до електромагніту тим більше, чим сильніша його магнітна дія. Значення сили притягання визначають за шкалою, яку нанесено на сталеву пластинку пробника. У разі відсутності пробника магнітну дію електромагніту можна оцінити за допомогою динамометра та невеличкого сталевий стрижня, підвішеного до нього.

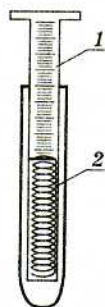


Рис. 1

Підготовка до експерименту

Перш ніж виконувати роботу, згадайте:

- 1) вимоги безпеки під час роботи з електричними колами;
- 2) як залежить магнітна дія електромагніту від сили струму в ньому, кількості витків і наявності залізного осердя.

Експеримент

1. Виготовте два електромагніти з різною кількістю витків. Для цього візьміть два залізні стрижні й намотайте на них різну кількість витків мідного дроту: на один стрижень — 20 витків, на другий — 40.
2. Узавши електромагніт із більшою кількістю витків, складіть електричне коло за схемою, яку зображено на рис. 2.
3. Замкніть коло й переконайтеся, що електромагніт притягує залізні ошурки, тобто виявляє магнітні властивості.
4. За допомогою магнітної стрілки визначте полюси отриманого електромагніту. Опишіть, як ви це зробили.

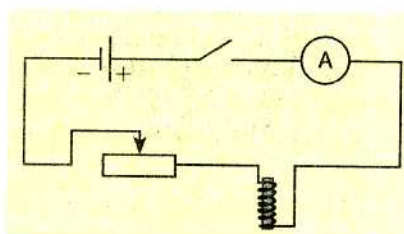


Рис. 2

5. З'ясуйте, від чого залежить магнітна дія електромагніту. Результати дослідів запишіть у зошит.
- 1) Використавши реостат, в обмотці електромагніту з більшою кількістю витків установіть силу струму спочатку 0,5 А, а потім 1,5 А. Порівняйте магнітну дію електромагніту за різної сили струму в обмотці.
- 2) Вийміть осердя з електромагніту та установіть в обмотці силу струму 1,5 А. З'ясуйте, як впливає наявність осердя на магнітну дію електромагніту.
- 3) Складіть електричне коло (див. рис. 2) з електромагнітом, який має меншу кількість витків. За допомогою реостата встановіть у колі струм силою 1,5 А. Визначте, як зменшення кількості витків впливає на магнітну дію електромагніту.



Аналіз результатів експерименту

Проаналізуйте експеримент та його результати. Зробіть висновок, у якому зазначте, як залежить магнітна дія електромагніту від сили струму в ньому, кількості витків і наявності залізного осердя.



Творче завдання

Чи можна намотати обмотку електромагніту таким чином, щоб при підключенні до нього джерела струму на обох кінцях електромагніту створилися південні полюси? Якщо можна, то поясніть, як це зробити. Перевірте своє припущення експериментально.

§ 28. ДІЯ МАГНІТНОГО ПОЛЯ НА ПРОВІДНИК ЗІ СТРУМОМ. ПРАВИЛО ЛІВОЇ РУКИ. ЕЛЕКТРИЧНІ ДВИГУНИ



Фізичні дослідження, які часто проводять заради «наукової цікавості», у разі вдалого завершення зазвичай започатковують новий етап у розвитку техніки. Саме так сталося з вивченням електромагнітних явищ. Минув час, і наше життя неможливо уявити без електричних двигунів — екологічно чистих, зручних, компактних пристроїв, у яких енергія електричного струму перетворюється на механічну енергію.

Про те, як електрична енергія може бути перетворена на механічну, ви дізнаєтеся з цього параграфа.



Знайомимося із силою, що діє на провідник зі струмом

Із § 26 ви дізналися, що магнітне поле діє на провідник зі струмом з деякою силою. У цьому легко переконатися за допомогою досліду. Візьмемо прямий провідник, виготовлений з немагнітного матеріалу, і підвісимо його на тонких і гнучких проводах таким чином, щоб він перебував між полюсами підковоподібного постійного магніту (рис. 28.1, а). Якщо пропустити по провіднику струм, провідник відхилиться від положення рівноваги (рис. 28.1, б). Причиною такого відхилення є *сила, що діє на провідник зі струмом з боку магнітного поля*. Довів наявність цієї сили та з'ясував, від чого залежать її значення й напрямки, А. Ампер (див. рис. 9.2). Саме тому цю силу називають *силою Ампера*.

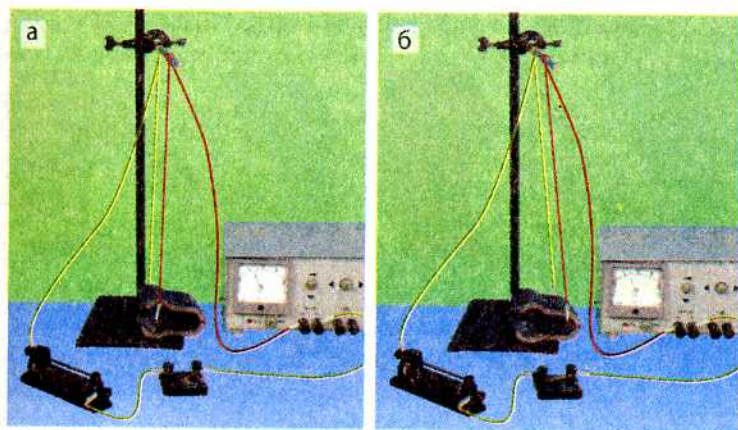


Рис. 28.1. Дослід, який демонструє дію магнітного поля на алюмінієвий провідник зі струмом: у разі відсутності струму магнітне поле на провідник не діє (а); якщо по провіднику тече струм, провідник відхиляється (б)

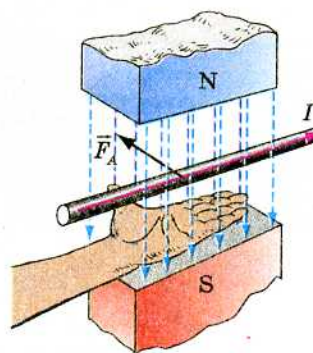


Рис. 28.2. Напрямок сили Ампера (\vec{F}_A) визначають за правилом лівої руки

Сила Ампера — це сила, з якою магнітне поле діє на провідник зі струмом.

Експериментально встановлено, що *сила Ампера пропорційна силі струму в провіднику та довжині тій частини провідника, що перебуває в магнітному полі**. Сила Ампера збільшується з посиленням магнітного поля і залежить від розташування провідника відносно ліній магнітного поля. Сила Ампера є максимальною, якщо провідник розташований перпендикулярно до магнітних ліній, і дорівнює нулю, якщо провідник розташований паралельно магнітним лініям.

Напрямок сили Ампера зручно визначати за допомогою **правила лівої руки** (рис. 28.2):

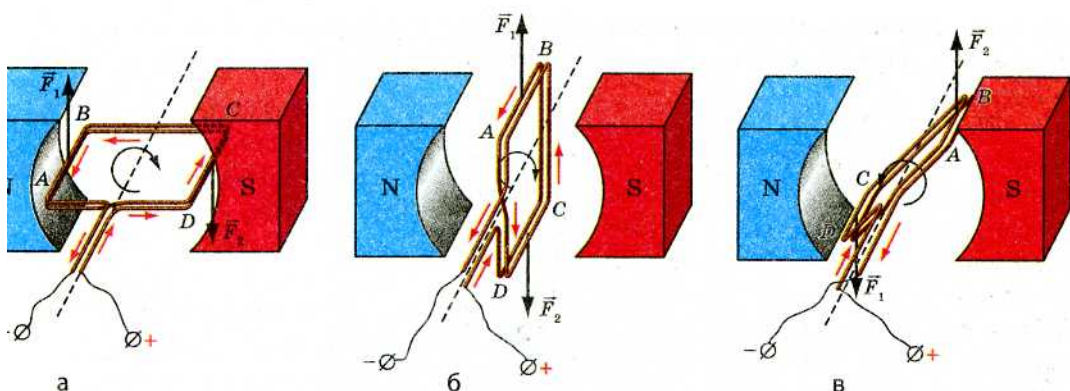
Якщо ліву руку розташувати так, щоб лінії магнітного поля входили в долоню, а чотири витягнуті пальці вказували напрямок струму в провіднику, то відігнутий на 90° великий палець укаже напрямок сили Ампера.

2 Вивчаємо дію магнітного поля на рамку зі струмом

Візьмемо легку прямокутну рамку, що складається з кількох витків ізоляованого дроту, і помістимо її між полюсами магніту так, щоб вона могла легко обертатися навколо горизонтальної осі (див. рис. 28.3, а). Пропустимо по рамці електричний струм (на рисунку напрямок струму позначений червоними стрілками). Рамка повернеться і, гойднувшись кілька разів, установиться так, як показано на рис. 28.3, б. Це положення є **положенням рівноваги рамки**.

З'ясуємо, чому рамка почала рух. Для цього, скориставшись правилом лівої руки, визначимо напрямок сили Ампера, що діє на кожну

* Частину провідника, яка перебуває в магнітному полі, називають **активною частиною провідника**.



ис. 28.3. Дослідження дії магнітного поля на рамку зі струмом:

- сили Ампера (\vec{F}_1 і \vec{F}_2) повертають рамку за ходом годинникової стрілки;
- у положенні рівноваги сили Ампера не повертають рамку, а розтягують;
- після проходження рамкою положення рівноваги сили Ампера повертають її проти ходу годинникової стрілки

сторону рамки на початку спостереження. На рис. 28.3, *а* бачимо, що сила Ампера F_1 , яка діє на сторону AB , напрямлена вгору, а сила Ампера F_2 , що діє на сторону CD , напрямлена вниз. Отже, обидві сили повертають рамку за ходом годинникової стрілки.

А тепер з'ясуємо, чому рамка припинила рух. Річ у тім, що після проходження рамкою положення рівноваги сили Ампера (F_1 і F_2) повертатимуть її вже проти годинникової стрілки (рис. 28.3, *в*). (Переконайтеся в цьому, скориставшись правилом лівої руки.) У результаті рамка почне повертатися у зворотному напрямку, пройде положення рівноваги, після чого напрямок її руху знову зміниться. Урешті-решт через дію сил тертя рамка зупиниться.

3 Знайомимося з принципом дії колектора

Обертання рамки зі струмом у магнітному полі було використано при створенні *електричних двигунів* — пристроїв, в яких *електрична енергія перетворюється на механічну*. Щоб зрозуміти принцип дії електродвигуна, спочатку з'ясуємо, як змусити рамку безперервно обертатися в одному напрямку, наприклад за ходом годинникової стрілки.

Неважко здогадатися: для цього треба, щоб сила Ампера, яка діє на ліву частину рамки (F_1), завжди була спрямована вгору, а сила Ампера, що діє на праву частину рамки (F_2), — вниз (див. рис. 28.3). Тобто, зважаючи на правило лівої руки, слід зробити так, щоб струм у лівій частині рамки завжди був спрямований до нас, а в правій частині — від нас. Іншими словами, у момент проходження рамкою положення рівноваги, коли ліва і права частини рамки міняються місцями, напрямок струму в рамці має змінюватися на протилежний.

Пристрій, який автоматично змінює напрямок струму в рамці, називають **колектором**.

На рис. 28.4 зображено модель, за допомогою якої можна ознайомитися з принципом дії колектора. Власне колектор являє собою два півкільця (1), до кожного з яких притиснута металева щітка (2). Півкільця виготовлені з провідника й розділені зазором. Щітки слугують для підведення напруги від джерела струму (5) до рамки (4), яка може легко обертатися навколо горизонтальної осі і розташована між полюсами потужного магніту (3). Одну з щіток з'єднують з позитивним полюсом джерела струму, другу — з негативним.

Після замикання кола рамка під дією сил Ампера починає повертатися за ходом годинникової стрілки. Півкільця колектора повертаються разом із рамкою, а щітки залишаються нерухомими, тому після проходження положення рівноваги до щіток будуть притиснуті вже інші півкільця. Напрямок струму в рамці зміниться на протилежний, а напрямок обертання рамки залишиться тим самим.

4 Збільшуємо потужність електричного двигуна та забезпечуємо рівномірність його роботи

Для збільшення потужності електродвигуна потрібно збільшити сили Ампера, дія яких забезпечує обертання рамки.

Оскільки сила Ампера пропорційна довжині провідника, то обмотку електродвигуна виготовляють із великої кількості витків дроту. Витки вкладають у спеціальні пази на бічній поверхні циліндра, який виготовлено зі сталевих листів. Циліндр слугує осердям, що значно посилює магнітне поле обмотки. Осердя з обмоткою слугує **ротором** (від латин. *rotare* — обертатися), або **якорем**, двигуна (рис. 28.5).

Для забезпечення рівномірного обертання ротора використовують кілька обмоток, які намотують на одне осердя. Колектор такого двигуна являє собою не півкільця, а низку мідних дугоподібних пластин, закріплених на ізолюваному барабані (рис. 28.6).

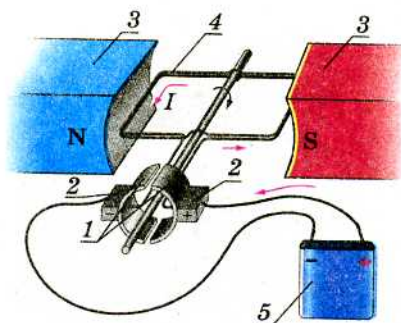


Рис. 28.4. Модель, яка демонструє принцип дії колектора: 1 — півкільця; 2 — металеві щітки; 3 — постійний магніт; 4 — рамка, що обертається навколо горизонтальної осі; 5 — джерело струму

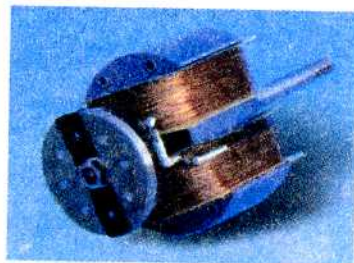


Рис. 28.5. Ротор двигуна, що містить одну обмотку

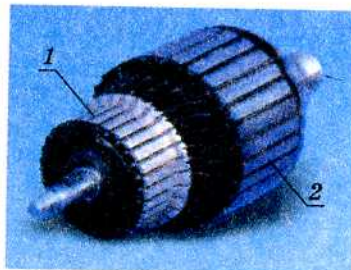


Рис. 28.6. Колектор (1) і ротор (2), який містить дванадцять обмоток

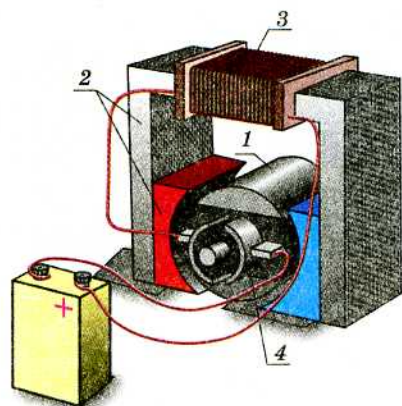


Рис. 28.7. Схема будови електродвигуна постійного струму: 1 — ротор; 2 — статор; 3 — обмотка статора; 4 — колектор

Ротор (1) обертається в магнітному полі потужного електромагніту (рис. 28.7). Такий електромагніт становить одне ціле з корпусом електродвигуна і слугує його *статором* (від латин. *stator* — той, що стоїть нерухомо), або *індуктором* (2). Обмотку (3) статора підключено до того самого джерела струму, що й обмотку ротора. Коли по обмотках ротора й статора йде струм, ротор обертається в магнітному полі статора і двигун працює.

5 Застосовуємо електродвигуни

Електродвигуни постійного струму знайшли своє застосування в електротранспорті: їх установлюють у трамваях, тролейбусах, електровозах і електромобілях, використовують як стартери для запуску двигунів внутрішнього згоряння. У промисловості й побу-

ті застосовують електродвигуни змінного струму (з їхньою будовою ви ознайомитесь у старших класах).

Електричні двигуни мають істотні переваги перед тепловими. Вони більш компактні, економічні (ККД досягає 98 %), зручні в застосуванні (їхню потужність легко регулювати). Крім того, електричні двигуни не забруднюють навколишнє середовище.

6 Учимся розв'язувати задачі

Задача. Доведіть, що два паралельні провідники, по яких протікає струм одного напрямку, притягуються.

Аналіз фізичної проблеми

Навколо будь-якого провідника зі струмом існує магнітне поле, отже, кожний із даних провідників перебуває в магнітному полі іншого. Тому на перший провідник діятиме сила Ампера з боку магнітного поля, що створене струмом у другому провіднику, і навпаки. Визначивши напрямки цих сил за допомогою правила лівої руки, з'ясуємо, притягуються чи відштовхуються провідники.

Розв'язання

Для розв'язання задачі виконаємо пояснювальний рисунок, на якому зобразимо провідники А і В та позначимо напрямок струму в них (рис. 1).

Провідник А перебуває у магнітному полі провідника В.

1) За допомогою правила правої руки визначимо напрямок ліній магнітного поля, створеного провідником В (позначка «•» означає, що магнітна лінія спрямована до нас, а позначка «×» — від нас). Бачимо, що біля провідника А ці лінії напрямлені до нас (див. рис. 1).

2) Скориставшись правилом лівої руки, визначимо напрямок сили Ампера, яка діє на провідник А з боку магнітного поля провідника В (рис. 2).

3) Робимо висновок: провідник А притягується до провідника В.

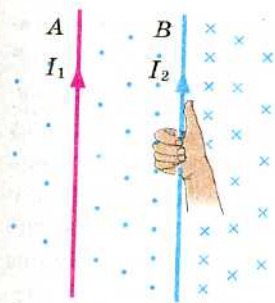


Рис. 1

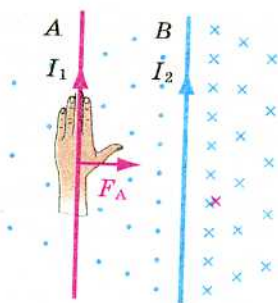


Рис. 2

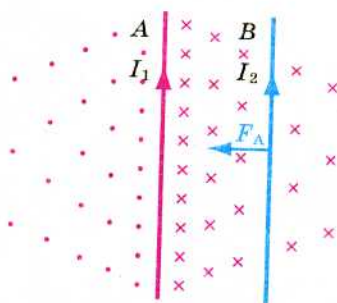


Рис. 3

Провідник B перебуває у магнітному полі провідника A .

1) Визначимо напрямок ліній магнітного поля, створеного провідником A (рис. 3)

2) Визначимо напрямок сили Ампера, яка діє на провідник B .

3) Робимо висновок: провідник B притягується до провідника A .

Відповідь: два паралельні провідники, по яких протікає струм одного напрямку, притягуються.

! Підбиваємо підсумки

Силу, з якою магнітне поле діє на провідник зі струмом, називають силою Ампера.

Для визначення напрямку сили Ампера використовують правило лівої руки: якщо ліву руку розташувати так, щоб лінії магнітного поля входили в долоню, а чотири витягнуті пальці вказували напрямку струму в провіднику, то відігнутий на 90° великий палець укаже напрямку сили Ампера.

У результаті дії сили Ампера рамка зі струмом може обертатися в магнітному полі. Явище обертання рамки зі струмом у магнітному полі використовують у роботі електродвигунів. Рухома частина електродвигуна — ротор — складається з металевго осердя і рамки, струм до якої підводиться за допомогою колектора. Ротор обертатися в магнітному полі потужного електромагніту — статора.

Електричні двигуни мають певні переваги перед тепловими: вони більш компактні, економічні, зручні в застосуванні, не забруднюють навколишнє середовище.

? Контрольні запитання

1. Опишіть дослід на підтвердження того, що в магнітному полі на провідник зі струмом діє сила.
2. Дайте означення сили Ампера.
3. Від яких чинників залежить значення сили Ампера?
4. Сформулюйте правило для визначення напрямку сили Ампера.
5. Чому рамка зі струмом повертається в магнітному полі? чому зупиняється?
6. Назвіть основні частини електродвигуна. Яка з них «відповідає» за безперервне обертання рамки електродвигуна? Як вона улаштована?
7. Як улаштований ротор електродвигуна?
8. Що являє собою статор електродвигуна?
9. Назвіть переваги електричних двигунів перед тепловими.

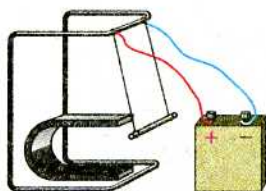


Рис. 1

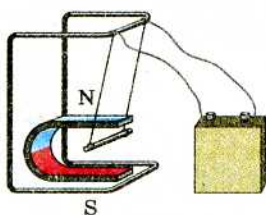


Рис. 2

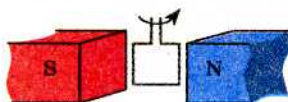


Рис. 4

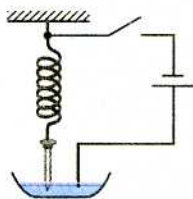


Рис. 5

Вправа № 25

1. На рис. 1 зображено провідник зі струмом, який відхиляється в магнітному полі постійного магніту. Визначте полюси магніту.
2. На рис. 2 зображено провідник зі струмом, який відхиляється в магнітному полі постійного магніту. Визначте напрямок струму в провіднику.
3. Якщо замкнути електричне коло (рис. 3), то алюмінієвий стрижень покотиться по рейках. Визначте, у який бік. Обґрунтуйте свою відповідь.

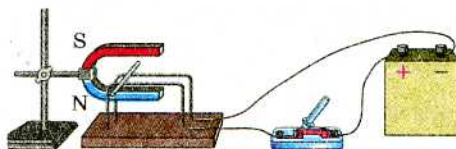


Рис. 3

4. На рис. 4 зображено рамку зі струмом, яка повертається в магнітному полі постійного магніту. Визначте напрямок струму в рамці.
5. Доведіть, що два провідники, по яких пропускають струми протилежних напрямків, відштовхуються.
6. Електричні двигуни мають низку переваг перед тепловими. Чому ж людство не відмовиться від застосування теплових двигунів?
- 7*. На кінці м'якої металевої пружини підвішено залізний цвях, нижній кінець якого ледве занурено в посудину з розчином кухонної солі (рис. 5). Що спостерігатиметься після замикання ключа?

Експериментальне завдання

Розгляньте будову електричного двигуна, вийнятого з іграшки. Приєднайте двигун до батареї гальванічних елементів і зверніть увагу на напрямок обертання ротора. Яким чином, на вашу думку, можна змінити напрямок обертання ротора на протилежний? Перевірте свої припущення.

§ 29. ЕЛЕКТРОВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ. ГУЧНОМОВЕЦЬ



Вивчаючи електричний струм, ви дізналися, що силу струму вимірюють амперметром, напругу — вольтметром. Але жодного разу ми не зверталися до будови зазначених приладів, адже, щоб зрозуміти принцип їхньої дії, вам бракувало знань. Сьогодні ми вже можемо розглянути будову цих вимірювальних приладів.



Знайомимося з принципом дії вимірювальних приладів магнітоелектричної системи

Існують електричні вимірювальні прилади різних систем: прилади магнітоелектричної системи, електромагнітної системи, електродинамічної

системи. Робота всіх цих приладів ґрунтується на магнітній дії струму. З'ясуємо, як побудовані деякі з них та чим відрізняються.

Уже відомі вам гальванометри, амперметри і вольтметри — це *вимірювальні прилади магнітоелектричної системи*. Вимірювальний механізм приладів цієї системи зображено на рис. 29.1.

Коли струм у рамці відсутній, спіральні пружини утримують півосі, а отже, і стрілку таким чином, що кінець стрілки встановлюється на нульовій позначці. Коли прилад вмикають у коло, у рамці починає йти струм, і під дією сил Ампера вона повертається. Разом із рамкою повертаються півосі, а отже, і стрілка. Під час обертання рамки пружини закручуються й виникають додаткові сили пружності. Коли момент сил пружності зрівноважить момент сил Ампера, обертання півосей припиниться, а стрілка залишиться відхиленою на певний кут.

Чим більша сила струму в рамці, тим на більший кут відхилиться стрілка, тим більшими будуть покази приладу.

Прилади магнітоелектричної системи відзначаються великою точністю й високою чутливістю.

2 Порівнюємо амперметр і вольтметр

За внутрішньою будовою амперметр і вольтметр є майже однаковими, відрізняються тільки їхні електричні опори. Оскільки амперметр вмикають у коло послідовно, то його опір має бути якнайменшим, інакше сила струму в колі значно зменшиться. А от вольтметр приєднують до кола паралельно з пристроєм, на якому вимірюють напругу, отже, щоб сила струму в колі майже не змінювалася, опір вольтметра має бути якнайбільшим.

3 Вивчаємо будову вимірювальних приладів електромагнітної системи

На рис. 29.2 зображено *схему вимірювального механізму приладу електромагнітної системи*. Сталеве рухоме осердя (1) жорстко

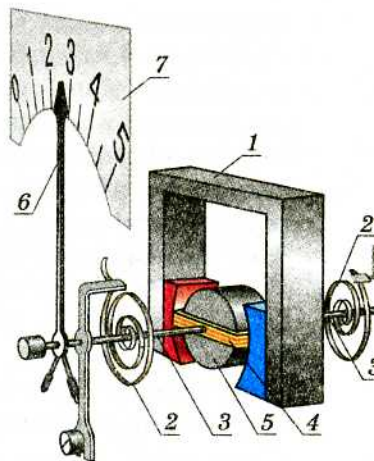


Рис. 29.1. Схема вимірювального механізму приладу магнітоелектричної системи: 1 — постійний нерухомий магніт; 2 — спіральні пружини; 3 — півосі, на яких жорстко закріплена рамка 4; 5 — нерухоме осердя; 6 — стрілка; 7 — шкала приладу

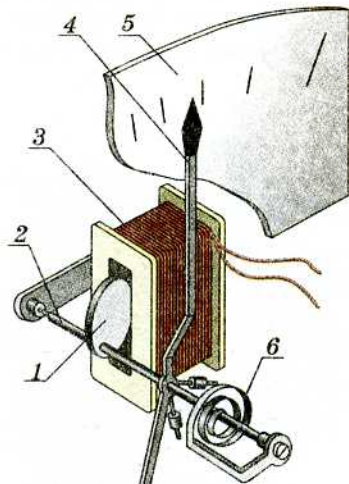


Рис. 29.2. Схема вимірювального механізму приладу електромагнітної системи: 1 — рухоме осердя; 2 — вісь; 3 — котушка; 4 — стрілка; 5 — шкала; 6 — пружина

закріплене на осі (2). Після вмикання приладу в коло по обмотці котушки (3) йде електричний струм, унаслідок чого навколо котушки виникає магнітне поле, у якому осердя намагнічується і починає втягуватися в котушку, повертаючи вісь. Разом з віссю повертається стрілка (4), вільний кінець якої переміщується по шкалі (5) приладу. Як і в приладах магнітоелектричної системи (див. п. 1), повертання осі протидіє спіральна пружина (6), що закручується доти, доки момент сили пружності не зрівноважить момент сили, що діє з боку магнітного поля на рухоме осердя. Після цього повертання осі, а отже, й рух стрілки припиняються. Чим більший струм проходить по котушці, тим сильніше втягується осердя й тим більше відхиляється стрілка.

Прилади електромагнітної системи менш чутливі, ніж магнітоелектричної, однак можуть витримати більше перевантаження.

4 Знайомимося з принципом дії електродинамічного гучномовця

Якщо котушку розташувати в магнітному полі постійного магніту, то залежно від напрямку струму в котушці вона буде або притягуватися до магніту, або відштовхуватися від нього.

А що відбуватиметься в разі зміни сили струму в котушці? Зрозуміло, що зі збільшенням сили струму котушка сильніше притягнеться до постійного магніту, в разі зменшення сили струму притягання послабшає і котушка зміститься в протилежному напрямку. Якщо силу струму в котушці змінювати періодично, вона буде відхилятися (рухатися) то в одному, то в іншому напрямку, тобто коливатиметься в такт зміні сили струму. Чим частіше змінюватиметься сила струму, тим більшою буде частота коливань котушки.

Ви вже знаєте, що тіло, яке коливається з частотою від 20 до 20 000 Гц, випромінює звукові хвилі. Отже, якщо частота коливань котушки змінюватиметься в означених межах, то котушка буде джерелом звуку. Гучність та висота тону випромінюваного звуку визначатимуться амплітудою і частотою коливань відповідно.

Саме на коливаннях котушки зі змінним струмом у магнітному полі постійного магніту базується дія *електродинамічного гучномовця (динаміка)* — електроакустичного пристрою для відтворення звуку (рис. 29.3). Коли струм, сила якого змінюється зі звуковою частотою, тече по котушці, то вона в такт зміні сили струму то втягується в зазор постійного магніту, то виштовхується з нього. Унаслідок цього

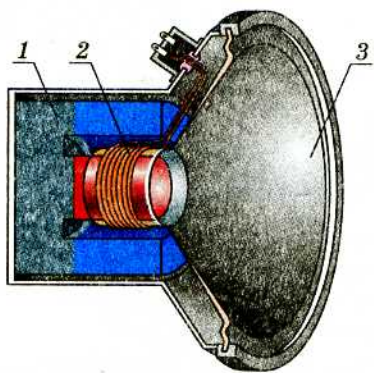


Рис. 29.3. Схема будови електродинамічного гучномовця:
1 — кільцевий Ш-подібний магніт, 2 — котушка; 3 — дифузор

прикріплений до котушки дифузор коливається зі звуковою частотою — гучномовець випромінює звукові хвилі. Отже, у гучномовці завдяки електричному струму, сила якого змінюється зі звуковою частотою, створюються механічні коливання, що спричиняють появу звуку.

! Підбиваємо підсумки

Гальванометри, амперметри і вольтметри, якими користуються на уроках фізики, — це вимірвальні прилади магнітоелектричної системи. Їхня дія ґрунтується на повертанні рамки зі струмом у магнітному полі постійного магніту.

На явищі втягування металевого осердя в зазор нерухомої котушки зі струмом базується дія вимірвальних приладів електромагнітної системи.

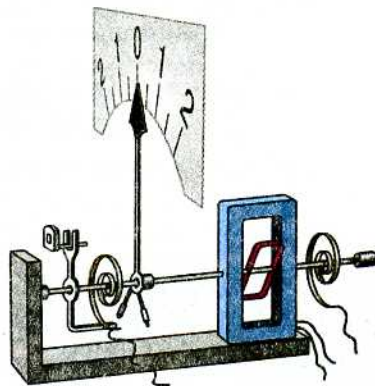
В електродинамічному гучномовці (динаміку) котушка, по якій тече змінний струм звукової частоти, коливається в магнітному полі нерухомого постійного магніту. Разом із котушкою коливається дифузор, який випромінює звукові хвилі.

? Контрольні запитання

1. Опишіть будову та принцип дії вимірвальних приладів магнітоелектричної системи.
2. Чи відрізняються будова та принцип дії амперметрів і вольтметрів? Якщо так, то чим?
3. Опишіть будову та принцип дії вимірвальних приладів електромагнітної системи.
4. Опишіть будову та принцип дії гучномовця.

✎ Вправа № 26

1. На затискачах вимірвальних приладів магнітоелектричної системи зазначено полярність («+» і «-»). Що відбудеться, якщо у разі вмикання приладу полярності не буде дотримано? Чому на затискачах приладів електромагнітної системи полярність не вказують?
2. Чому приєднання амперметра до кола майже не змінює силу струму в колі? Обґрунтуйте свою відповідь.
3. Чому при послідовному приєднанні вольтметра до кола сила струму в колі зменшується? Обґрунтуйте свою відповідь.
- 4*. На рисунку зображено вимірвальний прилад електродинамічної системи. Поясніть принцип його дії.



🔍 Експериментальне завдання

Виготовте модель гальванометра. Для цього з цупкого паперу склейте каркас котушки завдовжки 25–30 мм. Діаметр каркаса має бути таким, щоб усередину можна було легко помістити компас. На каркас намотайте 40–50 витків ізоляованого дроту. У котушку вставте компас — гальванометр готовий. Поясніть принцип його дії. Чи буде ваш прилад вимірювати силу струму або тільки реєструватиме його наявність? Використовуючи свій гальванометр, визначте знаки полюсів саморобного гальванічного елемента, що складається з мідного й залізного дрітків, кінці яких занурені в розчин оцту.

§ 30. ДОСЛІДИ ФАРАДЕЯ. ЯВИЩЕ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ІНДУКЦІЇ



Дослід Х. Ерстеда (див. рис. 26.1), яким започатковано теорію електромагнетизму, показав, що електричний струм створює магнітне поле. А чи можна здійснити зворотний процес, тобто за допомогою магнітного поля створити електричний струм? 29 серпня 1831 р. після понад 16 тисяч дослідів англійський фізик і хімік М. Фарадей (див. рис. 19.4) одержав електричний струм за допомогою магнітного поля постійного магніту. Про те, у чому полягали досліді Фарадея і яке значення мало його відкриття для розвитку фізики й техніки, ви дізнаєтеся з цього параграфа.



Повторюємо досліді Фарадея

Візьмемо котушку, помістимо всередину неї постійний магніт і з'єднаємо котушку з гальванометром (рис. 30.1, а). Виймаючи магніт з котушки, помітимо, що *під час руху* магніту стрілка гальванометра відхиляється ліворуч (рис. 30.1, б). Але як тільки рух магніту припиняється, стрілка приладу повертається на нульову позначку. Тепер уведемо магніт у котушку. Під час руху магніту стрілка гальванометра знову відхиляється, тільки в іншому напрямку — праворуч (рис. 30.1, в). Після припинення руху магніту стрілка так само повертається на нульову позначку. Таким чином, *електричний струм у котушці виникає тільки тоді, коли магніт рухається відносно котушки*. Слід зазначити, що не тільки рух магніту відносно нерухомої котушки викликає в останній електричний струм.

Явище виникнення електричного струму в замкненій котушці можна спостерігати також, якщо рухати саму котушку відносно нерухомого магніту або змінювати силу струму в іншій котушці, яка разом з досліджуваною надіта на спільне осердя (рис. 30.2). Переконаємося в цьому. Візьмемо котушки (котушку А і котушку В) і надінемо їх на спільне осердя. Котушку В через реостат приєднаємо до джерела струму, а котушку А замкнемо на гальванометр. Якщо тепер

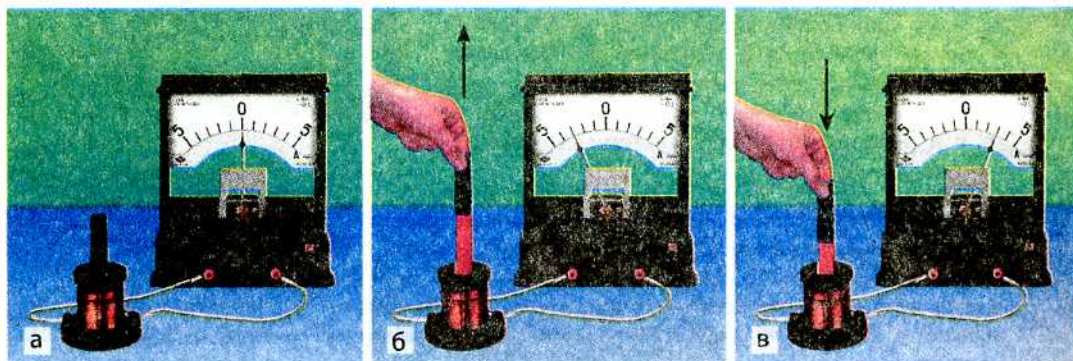


Рис. 30.1. Виникнення струму в котушці фіксується гальванометром: а — якщо магніт нерухомий, струм не виникає; б — якщо виводити магніт із котушки, стрілка відхиляється ліворуч; в — якщо магніт уводять в котушку, стрілка відхиляється праворуч

пересувати повзунок реостата, то в моменти збільшення і зменшення сили струму в котушці *B* через котушку *A* йде електричний струм. Стрілка гальванометра при збільшенні сили струму в котушці *B* відхиляється в один бік, а при зменшенні — в інший. Струм у котушці *A* виникатиме також у моменти замикання (або розмикання) кола котушки *B*.

Усі розглянуті досліди — це сучасний варіант тих, які протягом 10 років здійснював Майкл Фарадей, перш ніж дійти висновку: *електричний струм у замкненій котушці виникає тільки тоді, коли магнітне поле, що пронизує її, змінюється*. Цей струм було названо *індукційним*.

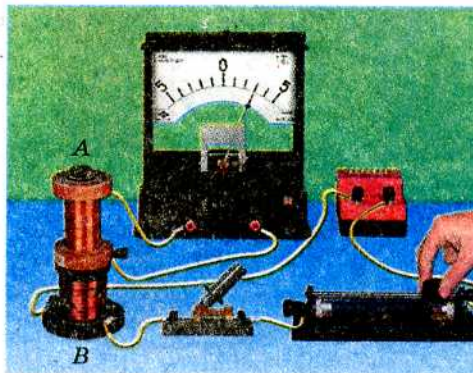


Рис. 30.2. Якщо розімкнути чи замкнути коло котушки *B* або змінити в ній силу струму, в котушці *A* виникне струм

2 З'ясуємо причину виникнення індукційного струму

Ви з'ясували, коли в замкненій котушці виникає індукційний струм; залишилося зрозуміти, що є причиною його виникнення.

Річ у тім, що *змінне магнітне поле завжди супроводжується появою у навколишньому просторі електричного поля*. Саме електричне поле, а не магнітне, діє на вільні заряджені частинки в котушці й надає їм напрямленого руху, створюючи таким чином індукційний струм.

Явище породження в просторі електричного поля змінним магнітним полем називають **явищем електромагнітної індукції**.

Отже, поява індукційного струму є наслідком явища електромагнітної індукції.

3 Знайомимося з промисловими джерелами електричної енергії

Явище електромагнітної індукції використовують у механічних джерелах електричного струму — *генераторах електричної енергії*, без яких неможливо уявити сучасну електроенергетику. У таких генераторах механічна енергія перетворюється на електричну.

Щоб зрозуміти принцип дії генератора, звернемося до досліду. Візьмемо рамку, що складається з кількох витків дроту, і обертатиме її в магнітному полі постійного магніту (рис. 30.3). У рамці виникне електричний струм, наявність якого доводить світіння лампи.

З'ясуємо причину виникнення струму. Під час обертання рамки кількість магнітних ліній, що її пронизують, то збільшується, то зменшується. Отже, магнітне поле, що пронизує рамку, постійно змінюється. Тому в рамці виникає індукційний струм (згадайте явище електромагнітної індукції).

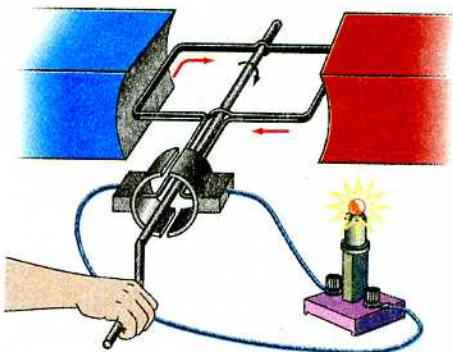


Рис. 30.3. Під час обертання рамки в магнітному полі в ній виникає індукційний струм

Сучасні генератори електричного струму мають практично таку саму будову, що й електродвигуни (див. § 28, п. 4). Але за принципом дії генератор — це електричний двигун «навпаки». Генератор, як і електродвигун, складається зі статора і ротора. Масивний нерухомий *статор* являє собою порожнистий циліндр, на внутрішній поверхні якого розміщений товстий мідний ізольований дріт — *обмотка статора*.

Усередині статора обертається *ротор*. Він, як і ротор електродвигуна, являє собою великий циліндр, у пази якого вкладено *обмотку*. До обмотки ротора через *колектор* подається напруга від джерела постійного

струму — *збуджувача*. Струм тече по обмотці ротора, створюючи навколо нього магнітне поле.

Під дією пари (на теплових і атомних електростанціях) або води, що падає з висоти (на гідроелектростанціях), ротор генератора починає швидко обертатися. Унаслідок цього магнітне поле, що пронизує обмотку статора, змінюється, і завдяки електромагнітній індукції в обмотці виникає електричний струм. Зазнавши низку перетворень, цей струм подається до споживача електричної енергії.

! Підбиваємо підсумки

У замкненому провідному контурі в разі зміни магнітного поля, яке пронизує цей контур, виникає електричний струм. Такий струм називають індукційним.

Причина виникнення індукційного струму полягає в тому, що змінне магнітне поле завжди супроводжується виникненням у навколишньому просторі електричного поля. Електричне поле діє на вільні заряджені частинки в провіднику й надає їм напрямленого руху — виникає індукційний струм.

Явище породження в просторі електричного поля змінним магнітним полем називають явищем електромагнітної індукції.

Явище електромагнітної індукції використовують у механічних джерелах електричного струму — генераторах електричної енергії (пристроях, в яких механічна енергія перетворюється на електричну).

? Контрольні запитання

1. Опишіть досліди М. Фарадея.
2. У чому полягає явище електромагнітної індукції?
3. Який струм називають індукційним?
4. Що є причиною виникнення індукційного струму?
5. Назвіть пристрої, робота яких ґрунтується на явищі електромагнітної індукції. Які перетворення енергії в них відбуваються?
6. Опишіть будову та принцип дії генераторів електричного струму.



Вправа № 27

1. Невелику котушку поступально (не повертаючи) пересувають між полюсами електромагніту (рис. 1). Чи виникає в котушці електричний струм? Відповідь обґрунтуйте.
2. Дві нерухомі котушки розташовані так, як показано на рис. 2. Гальванометр, підключений до однієї з котушок, реєструє наявність струму. За якої умови це можливо?
- 3*. До суцільного алюмінієвого кільця у пристрої, зображеному на рис. 3,* підносять магніт. Поясніть, чому кільце відштовхуватиметься від магніту. Як поводитиметься кільце, якщо від нього відсувати магніт? Що буде, якщо магніт підносити до алюмінієвого кільця з розрізом?

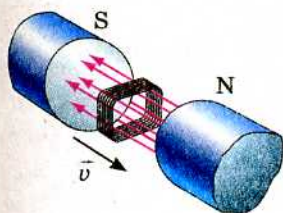


Рис. 1

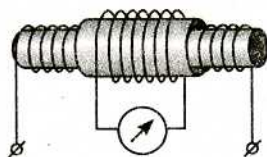


Рис. 2



Рис. 3



ФІЗИКА ТА ТЕХНІКА В УКРАЇНІ

Інститут магнетизму НАН України (Київ)

Тим із вас, хто цікавиться науковими дослідженнями, обов'язково слід довідатися про роботу Інституту магнетизму. Практика його діяльності спростовує загальновживану думку: наука робиться в Академії наук, а навчання — в університетах. Інститут магнетизму має тісні зв'язки з провідними вищими навчальними закладами України — Київським політехнічним університетом та Київським національним університетом. Студенти цих

закладів не тільки знайомляться із сучасним науковим обладнанням, але й виконують за його допомогою самостійні дослідження. Один із таких приладів — спектрометр ELEXIS E5000 (див. фото), призначений для детальних досліджень властивостей магнітних речовин.

Фахівці Інституту магнетизму спільно зі вченими Росії, Франції, Німеччини, США та інших країн вивчають властивості твердих тіл. Здобуті знання потім використовуються, зокрема, для створення більш компактних, зручних, швидкісних комп'ютерів, мобільних телефонів, плеєрів тощо. Наведемо лише один приклад. Ви вже знаєте, що електричний струм у всьому поперечному перерізі провідника є незмінним. Взагалі це правильно, проте вчені Інституту магнетизму винайшли умови, за яких це не так. При певних параметрах магнітного поля в металі спостерігається просторова періодична зміна структури струму. Тобто через певні частини однорідного (!) провідника тече струм більшої сили, ніж через інші. (Поміркуйте, де можна застосувати це явище.)

* Цей пристрій має назву «Кільця Ленца» на честь російського вченого Е. Х. Ленца (див. рис. 16.2), який сформулював загальне правило для визначення напрямку індукційного струму, — *правило Ленца*.

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ РОЗДІЛУ 3 «МАГНІТНЕ ПОЛЕ»

1. Вивчаючи цей розділ, ви довідалися, що спочатку людина навчилася використовувати *постійні магніти*; значно пізніше було створено *електромагніти*, які знайшли широке застосування.



2. Ви з'ясували, що навколо будь-якої рухомої зарядженої частинки, а отже, навколо провідника зі струмом існує *магнітне поле*.

3. Ви дізналися про *лінії магнітного поля* — умовні лінії, уздовж яких у магнітному полі установлюються маленькі магнітні стрілки, та з'ясували таке:

- *напрямок ліній магнітного поля збігається з напрямком, на який вказує північний полюс магнітної стрілки;*
- *напрямок ліній магнітного поля провідника зі струмом можна визначити за правилом свердлика або за правилом правої руки;*
- *лінії магнітного поля виходять із північного полюса магніту й входять у південний полюс;*
- *лінії магнітного поля завжди замкнені.*

4. Ви встановили, що на провідник зі струмом, розміщений у магнітному полі, діє певна сила, — *сила Ампера*.

СИЛА АМПЕРА

Діє на провідник зі струмом, який поміщено в магнітне поле

Напрямок визначається за **правилом лівої руки**: якщо ліву руку розташувати так, щоб лінії магнітного поля входили в долоню, а напрямок чотирьох витягнутих пальців збігався з напрямком струму в провіднику, то відігнутий на 90° великий палець укаже напрямок сили Ампера

Залежить:

- від магнітного поля
- розташування провідника відносно ліній магнітного поля;
- сили струму в провіднику;
- довжини провідника

ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ СИЛИ АМПЕРА

Електровимірні прилади

Електродвигуни

Гучномовці

5. Ви повторили досліди М. Фарадея та вивчили *явище електромагнітної індукції*.

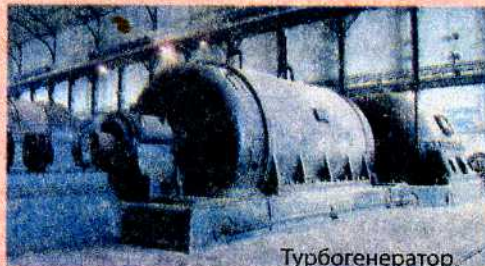
ЯВИЩЕ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОЇ ІНДУКЦІЇ

явище породження в просторі електричного поля змінним магнітним полем

ДОСЛІДИ ФАРАДЕЯ



ПРОМИСЛОВЕ ОДЕРЖАННЯ СТРУМУ



Турбогенератор

ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ ЗА РОЗДІЛОМ 3 «МАГНІТНЕ ПОЛЕ»

Завдання 1–7 містять тільки одну правильну відповідь.

1. (1 бал) Дослід Х. Ерстеда дозволяє довести, що:
 - а)** навколо провідника зі струмом існує магнітне поле;
 - б)** навколо планети Земля існує магнітне поле;
 - в)** два провідники зі струмом взаємодіють один з одним;
 - г)** змінне магнітне поле породжує електричне поле.
2. (1 бал) Ділянка поверхні магніту, де магнітна дія проявляється найсильніше, називається:
 - а)** вісь магніту; **б)** полюс магніту; **в)** статор; **г)** колектор.
3. (1 бал) Південний магнітний полюс стрілки компаса зазвичай вказує:
 - а)** на північний географічний полюс Землі;
 - б)** південний магнітний полюс Землі;
 - в)** південний географічний полюс Землі;
 - г)** екватор Землі.
4. (1 бал) Два провідники, які зображено на рис. 1:
 - а)** не взаємодіють;
 - б)** притягуються один до одного;
 - в)** відштовхуються один від одного;
 - г)** спочатку притягуються один до одного, а потім відштовхуються.

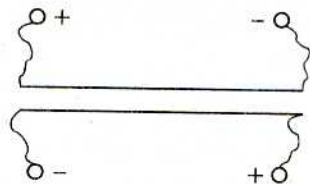


Рис. 1

5. (1 бал) Магнітне поле котушки зі струмом слабшає, якщо:
 - а)** усередину котушки ввести залізне осердя; **б)** збільшити кількість витків в обмотці; **в)** зменшити силу струму; **г)** збільшити силу струму.
6. (2 бали) У якому з випадків (рис. 2) напрямок ліній магнітного поля прямого провідника зі струмом зазначено правильно? (Позначка \odot показує, що струм напрямлений до нас, \oplus — від нас.)

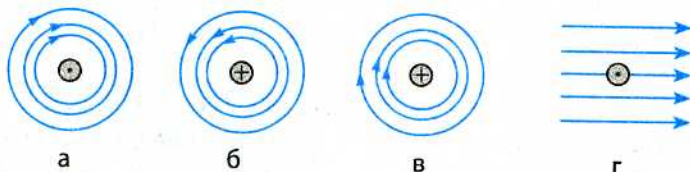


Рис. 2

7. (2 бали) У якому з випадків (рис. 3) напрямок сили Ампера зазначено правильно?

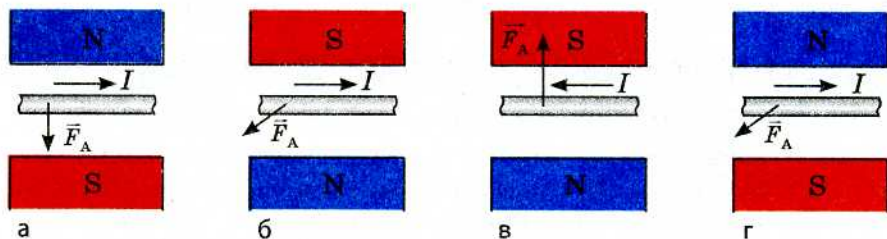


Рис. 3

8. (3 бали) Зерно, перед тим як подати на жорна млина, пропускають між полюсами сильного електромагніту. Для чого це роблять?
9. (3 бали) Магнітна стрілка встановилася в магнітному полі котушки зі струмом так, як показано на рис. 4. Визначте полюси джерела струму.

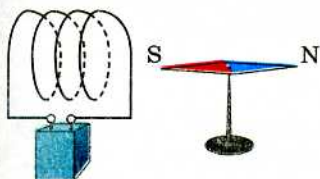


Рис. 4

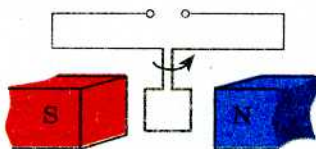


Рис. 5

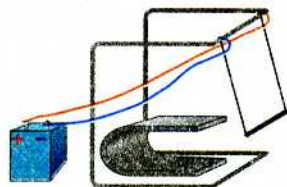


Рис. 6

10. (3 бали) На рис. 5 зображено рамку, що повертається в магнітному полі постійного магніту. Визначте полюси джерела струму, до якого підключена рамка.
11. (4 бали) Якщо до стрілки компаса піднести постійний магніт, вона відхилиться від напрямку «північ — південь». Чи відхилиться стрілка, якщо до неї піднести залізний брусок? мідний брусок?
12. (4 бали) На рис. 6 зображено провідник зі струмом, який розташовано в магнітному полі підковоподібного магніту. Визначте полюси магніту.
13. (5 балів) Визначте полюси електромагніту (рис. 7). Як зміниться підймальна сила електромагніту, якщо повзунок реостата пересунути ліворуч?
14. (5 балів) Як зміниться ціна поділки шкали вимірювального приладу магнітоелектричної системи, якщо скористатися спіральними пружинами втричі меншої жорсткості? Відповідь обґрунтуйте.

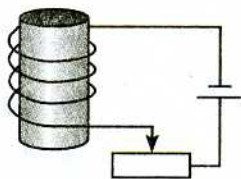


Рис. 7

Звірте ваші відповіді з наведеними в кінці підручника. Позначте завдання, які ви виконали правильно, і полічіть суму балів. Потім цю суму розділіть на три. Одержане число відповідатиме рівню ваших навчальних досягнень.

ВІД ЗІР ДО «ЛЕТЮЧИХ» ЖАБ, АБО НАВІЩО ПОТРІБНІ НАДПОТУЖНІ МАГНІТИ

У більшості людей магніти асоціюються з компасом. Інженери згадують ще про їх застосування в електродвигунах і генераторах електричного струму. Але всі ці конструкції вже давно відомі. Отже, подальше вивчення магнітних явищ є зайвим?

Не поспішайте з відповіддю, згадайте, наприклад, про потяги «без тертя». Рейками для таких потягів є магнітне поле. Два магніти, один із яких розміщений в опорах, а другий — у самому потязі, повернені один до одного однойменними полюсами, а отже, відштовхуються. Як результат — потяг ніби «летить» над дорогою. Про переваги такого технічного рішення докладно було розказано в *Енциклопедичній сторінці* в підручнику для 8-го класу.

Розглянемо ще кілька застосувань надпотужних магнітів. Але спершу визначимося, що називають надпотужними

магнітами. Для цього порівняємо магнітні поля різних об'єктів за таблицею, у якій наведено, у скільки разів поле даного об'єкта є сильнішим від магнітного поля Землі. Отже, магнітне поле Землі прийнято за одиницю. У деяких випадках навіть це поле, порівняно невелике, є шкідливим чинником, і вчені навчилися екранувати (знижувати) його в спеціально обладнаних приміщеннях — *магнітоекранираних кімнатах*. Найменше значення магнітного поля в такій кімнаті є у 10 мільйонів разів меншим, ніж поле Землі.

Як бачимо з таблиці, створено магніт, магнітне поле якого сильніше від магнітного поля Землі у 200 000 разів. Яке призначення таких потужних магнітів?

Насамперед фізикам потрібні магніти для утримання пучків заряджених частинок у прискорювачах. На рис. 1 зображено один із найбільших у світі прискорювачів. По гігантському кільцю



Рис. 1. Один із найбільших у світі прискорювачів заряджених частинок

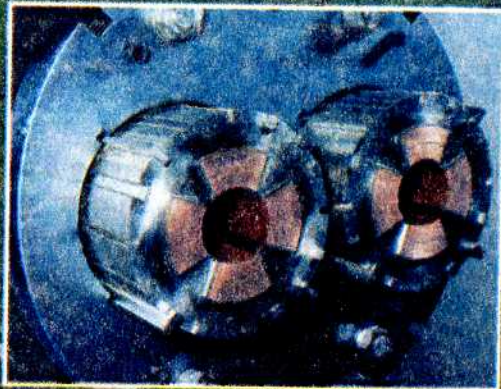


Рис. 2. Надпотужні магніти, які утримують заряджені частинки всередині прискорювача

Відносні величини магнітних полів

Джерело або ділянка, де вимірюється магнітне поле	Відносне значення
Поверхня Землі	1
Магнітоекранована кімната	10^{-10}
Шкільний лабораторний магніт	200
Середина сонячної плями	3000
Великий електромагніт	30 000
Надпотужний лабораторний магніт	200 000
Поверхня нейтронної зорі	10^{12}

діаметром кілька кілометрів рухаються заряджені частинки. Щоб вони «не вихлюпувалися» на стінки, й потрібні надпотужні магніти (рис. 2).

Широко відоме застосування надпотужних магнітів у медицині: за їх допомогою одержують зображення внутрішніх органів людини (рис. 3, 4). На відміну від діагностики за допомогою рентгенівських променів метод магнітного резонансу є значно безпечнішим.

Насамкінець наведемо ще один приклад застосування надпотужних магнітів. Інженери вже навчили «літати» важкі потяги, а чи можна спробувати літати людині або тваринам?

Виявляється, вся справа в матеріалах. У конструкції потяга для підсилення магнітного поля можна використати спеціальні матеріали, а от речовини, з яких складається живий організм, таких властивостей не мають. Не вживляти ж заради сумнівного задоволення у тіло «залізячки»! Та на шляху опанування левітації допомогли надпотужні магніти. З'ясувалося, що за наявності дуже сильних магнітних полів навіть слабого магнетизму живого організму достатньо для забезпечення потрібної сили відштовхування. Ученим удалося змусити «літати» жабу, помістивши її під час експерименту над надпотужним магнітом (рис. 5). За словами дослідників, після польоту мандрівниця почувалася нормально. Справа за малим. Залишилося збільшити магнітне поле в 10–100 разів — і людина пізнає п'янке відчуття польоту.



Рис. 3. Обладнання для дослідження внутрішніх органів людини за допомогою магнітного резонансу

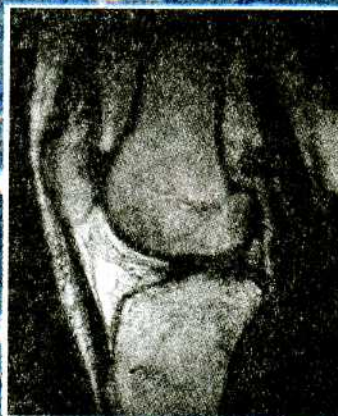


Рис. 4. Знімок суглоба, отриманий із використанням методу магнітного резонансу



Рис. 5. «Летюча» жаба

РОЗДІЛ 4. АТОМНЕ ЯДРО. ЯДЕРНА ЕНЕРГЕТИКА

§ 31. АТОМ І АТОМНЕ ЯДРО



Без сумніву, багато хто з вас восени 2008 р. чув про запуск найпотужнішої фізичної установки сучасності — великого адронного колайдера (рис. 31.1). Витрати на його створення були величезними: Німеччина, Франція, Японія мусили об'єднати свої зусилля, щоб побудувати це диво техніки. А почався процес вкладання «великих коштів» у фізику ще в 40-х рр. минулого століття, коли вчені винайшли способи розщеплення атомного ядра.

Про те, навіщо розщеплювати атомні ядра і чому уряди різних країн у великих обсягах фінансують досліджування першооснови матерії, ви дізнаєтеся з цього параграфа.



Дізнаємося про ядерну фізику

Історія фізичної науки налічує майже 2500 років, але тільки минулого століття фізики перетворилися з поважних викладачів та кабінетних учених на консультантів урядів. Кількість фахівців-фізиків збільшилася в сотні разів, були створені величезні заводи для виробництва фізичних приладів і обладнання. І сталося це передусім завдяки успіхам ядерної фізики.

Ядерна фізика — це розділ фізики, який вивчає структуру і властивості атомного ядра, процеси, що в ньому відбуваються, та механізми його перетворень.

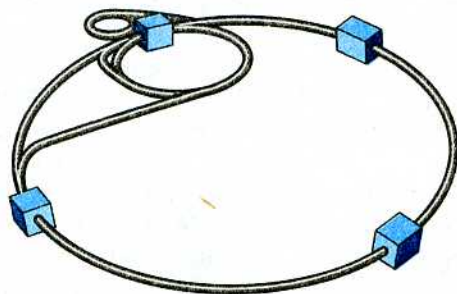


Рис. 31.1. Найбільша на сьогодні дослідницька установка — прискорювач заряджених частинок, перший запуск якого відбувся в 2008 р.: а — вигляд зсередини; б — схематичне зображення. Вражають розміри цього прискорювача: елементарні частинки розганяються у величезному кільці завдовжки 26 км

Результати вивчення ядра втілилися сьогодні в низку так званих *радіаційних технологій*, які застосовують у медицині, геології, сільському господарстві та в інших галузях. Проте найважливіша сфера застосування досягнень ядерної фізики — *отримання енергії*. За короткий проміжок часу в розвинутих країнах світу частка електричної енергії, що одержують за рахунок розщеплення атомних ядер, стала дорівнювати десяткам відсотків, а в деяких країнах, у тому числі в Україні, сягнула половини загального видобутку енергії.

Стрімкий розвиток ядерної енергетики пов'язаний з високою ефективністю ядерного «палива». Наведемо такий приклад. Для забезпечення безперервної роботи протягом доби звичайної електричної лампи потужністю 100 Вт необхідно понад 8,6 МДж енергії. Щоб отримати цю енергію на гідроелектростанції, необхідно, щоб на гідротурбінну надійшло приблизно 120 т води, щоб отримати її на тепловій електростанції, треба спалити десь 1 кг вугілля. А щоб ту саму енергію одержати на АЕС, слід взяти порошок урану масою лише 0,3 мг і розщепити ядра її атомів. Погодьтеся, що різниця вражаюча.

На думку фізиків, коли будуть розгадані таємниці будови мікрочастинок, які входять до складу ядра, відкриються ще більші можливості. Саме тому уряди різних держав активно підтримують фундаментальні наукові дослідження в галузі ядерної фізики.

2 Згадуємо будову атома та атомного ядра

Перед тим як розпочати безпосереднє вивчення матеріалу розділу, згадаємо будову атома. Відомо, що атом складається з ядра та електронної хмари навколо. Ядро, у свою чергу, містить частинки двох видів: *протони*, які мають позитивний електричний заряд, і *нейтрони* — частинки, які не мають заряду*. Маса протона приблизно дорівнює масі нейтрона і майже у 2000 разів більша за масу електрона. Протони й нейтрони, що входять до складу ядра атома, називають *нуклонами*. Сумарну кількість протонів і нейтронів в атомі називають *нуклонним* (або *масовим*) *числом* та позначають символом *A*.

Атом є електронейтральним, тобто сумарний заряд протонів, що містяться у ядрі, дорівнює сумарному заряду електронів, що обертаються навколо ядра. А оскільки заряд протона за модулем дорівнює заряду електрона, то зрозуміло, що *в атомі кількість протонів дорівнює кількості електронів*.

Кількість протонів у ядрі називають *протонним* (або *зарядовим*) *числом* та позначають символом *Z*. Його легко визначити, скориставшись Періодичною системою хімічних елементів Д. І. Менделєєва. *Порядковий номер елемента у періодичній таблиці відповідає кількості протонів у ядрі (протонному числу)*.

* Уперше припущення про протонно-нейтронну будову ядра атома висловив у 1932 р. радянський учений (уродженець Полтавщини) *Д. Д. Іваненко*. У тому ж році на основі даного припущення німецький учений *В. Гейзенберг* побудував теорію атомного ядра.

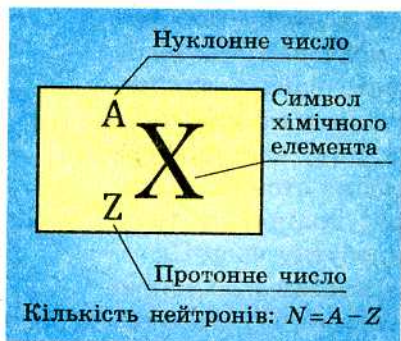


Рис. 31.2. Визначення кількості протонів і нейтронів у ядрі



Рис. 31.3. Ернест Резерфорд (1871–1937) — видатний англійський фізик. Заклав основи вчення про радіоактивність і будову атома, здійснив першу ядерну реакцію, передбачив існування нейтрона. Лауреат Нобелівської премії (1908 р.), член усіх академій наук світу

Знаючи протонне (Z) і нуклонне (A) числа ядра хімічного елемента, можна визначити кількість нейтронів (N) у ядрі цього елемента: $N = A - Z$.

При позначенні ядра атома хімічного елемента перед символом елемента вверху вказується нуклонне число A , а внизу — протонне число Z (рис. 31.2). Наприклад, ${}^{27}_{13}\text{Al}$ — ядро Алюмінію, що має нуклонне число 27 та протонне число 13. Цей запис означає, що в ядрі атома Алюмінію міститься 27 нуклонів: 13 протонів і $27 - 13 = 14$ нейтронів.

Слід звернути увагу на те, що ядра атомів того самого хімічного елемента можуть відрізнятися кількістю нуклонів. З курсу хімії ви знаєте, що різновиди даного хімічного елемента, атоми яких мають у своїх ядрах однакову кількість протонів, але різну кількість нейтронів, називають **ізотопами** даного хімічного елемента. Наприклад, ядро Торію-234 (${}^{234}_{90}\text{Th}$) містить 234 нуклони: 90 протонів і 144 нейтрони, а ядро Торію-230 містить 230 нуклонів: 90 протонів і 140 нейтронів.

Хоча в ядрі зосереджена майже вся маса атома, розмір ядра у порівнянні з атомом надзвичайно малий (приблизно розмір атома становить 10^{-10} м, а ядра — 10^{-15} м). Уявіть, що вдалося збільшити атом до розміру великого стадіону. Розмір ядра такого атома теж зросте. Наскільки? Обчислення показують, що в цьому випадку діаметр ядра атома приблизно дорівнюватиме розміру мурахи, що повзе по траві стадіону.

3 Дізнаємося про класичний дослід Резерфорда

Факти про будову атома, перелічені вище, вам уже відомі з курсів хімії та природознавства. Але як саме вчені дізналися про будову атома, адже він має такі малі розміри?

У 1908–1911 рр. дослідченим дослідником Гансом Гейгером (1882–1945) та молодим аспірантом Ернестом Марсденом (1889–1970) під керівництвом англійського фізика Ернеста Резерфорда (рис. 31.3) було здійснено серію дослідів, схему яких наведено на рис. 31.4. Для дослідів учені використали речовину, із якої з великою швидкістю вилітали позитивно заряджені частинки (так звані α (альфа)-частинки). Помістивши цю речовину в свинцевий контейнер з невеликим отво-



Рис. 31.4. Схема дослід з вивчення будови атома

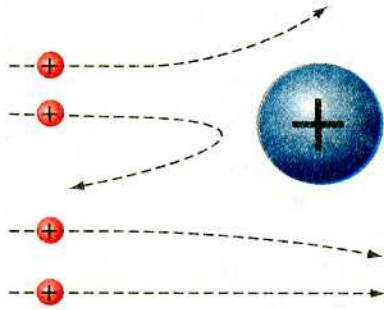


Рис. 31.5. Траєкторії α-частинок, що пролітають на різних відстанях від ядра. Чим ближче до ядра підходить α-частинка, тим більша сила відштовхування, що діє на неї, і тим більше частинка відхиляється від своєї початкової траєкторії

ром, отримали вузький пучок α-частинок, який спрямовували на тонку золоту фольгу. Пристрій містив також екран, покритий спеціальною речовиною. Якщо в такий екран улучала α-частинка, то в місці її влучання відбувався слабкий спалах світла. Учені спостерігали спалахи за допомогою мікроскопа і реєстрували попадання в екран кожної α-частинки.

У результаті дослідів було з'ясовано, що переважна більшість α-частинок проходить крізь золоту фольгу, причому деякі з них відхиляються від початкової траєкторії. А от приблизно одна з 20 000 частинок відскакує назад, начебто натикається на якусь перешкоду у фользі (рис. 31.5). Останнє виявилось найбільш вражаючим для вчених.

Зрозуміло, що Е. Резерфорд не міг бачити внутрішню структуру атома, тому він залучив логіку. Якщо позитивний заряд і маса рівномірно розподілені по всьому об'єму атома (а саме таке уявлення про атом існувало на той час у фізиці), то всі α-частинки повинні пролетіти крізь фольгу, практично не відхиляючись, адже їхня енергія колосальна. Приблизно так буде, якщо з гармати стріляти впритул у копицю сіна або кидати м'ячик через павутиння.

Якщо ж позитивний заряд і маса зосереджені у невеликому об'ємі всередині атома, а навколишнім простором є «порожнеча», то бомбардування α-частинками нагадуватиме кидки здалеку тенісним м'ячиком у металеву банку, закріплену на жердині. Тільки в мізерній кількості випадків м'ячик відскочить від банки й повернеться до того, хто кидав, у решті ж спроб він пролетить повз ціль. Як ви бачите, другий варіант значно більше підходить для пояснення результатів експерименту.

Логічні розмірковування й дані експериментів практично збігаються, якщо вважати, що вся маса атома зосереджена у важкому позитивно зарядженому ядрі, розмір якого у 100 000 разів менший, ніж розмір самого атома.

Тому після зазначених дослідів Резерфорд у 1911 р. висунув *ядерну модель будови атома*. Згідно з цією моделлю атом складається з позитивно зарядженого ядра, оточеного негативно зарядженими частинками —

електронами. При цьому ядро займає лише невеликий об'єм усередині атома, але в ньому зосереджена мало не вся маса атома. Електронна оболонка займає майже весь об'єм атома, але її маса є незначною порівняно з масою атома.

Дізнаємося про сильну взаємодію

Вам уже відомо, що електрони, маючи негативний заряд, утримуються навколо позитивного ядра завдяки електромагнітній взаємодії. Але яким чином у складі одного ядра і на дуже близькій відстані один від одного утримуються протони, адже однойменно заряджені частинки відштовхуються?

Фізики з'ясували, що всі частинки всередині ядра притягуються одна до одної, причому байдуже які: протон до протона, протон до нейтрона, нейтрон до нейтрона. І це відбувається завдяки взаємодії іншого виду, яка набагато сильніша, ніж електромагнітне відштовхування протонів. Саме тому *взаємодію нуклонів називають сильною взаємодією*.

Підбиваємо підсумки

Сьогодні суспільна значущість ядерної фізики полягає в можливості забезпечити людство високоефективними джерелами енергії на тривалий період.

У результаті дослідів, проведених під керівництвом Е. Резерфорда, було висунуто ядерну модель будови атома, згідно з якою атом містить позитивно заряджене важке ядро, що займає невеликий об'єм усередині атома, і негативно заряджені електрони. При цьому електронна хмара займає майже весь об'єм атома, але її маса є незначною порівняно з масою атома.

Ядра атомів складаються з нуклонів — протонів і нейтронів. Кількість протонів у ядрі атома даного елемента дорівнює порядковому номеру цього елемента в періодичній системі хімічних елементів. Різновиди даного хімічного елемента, атоми яких мають у своїх ядрах однакову кількість протонів, але різну кількість нейтронів, називають ізотопами цього хімічного елемента. У ядрі нуклони втримуються разом завдяки сильній взаємодії, яка значно сильніша за електромагнітну.

При позначенні ядра атома будь-якого хімічного елемента перед символом елемента вказують значення нуклонного числа A та протонного числа Z .

Контрольні запитання

1. Чому уряди різних країн активно підтримують дослідження в галузі ядерної фізики? Наведіть приклад на підтвердження того, що ядерне паливо має високу енергетичну ефективність.
2. З яких частинок складається атом? атомне ядро?
3. Як визначити кількість протонів у ядрі? кількість нейтронів? Наведіть приклад.
4. Опишіть дослід, після якого було висунуто ядерну модель будови атома.
5. Опишіть ядерну модель будови атома.
6. Який тип взаємодії забезпечує утримання нуклонів у ядрі атома?

Вправа № 28

1. У ядрі атома Бору міститься 5 протонів і 6 нейтронів. Скільки електронів у даному атомі?
2. У ядрі атома деякого хімічного елемента міститься 31 протон. Визначте цей елемент.

3. Скільки протонів і скільки нейтронів міститься в ядрі атома Аргону, якщо його масове число дорівнює 40?
4. Серед перелічених символів хімічних елементів зазначте той, що відповідає атому з найбільшою кількістю електронів: Ca, Cu, Ge, Sb, P.
5. Чим відрізняються ядра ізотопів Урану: ${}_{92}^{238}\text{U}$ і ${}_{92}^{235}\text{U}$?

§ 32. РАДІОАКТИВНЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ

? У ХХІ ст. навряд чи знайдеться людина, яка хоча б раз у житті не робила рентгенівський знімок. Наприкінці ж ХІХ ст. зображення кисті людини з видимою структурою кісток (рис. 32.1) обійшло шпальти газет усього світу й стало справжньою сенсацією для фізиків. Учені розпочали дослідження рентгенівських променів та пошук їхніх джерел. Одним із цих учених був французький фізик А. Беккерель (рис. 32.2). Якими несподіваними висновками закінчилися його дослідження, ви дізнаєтесь із цього параграфа.

1 Дізнаємося про історію відкриття радіоактивності

З відкриття рентгенівських променів почалася історія відкриття радіоактивності, й допоміг у цьому випадок.

Поштовхом до досліджень стало припущення вчених, що рентгенівські промені можуть виникати під час короткочасного світіння деяких речовин, опромінених перед тим сонячним світлом*. До таких речовин належать, наприклад, деякі солі Урану. Одною з них і скористався А. Беккерель, щоб перевірити зазначене припущення.

Учений узяв крупинки уранової солі, поклав їх на загорнуту в чорний папір фотопластинку** й на кілька годин виніс увесь пристрій на яскраве сонячне світло. Після проявлення на фотопластинці з'явилися темні плями саме в тих місцях, де лежала уранова сіль. Тобто з'ясувалося, що уранова сіль дійсно випускає випромінювання, яке проходить крізь чорний папір і діє на фотопластинку.

* Таке світіння називають *флуоресценцією*.

** Відмінність фотопластинки від фотоплівки полягає в тому, що в першому випадку чутливу до випромінювання речовину наносять на скло, а в другому — на пластик.



Рис. 32.1. Перший рентгенівський знімок кисті руки людини



Рис. 32.2. Анрі Антуан Беккерель (1852–1908) — французький фізик, який у 1896 р. відкрив радіоактивне випромінювання солей Урану



Рис. 32.3. Марія Склодовська-Кюрі (1867–1934) — французький фізик і хімік, лауреат двох Нобелівських премій. Такої честі за всю історію були удостоєні тільки три дослідники



Рис. 32.4. П'єр Кюрі (1859–1906) — французький фізик, лауреат Нобелівської премії. Подружжя Кюрі зробило значний внесок у вивчення радіоактивності

Беккерель вирішив продовжити свої дослідження й підготував дослід, який депо відрізнявся від попереднього. Проте вченому завадила похмура погода, і він з жалем поклав готову до дослідження фотопластинку з урановою сіллю та мідним хрестом між ним у шухляду стола. Через кілька днів, так і не дочекавшись появи сонця, учений вирішив на всяк випадок проявити фотопластинку. Результат виявився несподіваним: на пластинці з'явився контур хреста. Тож сонячне світло тут ні до чого і сіть Урану сама, без впливу зовнішніх факторів, випускає невидиме випромінювання!

Пізніше таке випромінювання назвуть *радіоактивним випромінюванням*; здатність деяких речовин до радіоактивного випромінювання — *радіоактивністю*; хімічні елементи, ядра яких мають таку здатність, — *радіоактивними елементами* або *радіонуклідами*.

2 Вивчаємо радіоактивні елементи

«Чи тільки Уран випускає “промені Беккереля”?» — саме з пошуку відповіді на це запитання почала свою роботу з вивчення радіоактивності *М. Склодовська-Кюрі* (рис. 32.3).

Ретельно перевіривши на радіоактивність практично всі відомі на той час елементи, вона виявила, що радіоактивні властивості має також Торій. Крім того, *М. Склодовська-Кюрі* та її чоловік *П. Кюрі* (рис. 32.4) відкрили й нові радіоактивні елементи, зокрема Полоній і Радій. Зазначені елементи були виділені з природних мінералів, тому їх назвали *природними радіоактивними елементами*.

Згодом навчилися одержувати *штучні радіоактивні ізотопи*. Зараз майже для кожного елемента (навіть не радіоактивного) одержано кілька радіоактивних ізотопів.

3 Поділяємо радіоактивне випромінювання на складові

Під час проведення дослідів з вивчення природи радіоактивного випромінювання було з'ясовано, що воно не є однорідним. На рис. 32.5 зображено схему одного з таких дослідів. У свинцевому контейнері (1) з невеликим отвором розміщували

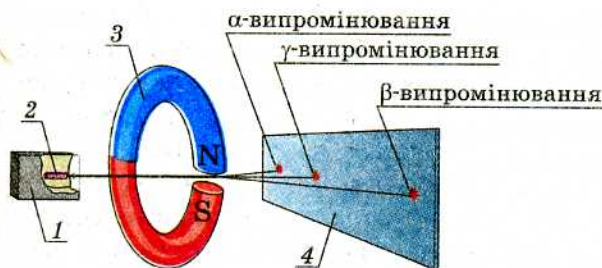


Рис. 32.5. Схема дослідження природи радіоактивного випромінювання: 1 — свинцевий контейнер; 2 — радіоактивна речовина; 3 — постійний магніт; 4 — фотоплівка

радіоактивну речовину (2). Пучок радіоактивного випромінювання, що виходив з отвору, спочатку потрапляв у сильне магнітне поле постійного магніту (3), а потім на фотоплівку (4), розміщену напроти отвору.

На фотоплівці після проявлення було виявлено три темні плями. Це означає, що у магнітному полі радіоактивне випромінювання розділилося на три складові. Їх було названо α (альфа)-випромінювання, β (бета)-випромінювання та γ (гамма)-випромінювання.

4 З'ясовуємо природу α -випромінювання

Найбільший внесок у вивчення α -випромінювання зробив Е. Резерфорд (див. рис. 31.3). Учений одним із перших з'ясував, що α -випромінювання — це потік позитивно заряджених частинок (так званих α -частинок). Було також з'ясовано, що модуль заряду α -частинки вдвічі більший за модуль заряду електрона.

Щоб встановити природу α -частинок, Резерфорд використав спеціальний пристрій (рис. 32.6). Основний елемент пристрою — колба А, заповнена радоном — газом, який випромінює α -частинки. Колбу А було виготовлено з високоякісного і дуже тонкого скла (його товщина приблизно дорівнювала діаметру людської волосини). Скло з такими характеристиками, з одного боку, надавало можливість α -частинкам «протиснутись» у колбу В, а з іншого — було надійною перешкодою для молекул газу радону. Зробивши аналіз речовини, яка з часом накопичилася у колбі В, Резерфорд з'ясував, що це гелій. Знаючи, що до колби В могли потрапити тільки α -частинки і що вони мають позитивний заряд, учений зробив висновок, що α -частинки — це позитивні йони Гелію.

Після того як була запропонована ядерна модель будови атома, стало зрозумілим, що α -частинки — це ядра атомів Гелію.

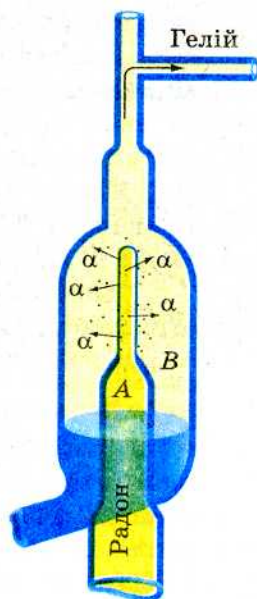


Рис. 32.6. Схема елемента пристрою, за допомогою якого Е. Резерфорд встановив природу α -частинок

5 З'ясовуємо природу β -випромінювання

β -складова радіоактивного випромінювання, як і α -складова, відхиляється магнітним полем, але у протилежний бік. З цього можна зробити висновок, що β -випромінювання — теж потік заряджених частинок (так званих β -частинок), але таких, що мають негативний заряд. Для ідентифікації цих частинок були визначені їхні заряд і маса. Виявилося, що β -випромінювання — *це потік електронів, які летять із величезною швидкістю (наближеною до швидкості світла).*

Важливо, що в результаті експериментів із β -променями було отримано дані для побудови квантової механіки, на якій ґрунтуються сучасні уявлення про структуру речовини.

6 Дізнаємося про зв'язок між світлом і γ -випромінюванням

Вивчення γ -випромінювання показало, що γ -, рентгенівське, ультрафіолетове, інфрачервоне випромінювання й видиме світло — «близькі родичі»: усі ці види випромінювання — *електромагнітні хвилі*. До того ж виявилося, що ці види випромінювання можна розглядати як потік нейтральних частинок, які рухаються у просторі зі швидкістю світла. Однак енергія частинок кожного типу випромінювання відрізняється за значенням. Найменшу енергію мають частинки інфрачервоного випромінювання; енергія частинок видимого світла дещо більша. Частинки ультрафіолетового випромінювання мають досить велику енергію і можуть навіть почати руйнувати поверхню, на яку падають. Тому, наприклад, опромінювати шкіру ультрафіолетом можна тільки протягом невеликого часу.

Набагато більшу енергію, ніж частинки ультрафіолетового світла, мають частинки рентгенівського випромінювання. Відповідно більші його проникаюча та руйнівна властивості. Тому рентгенівські обстеження, які тривають усього кілька секунд, не рекомендують проводити частіше одного разу на рік.

γ -випромінювання за рахунок великої енергії може вільно проникати не тільки крізь людське тіло, але й крізь метали. Цією

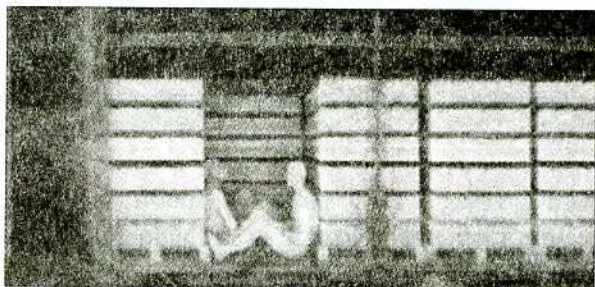
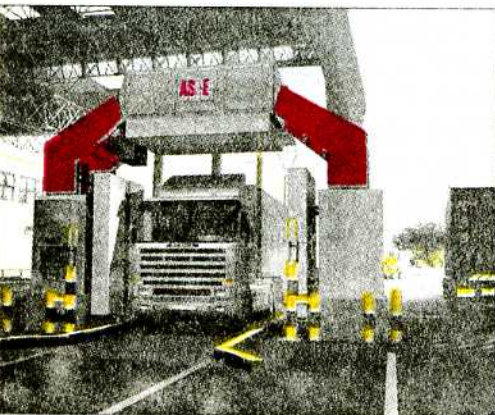


Рис. 32.7. Використання γ -випромінювання у пристрої, за допомогою якого дізнаються про вміст контейнерів: а — зовнішній вигляд пристрою; б — зображення на моніторі вмісту контейнера

обставиною скористалися конструктори, створивши пристрої для просвічування, наприклад, автомобілів (рис. 32.7). Такі пристрої використовують прикордонники та митники для виявлення наркотиків, вибухівки та ін.

7 Захищаємося від радіоактивного випромінювання

У більшості людей слово «радіація» асоціюється з небезпекою. І це, безумовно, правильно. Радіоактивне випромінювання не фіксується органами чуття людини, проте відомо, що воно може призвести до згубних наслідків. Від шкідливого впливу радіації можна захиститися, побудувавши на шляху випромінювання перешкоду.

Простіше за все захиститися від α - і β -випромінювань. Хоча α - і β -частинки летять із величезною швидкістю, їх потік легко зупиняє навіть тонка перешкода. Як показали експерименти, достатньо тонкого аркуша паперу (0,1 мм), щоб зупинити α -частинки; β -випромінювання повністю поглинається алюмінієвою пластинкою завтовшки 1 мм.

Найбільш небезпечним є γ -випромінювання. Як впливає з рис. 32.7, воно проникає крізь доволі товсті шари матеріалів. В окремих випадках для захисту від γ -випромінювання необхідні бетонні стіни завтовшки кілька метрів.

! Підбиваємо підсумки

Радіоактивне випромінювання було відкрито у 1896 р. французьким фізиком А. Беккерелем. Значний внесок у його вивчення зробили також Е. Резерфорд, М. Склодовська-Кюрі, П. Кюрі та ін.

Уран, Торій, Радій і низка інших елементів мають природну радіоактивність. Учені навчилися створювати й штучні радіоактивні ізотопи.

Розрізняють кілька видів радіоактивного випромінювання, серед яких α -, β - і γ -випромінювання. α -випромінювання — це потік ядер Гелію, які виникають унаслідок розпаду ядер радіоактивного елемента й вилітають із них з величезною швидкістю; β -випромінювання — це потік електронів, що летять зі швидкістю, близькою до швидкості світла; γ -випромінювання — це електромагнітні хвилі (і водночас потік нейтральних частинок), які поширюються зі швидкістю світла.

Для запобігання шкідливому впливу різних видів радіоактивного випромінювання на організми використовують захисні перешкоди різної товщини, виготовлені з різних матеріалів.

? Контрольні запитання

1. Як було відкрите явище радіоактивності?
2. Який внесок зробили П. Кюрі і М. Склодовська-Кюрі у вивчення радіоактивного випромінювання?
3. Наведіть приклади природних радіоактивних елементів.
4. Опишіть дослід із поділу радіоактивного випромінювання на складові.
5. Які види радіоактивного випромінювання ви знаєте?
6. Якою є фізична природа α -частинок? β -частинок? γ -випромінювання?
7. Опишіть дослід Е. Резерфорда зі з'ясування природи α -випромінювання.
8. Як захиститися від радіоактивного випромінювання?

§ 33. АКТИВНІСТЬ РАДІОНУКЛІДА. ПРАВИЛА ЗМІЩЕННЯ



Алхіміки Середньовіччя мріяли про філософський камінь, що перетворював би всі речовини на золото. «Сучасна алхімія» — так назве Е. Резерфорд свою книгу про перетворення атомних ядер. Про те, як змінюється ядро під час радіоактивного випромінювання, за якими законами відбувається цей процес, ітиметься в даному параграфі.

**Визначаємо радіоактивність. Вивчаємо правила зміщення**

Розглядаючи в § 32 радіоактивне випромінювання, ми залишили поза увагою важливе питання: що при цьому відбувається з атомами? Адже під час радіоактивного випромінювання від атомів відриваються чималі «шматки», отже, атоми мають змінитися. Провівши низку експериментів, учені довели, що *радіоактивне випромінювання є наслідком розпаду ядер атомів*.

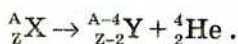
Ядра атомів радіоактивних елементів здатні *довільно* (без жодних причин) розпадатися. Експериментальні дослідження показали, що на радіоактивний розпад *не впливають* зміна тиску й температури, дія магнітного та електричного полів, хімічні реакції, зменшення чи збільшення освітленості тощо. Розпад ядра супроводжується випромінюванням α -, β - чи інших частинок; само ж ядро, як правило, перетворюється на ядро атома іншого елемента.

Радіоактивність — це здатність ядер деяких хімічних елементів довільно перетворюватися на ядра інших елементів з випромінюванням мікрочастинок.

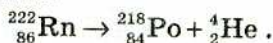
Залежно від того, які частинки випромінюються під час радіоактивного розпаду, розрізняють α -розпад, β -розпад та інші види розпадів. Встановлено, що радіоактивні перетворення ядер підкорюються так званим *правилам зміщення*, які вперше сформулював англійський учений *Фредерік Содді* (1877–1956).

Правила зміщення

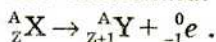
1. Під час α -розпаду нуклонне число ядра атома зменшується на 4, а протонне — на 2, тому *утворюється ядро елемента, порядковий номер якого в періодичній таблиці на 2 одиниці менший, ніж порядковий номер вихідного елемента*:



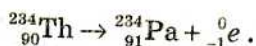
Наприклад, відомо, що Радон (${}^{222}_{86}\text{Rn}$) є α -радіоактивним (випускає ядра атома Гелію). Тому в результаті α -розпаду Радону утворюється елемент, який має порядковий номер 84 (розташований на 2 клітинки ліворуч від Радону), — це Полоній:



2. Під час β -розпаду нуклонне число ядра атома залишається незмінним, а протонне збільшується на 1, тому *утворюється ядро елемента, порядковий номер якого в періодичній таблиці на 1 одиницю більший, ніж порядковий номер вихідного елемента*:



Наприклад, Торій (${}^{234}_{90}\text{Th}$) є β -радіоактивним елементом (випромінює електрони). Тому під час β -розпаду Торію утворюється Протактиній — елемент із порядковим номером 91 (розташований на 1 клітинку праворуч від Торію):



Оскільки в результаті радіоактивних перетворень народжуються нові елементи, учені назвали цей процес (за аналогією з хімією ядерними реакціями).

2 Дізнаємося про період піврозпаду

Уявіть собі певну кількість радіоактивної речовини. Це може бути, скажімо, шматок солі Урану або газ радон, поміщений у скляну колбу. Чи можна дізнатися, яке саме ядро у речовині, що ми розглядаємо, розпадеться першим? Яке буде наступним? А яке ядро виявиться «довгожителем» і розпадеться останнім? Фізики стверджують, що дізнатися про це неможливо: розпад того чи іншого ядра радіонукліда — подія випадкова. У той же час поведінка радіоактивної речовини в цілому підлягає чітко визначеній закономірності.

Цю закономірність можна проілюструвати за допомогою такого прикладу. Якщо взяти закриту скляну колбу, що містить певну кількість радону, виявиться, що приблизно за 57 с кількість радону в колбі зменшиться вдвічі. Ще через 57 с з решти залишиться теж половина і т. д. Тому природно, що інтервал часу 57 с був названий *періодом піврозпаду* Радону.

Період піврозпаду — це фізична величина, що дорівнює часу, протягом якого розпадається половина наявної кількості ядер даного радіонукліда.

Період піврозпаду зазвичай позначають символом T . *Одиниця періоду піврозпаду в СІ — секунда (с).*

У кожного радіоактивного ізотопу свій період піврозпаду. Наприклад, період піврозпаду Урану-238 дорівнює 4,5 млрд років, Радію-226 — 1600 років.

Для характеристики радіоактивного розпаду використовують величину, яку називають **сталю радіоактивного розпаду радіонукліда** (див. таблицю) і позначають символом λ . Стала радіоактивного розпаду пов'язана з періодом піврозпаду співвідношенням: $\lambda = \frac{0,69}{T}$. *Одиниця сталої радіоактивного розпаду в СІ — $\frac{1}{\text{с}}$.*

Сталі радіоактивного розпаду деяких радіонуклідів

Радіонуклід	Стала радіоактивного розпаду $\lambda, \frac{1}{\text{с}}$
Іод-131	$9,98 \cdot 10^{-7}$
Кобальт-60	$4,15 \cdot 10^{-9}$
Плутоній-239	$9,01 \cdot 10^{-13}$
Радій-226	$1,37 \cdot 10^{-11}$
Радон-220	$1,2 \cdot 10^{-2}$
Уран-235	$3,14 \cdot 10^{-17}$
Цезій-137	$7,28 \cdot 10^{-10}$

3 Даємо визначення активності радіонуклідного зразка

З практичної точки зору, важливою характеристикою процесу радіоактивного розпаду є швидкість, з якою розпадається той чи інший радіонуклід.

Фізична величина, яка чисельно дорівнює кількості розпадів, що відбуваються в певному радіонуклідному зразку за одиницю часу, називають **активністю радіонуклідного зразка**.

Активність радіонуклідного зразка позначають символом A . Одиницею активності в СІ є **бекерель (Бк)**. 1 Бк — це активність такого зразка, в якому за 1 с відбувається 1 акт розпаду. Але 1 Бк — це дуже мала активність, тому використовують позасистемну одиницю активності — **кюрі (Ки)**: $1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$.

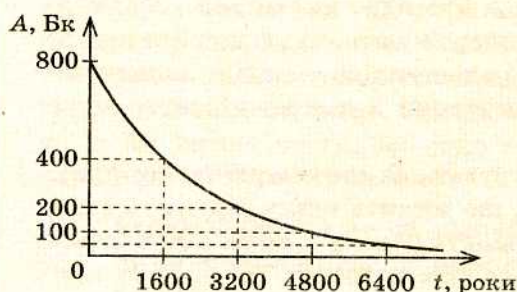


Рис. 33.1. Графік залежності активності Радію від часу. Період піврозпаду Радію становить 1600 років

Якщо на даний момент часу в зразку міститься деяка кількість N атомів радіонукліда, то активність A даного радіонуклідного зразка можна обчислити за формулою:

$$A = \lambda N,$$

де λ — стала радіоактивного розпаду радіонукліда.

Це ж співвідношення можна записати і з використанням періоду піврозпаду:

$$A = \frac{0,69}{T} N.$$

З плином часу кількість ядер у радіонуклідному зразку, які не розпалися, зменшується, а отже, зменшується й активність зразка (рис. 33.1).

4 Дізнаємося про радіоактивні ряди

Алхіміки Середньовіччя мріяли про перетворення всіх речовин на золото, тож виходить, що після експериментів Е. Резерфорда й Ф. Содді їхня мрія здійснилася? Насправді — ні. Учені з'ясували, що вихідне (як говорять фізики — *материнське*) ядро атома радіоактивного елемента з плином часу зазнає цілої низки перетворень. А саме: ядро атома елемента A_1 перетворюється на ядро атома елемента A_2 , потім на ядро атома елемента A_3 і т. д., причому в цьому ланцюжку не може бути випадкових «гостей», скажімо, ядра атома елемента B . Сукупність усіх ізотопів, які виникають у результаті низки послідовних радіоактивних перетворень даного материнського елемента, називають *радіоактивним рядом*. Один із ланцюжків перетворень (ряд Урану-238) показано на рис. 33.2. Пізніше було виявлено, що існують *чотири радіоактивні ряди*, які об'єднують усі відомі в природі радіоактивні елементи.

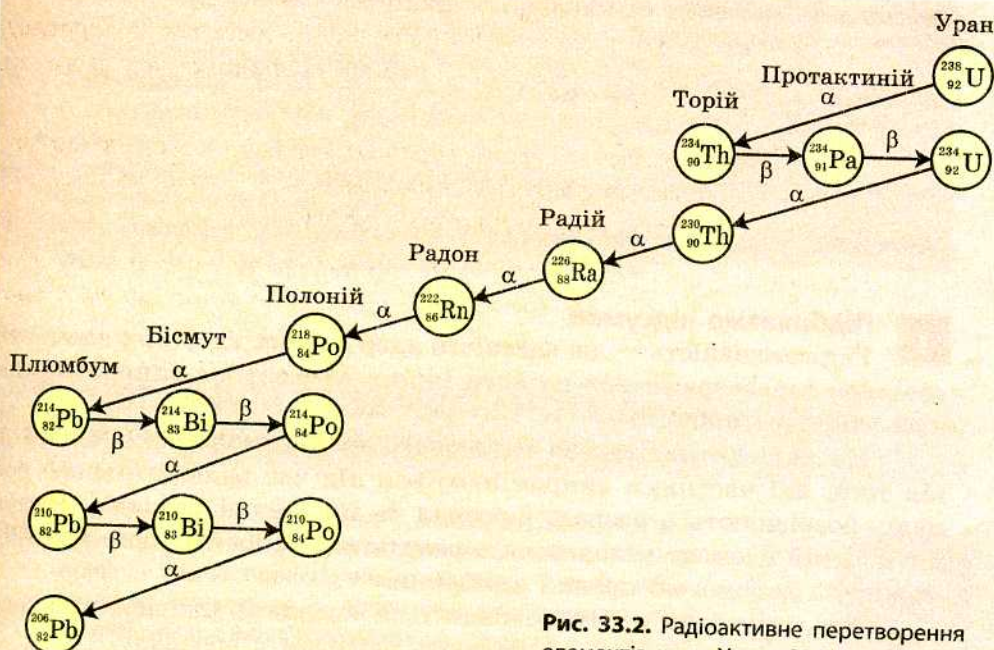


Рис. 33.2. Радіоактивне перетворення елементів ряду Урану-238

Зрозуміло, що в природних радіоактивних рядах немає штучних радіоактивних елементів.

5 Учимося розв'язувати задачі

Задача. Визначте масу Радію-226, що міститься в радіонуклідному зразку, якщо активність Радію становить 5 Кі.

Дано:

$$A = 5 \text{ Кі} = 18,5 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$$

$$\lambda = 1,37 \cdot 10^{-11} \frac{1}{\text{с}}$$

$$M = 226 \frac{\text{г}}{\text{моль}} =$$

$$= 226 \cdot 10^{-3} \frac{\text{кг}}{\text{моль}}$$

$$N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \frac{1}{\text{моль}}$$

$m = ?$

Аналіз фізичної проблеми, пошук математичної моделі

Для розв'язання задачі скористаємося формулою активності: $A = \lambda N$. Сталу радіоактивного розпаду λ знайдемо з таблиці. Знаючи активність, знайдемо кількість N атомів Радію, що містяться в радіонуклідному зразку.

Як відомо з курсу хімії, $N = \nu N_A$, де ν — кількість речовини, N_A — число Авогадро. Визначивши кількість речовини та скориставшись формулою $\nu = \frac{m}{M}$, де M — молярна маса Радію, знайдемо масу m Радію.

Розв'язання

Активність зразка дорівнює: $A = \lambda N$.

Оскільки $N = \nu N_A$, а $\nu = \frac{m}{M}$, то $N = \frac{m}{M} \cdot N_A$.

Підставимо вираз для N у формулу активності:

$$A = \frac{\lambda m N_A}{M}. \text{ Звідси } m = \frac{AM}{\lambda N_A}.$$

Визначимо значення шуканої величини:

$$[m] = \frac{\text{Бк} \cdot \frac{\text{кг}}{\text{моль}}}{\frac{1}{\text{с}} \cdot \frac{1}{\text{моль}}} = \frac{1}{\text{с}} \cdot \frac{\text{кг}}{1} = \text{кг}; \quad \{m\} = \frac{18,5 \cdot 10^{10} \cdot 226 \cdot 10^{-3}}{1,37 \cdot 10^{-11} \cdot 6,02 \cdot 10^{23}} = 5,07 \cdot 10^{-3};$$

$$m = 5,07 \cdot 10^{-3} \text{ кг} = 5,07 \text{ г}.$$

Відповідь: у радіоактивному зразку міститься 5,07 г Радію.

Підбиваємо підсумки

Радіоактивність — це здатність ядер деяких хімічних елементів довільно перетворюватися на ядра інших елементів з випромінюванням мікрочастинок.

На радіоактивність не впливають зовнішні фактори. Залежно від того, які частинки випромінюються під час радіоактивного розпаду, розрізняють α -розпад, β -розпад та інші види розпадів. Визначити, який елемент утвориться в результаті радіоактивного розпаду, можна за допомогою правил зміщення.

Час, протягом якого розпадається половина наявної кількості ядер даного радіонукліда, називають періодом піврозпаду.

Фізична величина, яка чисельно дорівнює кількості розпадів, що відбуваються в певному радіонуклідному зразку за одиницю часу, називають активністю радіонуклідного зразка. Активність A радіонукліда розраховують за формулою: $A = \lambda N$, де N — кількість атомів радіонукліда в зразку на даний момент часу; λ — стала розпаду радіонукліда. Одиницею активності в СІ є бекерель (Бк).

Сукупність усіх ізотопів, які виникають у результаті низки послідовних радіоактивних перетворень даного материнського елемента, називають радіоактивним рядом. Виявлено чотири радіоактивні ряди, що об'єднують усі відомі в природі радіоактивні елементи.

Контрольні запитання

1. Наведіть означення радіоактивності.
2. Що відбувається з ядром атома під час випромінювання α -частинки? β -частинки?
3. Що таке період піврозпаду?
4. Як період піврозпаду пов'язаний зі сталою розпаду?
5. Що таке активність радіонуклідного зразка?
6. У яких одиницях вимірюють активність? Як вони пов'язані?
7. Як активність радіонукліда пов'язана зі сталою його розпаду?
8. Чи змінюється з часом активність радіонукліда? Якщо змінюється, то чому і як?



Вправа № 29

1. Під час природного радіоактивного розпаду Радію ($^{226}_{88}\text{Ra}$) з ядра випромінюється α -частинка. На ядро якого елемента перетворюється при цьому ядро атома Радію? Запишіть рівняння реакції.
2. Під час природного радіоактивного розпаду Протактинію ($^{234}_{91}\text{Pa}$) з його ядра випускається β -частинка. На ядро якого елемента перетворюється при цьому ядро атома Протактинію? Запишіть рівняння реакції.
3. Скориставшись рис. 33.2, запишіть кілька ядерних реакцій, характерних для радіоактивного ряду Урану-238.

4. Є однакова кількість ядер Урану, Радію та Радону. Період піврозпаду Урану становить 4,5 млрд років, Радію — 1600 років, Радону — 57 с. Активність якого радіонукліда на даний момент часу найбільша? Поясніть свою відповідь.
5. У радіоактивному зразку міститься $2 \cdot 10^{20}$ атомів йоду-131. Визначте, скільки ядер йоду розпадеться протягом години. Активність зразка протягом цього часу вважати постійною.
6. На даний момент часу у радіоактивному зразку міститься 0,05 моля Плутонію-239. Визначте активність Плутонію в цьому зразку.
7. У радіоактивному зразку міститься 0,20 г Урану-235. Визначте активність Урану в цьому зразку. Активність зразка вважайте постійною.

§ 34. ПОГЛИНУТА ТА ЕКВІВАЛЕНТНА ДОЗИ ЙОНІЗУЮЧОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ

? З попередніх параграфів цього розділу ви дізналися про деякі пристрої, що допомогли вченим зрозуміти загальну природу певних процесів у ядерній фізиці. Із цього параграфа ви дізнаєтеся, за допомогою яких приладів можна вимірювати вміст радіоактивних речовин у харчових продуктах, рівень радіації надворі й у шкільному класі.

1 Даємо визначення поглинутої дози йонізуючого випромінювання

Радіоактивні α -, β -, γ -випромінювання чинять значний вплив на живі організми. Потрапляючи в ту чи іншу речовину, радіоактивне випромінювання передає їй енергію. У результаті поглинання цієї енергії деякі атоми і молекули речовини йонізуються, унаслідок чого змінюється їхня хімічна активність. Життєдіяльність будь-якого організму забезпечується хімічними реакціями, що відбуваються в його клітинах, тому радіоактивне опромінення призводить до порушень функцій майже всіх органів.

Чим більшою є поглинута речовиною енергія випромінювання, тим більший вплив цього випромінювання на речовину.

Поглинута доза йонізуючого випромінювання — це фізична величина, яка чисельно дорівнює енергії йонізуючого випромінювання, поглинутій речовиною одиничної маси.

Поглинуту дозу йонізуючого випромінювання позначають символом D і визначають за формулою:

$$D = \frac{W}{m},$$

де W — енергія йонізуючого випромінювання, передана речовині масою m .



Рис. 34.1. Люкс Гарольд Грей (1905–1965) — англійський фізик, працював над проблемами, пов'язаними з впливом опромінювання на біологічні системи, визначив одиницю поглинутої дози випромінювання

Одиниця поглинутої дози йонізуючого випромінювання в СІ — **грей** ($1 \text{ Гр} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$). Свою назву ця одиниця одержала на честь англійського фізика *Л. Грея* (рис. 34.1).

1 Гр — це така поглинута доза йонізуючого випромінювання, за якої речовині масою 1 кг передається енергія йонізуючого випромінювання, що дорівнює 1 Дж.

На практиці часто використовують позасистемну одиницю поглинутої дози — **рад** (її назва походить від англійської аббревіатури: *rad* — *radiation absorbed dose* — поглинута доза радіації). Ці одиниці пов'язані між собою співвідношенням: 1 грей = 100 рад.

2 Визначаємо еквівалентну дозу йонізуючого випромінювання

Біологічний вплив різних видів випромінювання на живі організми є неоднаковим при однаковій поглинутій дозі. Наприклад, за однакової енергії α -випромінювання є значно безпечнішим, ніж β - або γ -випромінювання. З огляду на зазначене вчені ввели спеціальну фізичну величину для характеристики біологічного впливу поглинутої дози — **еквівалентну дозу йонізуючого випромінювання**. Її позначають символом H (іноді використовують $D_{\text{екв}}$).

Еквівалентна доза йонізуючого випромінювання дорівнює поглинутій дозі D , помноженій на коефіцієнт якості K :

$$H = K \cdot D.$$

Коефіцієнт якості K є неоднаковим для різних випромінювань (див. таблицю). Одиниця еквівалентної дози йонізуючого випромінювання в СІ — **зиверт** (Зв). Цю одиницю названо на честь шведського вченого *Р.-М. Зіверта* (рис. 34.2). Існує також позасистемна одиниця — **бер**: 1 бер = 0,01 Зв.

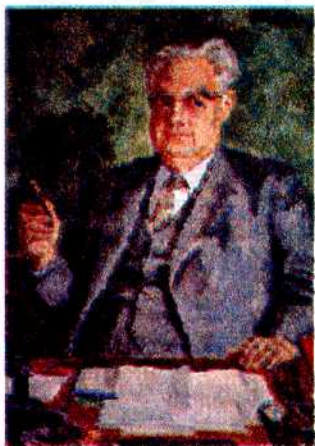


Рис. 34.2. Рольф-Максими-ліан Зіверт (1896–1966) — шведський учений. Працював у галузі медичної фізики, вивчав вплив радіації на біологічні системи

3 Дізнаємося про експозиційну дозу йонізуючого випромінювання

Фізична дія будь-якого йонізуючого випромінювання на речовину пов'язана передусім з йонізацією атомів та молекул. Тому крім поглинутої дози, що характеризує енергію випромінювання, існує фізична величина, яка визначається йонізаційною дією випромінювання. Цю величину називають **експозиційною дозою йонізуючого випромінювання**.

Експозиційна доза йонізуючого випромінювання ($D_{\text{експ}}$) визначається зарядом йонів (того чи іншого знака), що виникають під дією випромінювання в 1 кг сухого повітря:

$$D_{\text{експ}} = \frac{q}{m},$$

де q — заряд йонів, що виникають під дією випромінювання в сухому повітрі масою m .

У СІ експозиційну дозу йонізуючого випромінювання вимірюють у **кулонах на кілограм** ($\frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$).

$1 \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$ — це експозиційна доза йонізуючого випромінювання, за якої сумарний заряд усіх йонів одного знака, що утворилися в 1 кг сухого повітря, дорівнює 1 Кл.

На практиці частіше використовують позасистемну одиницю експозиційної дози — **рентген (Р)**, названу так на честь німецького фізика В. Рентгена (рис. 34.3): $1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$.

4 Вивчаємо потужність дози йонізуючого випромінювання

Зрозуміло, що доза йонізуючого випромінювання залежить від часу опромінення: чим більший час опромінення, тим більшою є доза випромінювання. Фізики кажуть, що доза випромінювання накопчується з часом.

Відношення дози йонізуючого випромінювання (D) до часу опромінення (t) називають потужністю дози (P_D) йонізуючого випромінювання:

$$P_D = \frac{D}{t}.$$

Одиниця потужності поглинутої дози йонізуючого випромінювання — **грей на секунду** ($\frac{\text{Гр}}{\text{с}}$); одиниця потужності експозиційної дози йонізуючого випромінювання — **рентген на секунду** ($\frac{\text{Р}}{\text{с}}$); одиниця потужності еквівалентної дози йонізуючого випромінювання — **зиверт на секунду** ($\frac{\text{Зв}}{\text{с}}$).

5 Знайомимося з особливостями ушкоджень організмів унаслідок радіації

Дослідження показали, що ушкодження організмів, зумовлені впливом радіації, мають низку особливостей.

По-перше, глибокі порушення життєзабезпечувальних функцій організму викликає навіть невелика кількість поглинутої енергії. Пояснюється це тим, що енергія випромінювання вду-

Коефіцієнти якості деяких видів йонізуючого випромінювання

Вид випромінювання	Коефіцієнт якості (K)
α -випромінювання	20
β -випромінювання	1
γ -випромінювання	1
Нейтрони	5–10
Протони	5



Рис. 34.3. Вільгельм Конрад Рентген (1845–1923) — німецький фізик-експериментатор. За відкриття променів, що згодом були названі його ім'ям, у 1901 р. Рентгену першому серед фізиків присудили Нобелівську премію

чає в особливо чутливу «мішень» — клітину. А найбільш чутливими до радіації є ті клітини, що швидко діляться. Так, першим відчуває дію радіоактивного випромінювання кістковий мозок, унаслідок чого порушується процес кровотворення.

По-друге, різні типи організмів мають різну чутливість до того чи іншого радіоактивного випромінювання. Найстійкішими, наприклад, є одноклітинні.

По-третє, наслідки впливу однакової поглинутої дози випромінювання залежать від віку організму.

Перелічені вище особливості стосуються *зовнішнього опромінення*. Але для вищих тварин і людини є небезпечним й *внутрішнє опромінення*, адже радіонукліди в організм можуть потрапити, наприклад, з їжею. Підвищена небезпека внутрішнього опромінення зумовлена кількома причинами.

По-перше, деякі радіонукліди здатні вибірково накопичуватися в окремих органах. Наприклад, 30 % йоду накопичуються в щитовидній залозі, маса якої становить лише 0,03 % маси тіла людини. Радіоактивний йод, таким чином, усю свою енергію віддає невеликому об'єму тканини.

По-друге, внутрішнє опромінення є тривалим: радіонуклід, який потрапив в організм, не відразу виводиться з нього, а зазнає низки радіоактивних перетворень усередині організму. Радіоактивне випромінювання, яке виникає при цьому, чинить руйнівну дію, йонізуючи молекули й тим самим змінюючи їхню біохімічну активність.

6 Вивчаємо конструкцію та принцип дії йонізаційного дозиметра

Для вимірювання дози йонізуючого випромінювання та її потужності використовують *дозиметри*. Основною складовою будь-якого дозиметра є *детектор* — пристрій, що слугує для реєстрації йонізуючого випромінювання. Залежно від типу детектора розрізняють йонізаційний, люмінесцентний та інші види дозиметрів (рис. 34.4). Так, у йонізаційних дозиметрах детектором є *лічильник Гейгера-Мюллера*, дія якого ґрунтується на властивості радіоактивного випромінювання значно збільшувати провідність газів.

Датчик лічильника Гейгера-Мюллера являє собою скляний циліндр, який зазвичай заповнюють розрідженим інертним газом (рис. 34.5). Стінки циліндра вкриті металевою плівкою, що є катодом. Усередині циліндра натягнуто металевий дріт — анод. Між дротом і стінками циліндра існує сильне електричне поле.

Коли радіоактивне випромінювання потрапляє всередину циліндра, відбувається йонізація атомів газу. Вільні електрони та йони, що виникають унаслідок йонізації, розганяються електричним полем і після ударів об нейтральні атоми розбивають їх на електрони та йони. У результаті в об'ємі циліндра кількість електронів та йонів лавиноподібно зростає. Під дією електричного поля електрони спрямовуються до дроту — через коло проходить імпульс струму, який підсилюється й передається на *приймач*. Якщо приймачем є, наприклад, динамік, то з приладу лунає характерне клацання: чим сильніше радіоактивне випромінювання, тим



Рис. 34.4. Деякі види дозиметрів:
а — йонізаційний; б — люмінесцентний

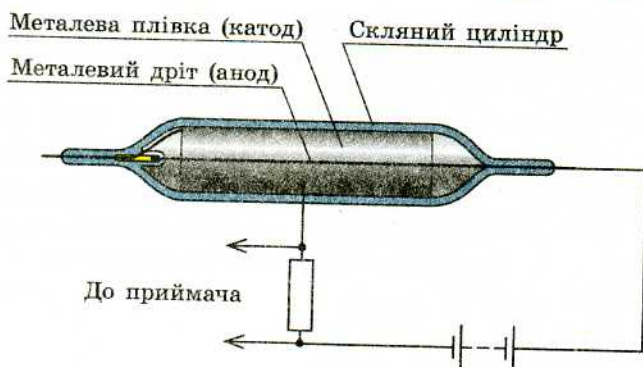


Рис. 34.5. Принципова схема лічильника Гейгера-Мюллера

частіше клацання. Зазвичай приймачем слугує цифровий вимірювальний пристрій. У такому випадку на дисплеї дозиметра з'являється числове значення дози йонізуючого випромінювання.

Підбиваємо підсумки

Фізичну величину, яка чисельно дорівнює енергії W йонізуючого випромінювання, поглинутій речовиною одиничної маси m , називають поглинутою дозою йонізуючого випромінювання D . Поглинуту дозу вимірюють у греях та розраховують за формулою $D = \frac{W}{m}$.

Біологічний вплив йонізуючого випромінювання на організми залежить не тільки від поглинутої дози, але й від особливостей самого випромінювання. Характеристика цього впливу одержала назву еквівалентної дози йонізуючого випромінювання (H): $H = K \cdot D$, де K — коефіцієнт якості; D — поглинута доза. Вимірюється еквівалентна доза випромінювання в зивертах.

Чим триваліший час опромінення, тим більшою є доза йонізуючого випромінювання. Відношення дози D йонізуючого випромінювання до часу t опромінення називають потужністю дози P_D йонізуючого випромінювання:

$$P_D = \frac{D}{t}.$$

Для вимірювання дози йонізуючого випромінювання та її потужності використовують дозиметри.

Контрольні запитання

1. У чому виявляється біологічна дія радіації на живі організми?
2. Дайте визначення поглинутої дози йонізуючого випромінювання. У яких одиницях її вимірюють?
3. Як обчислюють еквівалентну дозу йонізуючого випромінювання? У яких одиницях її вимірюють?
4. Як визначають експозиційну дозу йонізуючого випромінювання? У яких одиницях її вимірюють?
5. Що називають потужністю дози йонізуючого випромінювання?
6. Чим зумовлена підвищена небезпека радіонуклідів, що потрапили всередину організму?
7. Розкажіть про будову та принцип дії йонізаційного дозиметра.



Вправа № 30

1. Потужність поглинутої дози випромінювання для співробітника лабораторії становить $2 \cdot 10^{-9}$ Гр/с. Яку поглинуту дозу отримає співробітник протягом години?
2. При внутрішньому опроміненні кожний грам живої тканини поглинув 10^8 α -частинок. Визначте еквівалентну дозу опромінення, якщо енергія кожної α -частинки дорівнює $8,3 \cdot 10^{-13}$ Дж.
3. Яку поглинуту дозу йонізуючого випромінювання отримає особа, яка перебуває поблизу джерела γ -випромінювання протягом 1 год, якщо потужність потоку випромінювання становить $25 \cdot 10^{-9}$ Гр/с?

§ 35*. ОТРИМАННЯ ТА ВИКОРИСТАННЯ РАДІОАКТИВНИХ ІЗОТОПІВ

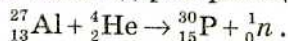


Усього років двадцять тому жителі України могли ласувати полуницею лише кілька днів на рік. До того ж, полежавши кілька годин на сонці, полуниця втрачала всю свою привабливість. Сьогодні у великих магазинах можна купити полуницю й пізньої осені, і взимку, і навесні. А ще згадайте, що на упаковках одноразових шприців можна прочитати: «Стерильно». З'ясуємо, як пов'язані наведені приклади один з одним та з темою параграфа.



Дізнаємося про відкриття штучних радіоактивних ізотопів

Перший штучний радіоактивний ізотоп був отриманий на початку 1934 р. *Фредеріком і Ірен Жоліо-Кюрі* (рис. 35.1). Опромінюючи α -частинками шматок алюмінію, вони спостерігали випромінювання нейтронів, отже, відбувалася така ядерна реакція:



Отриманий ізотоп Фосфору, по-перше, був радіоактивним, по-друге, такого ізотопу в природі не існувало. Таким чином, подружжя Жоліо-Кюрі відкрило *штучний радіоактивний елемент*.

Італійський фізик *Е. Фермі* (рис. 35.2) уклавав своє ім'я кількома видатними відкриттями. Однак свою найвищу нагороду — Нобелівську премію — Е. Фермі одержав саме за відкриття штучної радіоактивності, спричиненої бомбардуванням речовини повільними нейтронами.

Улітку 1934 р. Е. Фермі розпочав дослідження штучної радіоактивності, що виникає при поглинанні ядрами нейтронів. Він був одним із перших, хто зрозумів, що саме *нейтрон є зручним інструментом для одержання нових*

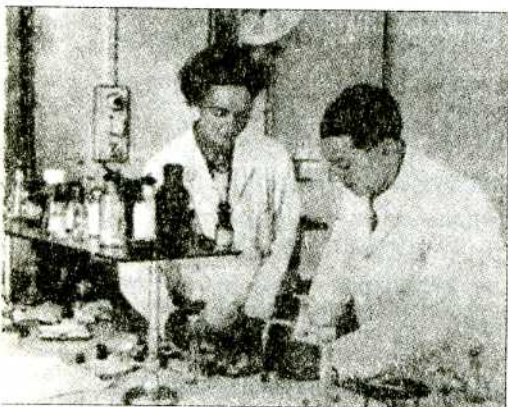


Рис. 35.1. Ірен Жоліо-Кюрі (1897–1956), Фредерік Жоліо-Кюрі (1900–1958) — французькі фізики та радіохіміки. За синтез нових радіоактивних елементів отримали Нобелівську премію з хімії (1935 р.)

радіоактивних ізотопів. Справді, навіть «ломитись» усередину ядра за допомогою заряджених α -частинок, адже їх ядро відштовхує. Набагато легше проникнути в ядро нейтрону, оскільки він є електронейтральним. За короткий час групі вчених під керівництвом Фермі вдалося створити півсотні нових радіоактивних ізотопів.

Метод опромінювання нейтронами широко застосовується в промисловості для отримання радіоактивних ізотопів.

2 Дізнаємося про застосування радіоактивних ізотопів у медицині

Радіоактивні ізотопи широко використовують у медичних дослідженнях як *індикатори*. Річ у тім, що організм людини має властивість збирати у своїх тканинах певні хімічні речовини. Відомо, наприклад, що щитовидна залоза накопичує у своїй тканині йод, кісткова тканина — фосфор, кальцій і стронцій, печінка — деякі барвники тощо. При цьому якщо орган працює нормально, то процес накопичування речовин характеризується певною швидкістю; у разі ж порушення функції органу спостерігається відхилення від даного режиму. Наприклад, у випадку базедової хвороби активність щитовидної залози різко зростає і в результаті йод накопичується в ній занадто швидко. Під час деяких інших захворювань щитовидна залоза, навпаки, функціонує слабо і накопичення йоду в ній відбувається занадто повільно.

За цими особливостями накопичення йоду зручно стежити за допомогою його γ -радіоактивного ізотопу. Хімічні властивості радіоактивного і стабільного (тобто не радіоактивного) йоду не відрізняються, тому радіоактивний Йод-131 буде накопичуватися щитовидною залозою за тими самими законами, що і його стабільний «побратим». Якщо щитовидна залоза в нормі, то через певний час після введення в організм радіоактивного йоду γ -випромінювання від нього матиме певну оптимальну інтенсивність. Радіоактивні атоми ніби посилають сигнал: «Ми тут, усе гаразд!». Але якщо щитовидна залоза функціонує з відхиленням від норми, то інтенсивність γ -випромінювання буде аномально високою або, навпаки, низькою, і сигнал «звучатиме» тривожно: «Ми тут, але нас забагато (замало)!». Аналогічний метод застосовують для досліджування обміну речовин в організмі, функцій нирок, печінки та ін.

Радіоактивні ізотопи (Йод-131, Фосфор-32, Аурум-198 та ін.) використовують для виявлення в різних органах злоякісних пухлин. Діагностика базується на тому, що клітини пухлини і клітини здорової тканини по-різному накопичують радіоактивні препарати. Відомо, наприклад, що для пухлини властиве прискорене накопичення радіоактивного Фосфору.



Рис. 35.2. Енріко Фермі (1901–1954) — італійський фізик, лауреат Нобелівської премії (1938 р.). Один із засновників ядерної фізики. Під його керівництвом збудовано перший ядерний реактор, у якому вперше (1942 р.) було здійснено ланцюгову ядерну реакцію

Зрозуміло, що під час використання *ядерно-фізичного методу діагностики* необхідно ретельно дозувати кількість радіоактивного препарату, щоб внутрішнє опромінення спричиняло мінімально негативний вплив на організм людини.

3 Застосовуємо γ -випромінювання в техніці

γ -випромінювання застосовують також у техніці, наприклад у пристроях для автоматичного контролю рівня заповненості закритих ємностей.

Принцип дії цих пристроїв такий. На одну зі стінок ємності з речовиною спрямовують пучок γ -променів, а з протилежного боку вимірюють інтенсивність випромінювання. У місцях, де ємність заповнена, випромінювання буде слабшим, ніж у місцях, де є порожнини. Подібні пристрої використовують також для контролю витікання рідин, вимірювання густини, для лічби предметів та для інших потреб.

Особливе значення в техніці мають *гамма-дефектоскопи*. За допомогою цих приладів перевіряють, наприклад, якість зварених з'єднань. Якщо приварили петлі до воріт й майстер припустився браку, то через деякий час петлі відвалюються. Це, звичайно, неприємно, але ситуацію можна виправити. А як бути, якщо брак був допущений під час зварювання елементів конструкції моста або ядерного реактора? Неминуча трагедія. Завдяки тому що γ -промені по-різному поглинаються масивною сталлю і сталлю з порожнинами, гамма-дефектоскоп «бачить» тріщини всередині металу, а отже, виявляє брак ще на стадії виготовлення.

4 Знищуємо мікробів за допомогою радіації

За певних умов радіаційне випромінювання може бути й корисним. Наведемо приклади. Відомо, що певна доза опромінення вбиває організми. Але ж не всі організми корисні людині. Так, медики постійно працюють над тим, щоб позбутися хвороботворних мікробів. Згадайте: у лікарнях миють підлогу зі спеціальними розчинами, опромінюють приміщення ультрафіолетом, обробляють медичний інструмент. Такі процедури називають дезінфекцією та стерилізацією.

Величезні можливості γ -випромінювання дозволили поставити процес стерилізації на промислову основу. Наприклад, зараз наймасовішу медичну продукцію: шприци, системи переливання крові тощо — виготовляють у вигляді виробів одноразового застосування, які перед відправленням споживачеві ретельно стерилізують із використанням γ -випромінювання.

Центри стерилізації являють собою справжні промислові підприємства (рис. 35.3). По-перше, вони автоматизовані, щоб звести до мінімуму контакт персоналу з радіаційним випромінюванням. По-друге, їхні виробничі потужності дозволяють протягом робочого дня обробляти мільйони виробів. По-третє, і це найважливіше, доза випромінювання для стерилізації кожного конкретного виробу ретельно обґрунтована відповідно до рекомендацій Міжнародної організації охорони здоров'я. Як джерело

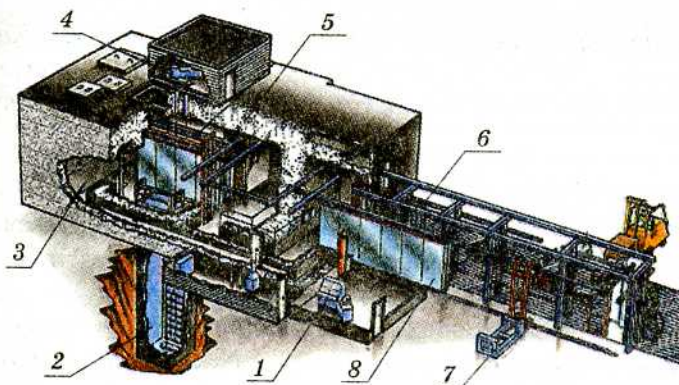


Рис. 35.3. Схематичне зображення промислового центру стерилізації: 1 — панель керування; 2 — шахта для зберігання джерела випромінювання; 3 — відсік для опромінення; 4 — пристрій для підйому джерела випромінювання; 5 — захист від випромінювання; 6 — конвеєр; 7 — навантажувач; 8 — контейнери з продукцією, що обробляється

γ -випромінювання в центрах стерилізації здебільшого використовують штучно створений ізотоп Кобальту — Кобальт-60.

Крім оброблення медичних виробів, центри стерилізації широко використовують для знищення певних бактерій у продуктах харчування. Неприємного вигляду й непридатних для споживання властивостей продукти харчування набувають у процесі гниття. А цей процес є не що інше, як розмноження деяких бактерій. Якщо ж ці бактерії знищити із самого початку, то процес гниття не відбуватиметься. Щодня такій очищувальній обробці піддають десятки тонн продуктів, насамперед м'ясо, птицю, рибу, а також полуницю, про яку йшлося на початку параграфа.

Таким чином, завдяки радіаційним технологіям, розробленим ученими, в багатьох сферах нашого життя радіаційне випромінювання зі смертельного ворога може перетворюватися на помічника.

Підбиваємо підсумки

За допомогою ядерних реакцій учені навчилися створювати штучні радіоактивні ізотопи. Такі ізотопи дозволяють діагностувати деякі захворювання за інтенсивністю γ -випромінювання з досліджуваних органів.

Технологію «просвічування» γ -випромінюванням використовують у техніці, зокрема для автоматичного контролю заповнення закритих ємностей, діагностики тріщин усередині металу та ін.

γ -випромінювання Кобальту-60 — штучно створеного радіоактивного ізотопу — широко використовують для промислової стерилізації одnorазових медичних виробів, а також для підвищення термінів зберігання продуктів харчування.

Контрольні запитання

1. Дайте визначення ізотопів.
2. Ким і як було відкрито явище штучної радіоактивності?
3. Чим метод одержання радіоактивних ізотопів Е. Фермі відрізняється від методу подружжя Жоліо-Кюрі? Які переваги методу Е. Фермі?
4. Наведіть приклади використання радіоактивних ізотопів для діагностики захворювань.
5. Наведіть приклади використання γ -випромінювання для стерилізації.
6. Чому після оброблення харчів γ -випромінюванням збільшується термін їх зберігання?

§ 36*. ЛАНЦЮГОВА ЯДЕРНА РЕАКЦІЯ. ЯДЕРНИЙ РЕАКТОР

?!

«...Попередні епохи отримали назву від певних матеріалів: був вік кам'яний, бронзовий, залізний. Але жоден з них не відбувся би, якщо б людина не знала вогню. Справжнє багатство світу — його енергія», — писав Фредерік Содді у своїй книзі «Матерія та енергія». XX століття можна сміливо назвати атомним, адже саме в цьому столітті людина відкрила й почала приборкувати енергію атомного ядра.

1

Дізнаємося про ланцюгову ядерну реакцію

У 1939 р. було встановлено, що в результаті взаємодії ядра Урану-235 і нейтрона утворюється нове нестабільне ядро Урану ($^{236}_{92}\text{U}$), яке відразу розпадається на два осколки, що розлітаються з величезною швидкістю (рис. 36.1).

Під час поділу кожного ядра Урану звільняються 2–3 нейтрони. Ці нейтрони у свою чергу можуть спричинити поділ інших ядер Урану, які також випускають нейтрони, здатні викликати поділ ядер, і т. д. Таким чином кількість ядер, що поділилися, швидко збільшується (рис. 36.2). Цей процес одержав назву *ланцюгова ядерна реакція*.

Дуже важливим є той факт, що *ланцюгова ядерна реакція супроводжується виділенням величезної кількості енергії*.

Під час поділу кожного ядра Урану виділяється невелика кількість енергії — приблизно $3,2 \cdot 10^{-11}$ Дж. Проте, якщо розпадуться всі ядра, що містяться, наприклад, в одному молі урану ($6,02 \cdot 10^{23}$ ядер), енергія, яка виділиться, дорівнюватиме приблизно $19,2 \cdot 10^{12}$ Дж. Таку ж кількість енергії можна отримати, наприклад, при згорянні 450 т нафти!

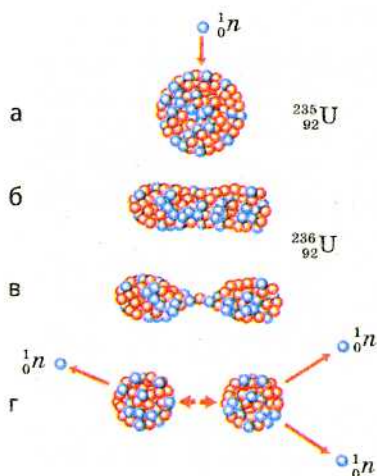


Рис. 36.1. Схема поділу ядер Урану. Поглинаючи нейтрон (а), ядро Урану збуджується й набуває витягнутої форми (б); поступово розтягуючись (в), нове нестійке ядро розпадається на два осколки (г)

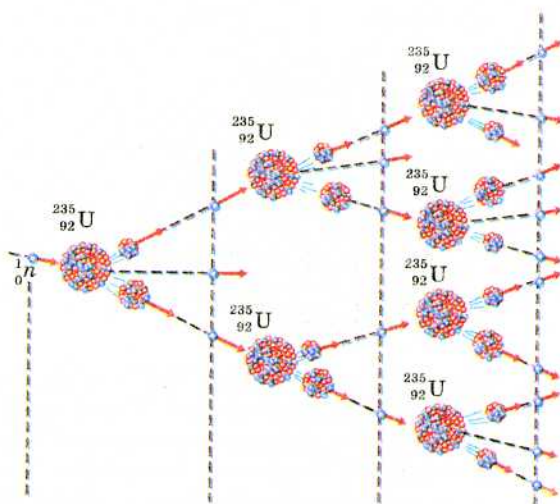


Рис. 36.2. Схематичне зображення ланцюгової ядерної реакції

§ 36*. ЛАНЦЮГОВА ЯДЕРНА РЕАКЦІЯ. ЯДЕРНИЙ РЕАКТОР



«...Попередні епохи отримали назву від певних матеріалів: був вік кам'яний, бронзовий, залізний. Але жоден з них не відбувся би, якщо б людина не знала вогню. Справжнє багатство світу — його енергія», — писав Фредерік Содді у своїй книзі «Матерія та енергія». XX століття можна сміливо назвати атомним, адже саме в цьому столітті людина відкрила й почала приборкувати енергію атомного ядра.



Дізнаємося про ланцюгову ядерну реакцію

У 1939 р. було встановлено, що в результаті взаємодії ядра Урану-235 і нейтрона утворюється нове нестабільне ядро Урану ($^{236}_{92}\text{U}$), яке відразу розпадається на два осколки, що розлітаються з величезною швидкістю (рис. 36.1).

Під час поділу кожного ядра Урану звільняються 2–3 нейтрони. Ці нейтрони у свою чергу можуть спричинити поділ інших ядер Урану, які також випускають нейтрони, здатні викликати поділ ядер, і т. д. Таким чином кількість ядер, що поділилися, швидко збільшується (рис. 36.2). Цей процес одержав назву *ланцюгова ядерна реакція*.

Дуже важливим є той факт, що *ланцюгова ядерна реакція супроводжується виділенням величезної кількості енергії*.

Під час поділу кожного ядра Урану виділяється невелика кількість енергії — приблизно $3,2 \cdot 10^{-11}$ Дж. Проте, якщо розпадуться всі ядра, що містяться, наприклад, в одному молі урану ($6,02 \cdot 10^{23}$ ядер), енергія, яка виділиться, дорівнюватиме приблизно $19,2 \cdot 10^{12}$ Дж. Таку ж кількість енергії можна отримати, наприклад, при згорянні 450 т нафти!

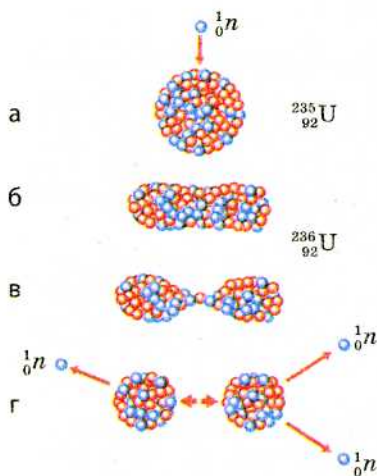


Рис. 36.1. Схема поділу ядер Урану. Поглинаючи нейтрон (а), ядро Урану збитується й набуває витягнутої форми (б); поступово розтягується (в), нове нестійке ядро розпадається на два осколки (г)

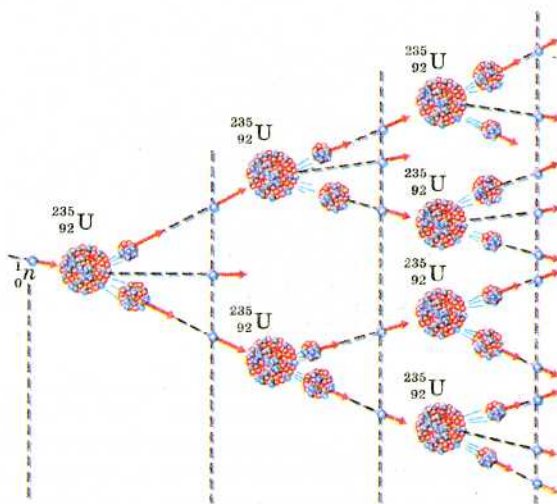


Рис. 36.2. Схематичне зображення ланцюгової ядерної реакції

2 Знайомимося з будовою і принципом дії ядерного реактора

Ланцюгова реакція, яка відбувається в урані й деяких інших речовинах, є основою для перетворення ядерної енергії на інші види енергії (теплову, електричну). Під час цієї реакції безперервно з'являються нові й нові осколки ядер, які летять із великою швидкістю. Якщо шматок урану занурити в холодну воду, то осколки гальмуватимуться у воді й нагріватимуть її. У результаті холодна вода стане гарячою або навіть перетвориться на пару. Саме так працює ядерний реактор, у якому відбувається процес перетворення ядерної енергії на теплову.

У реальних ядерних реакторах (рис. 36.3) ядерне паливо (уран або плутоній) розміщують усередині так званих *тепловидільних елементів* (ТВЕЛів). Продукти поділу нагрівають оболонки ТВЕЛів, і ті передають теплову енергію воді, яку в даному випадку ще називають *теплоносієм*. Отримана теплова енергія перетворюється далі на електричну (рис. 36.4) подібно до того, як це відбувається на звичайних теплових електростанціях.

3 Вводимо поняття «ядерний цикл»

Енергетична ефективність ядерного палива в тисячі разів вища, ніж палива традиційного (вуглеводневого). При цьому використання ядерного палива пов'язано з певними труднощами.

Так, щоб одержати кілограм палива з низькою ефективністю, наприклад, кілограм дров, досить сходити до лісу. Для того ж, щоб отримати кілограм ядерного палива, слід створити цілу промисловість. Крім того, після згоряння кілограма дров попіл можна просто розкидати. А що робити з ТВЕЛами, які відпрацювали свій ресурс?

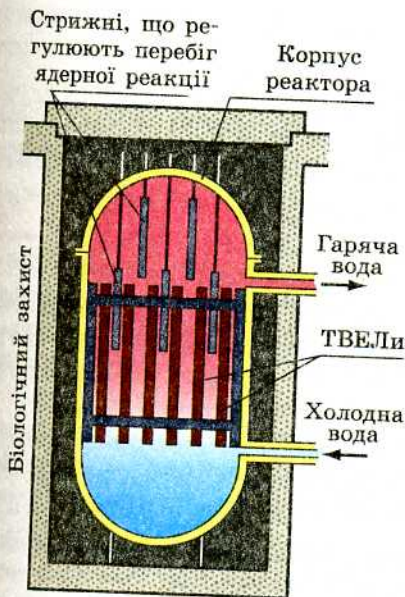


Рис. 36.3. Схема будови ядерного реактора

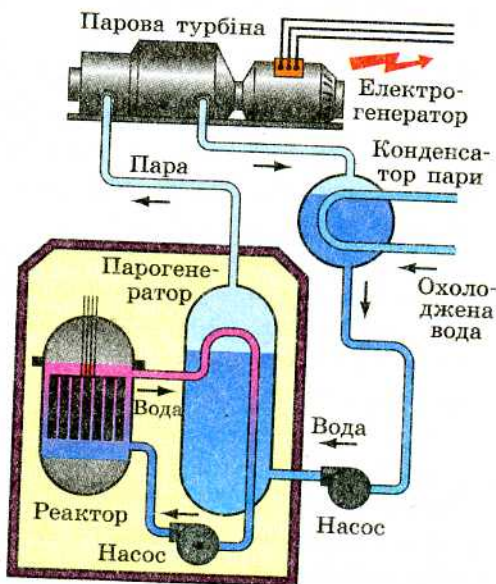


Рис. 36.4. Принцип роботи атомної електростанції



Рис. 36.5. Схема ядерного циклу

На рис. 36.5 наведено схему ядерного циклу. *Ядерний цикл* — це послідовність операцій видобування ядерного палива з руди, виготовлення ТВЕЛів, використання ТВЕЛів на атомних електростанціях і подальшого перероблення радіоактивних відходів.

В Україні є значні запаси уранової руди, яких вистачить не на одне десятиліття. Але щоб переробити руду на ядерне паливо, виготовити ТВЕЛі, необхідна спеціалізована промисловість (ланцюжок взаємопов'язаних виробництв), якої Україна в повному обсязі не має. Для українських атомних електростанцій ТВЕЛі виготовляють у Росії.

Після того як у ТВЕЛі розпадеться певна частина ядерного палива (фізики кажуть: «ТВЕЛ вигорів»), його замінюють на новий. Але де зберігати ТВЕЛі, вилучені з реактора, адже відомо, що ТВЕЛі, які відпрацьовували свій ресурс, дуже радіоактивні?

Зазвичай ТВЕЛі поміщують у спеціальні контейнери й розташовують глибоко під землею, де вони мають зберігатися протягом сотень років. Здавалося б, заражену зону навколо Чорнобильської

станції можна використовувати як сховище відпрацьованих ТВЕЛів, адже ця територія ще довго не буде придатною для чогось іншого. Крім того, місця для сховища можна передавати й іншим країнам. Однак чи варто створювати в Україні «радіоактивний смітник»? Поміркуйте над аргументами «за» і «проти».

! Підбиваємо підсумки

Поглинення ядром Урану нейтрона може спричинити розпад ядра. Ця реакція супроводжується звільненням нейтронів, які містяться у ядрі, а ті у свою чергу можуть спричинити поділ інших ядер, отже, відбуватиметься ланцюгова ядерна реакція. Під час такої реакції виділяється величезна енергія.

Процес перетворення ядерної енергії на теплову здійснюється в ядерних реакторах. Ядерне паливо розміщується всередині спеціального вузла, який називають тепловидільним елементом (ТВЕЛом). Продукти ядерної реакції гальмуються у ТВЕЛі та нагрівають його. ТВЕЛ передає теплову енергію теплоносію.

Послідовність операцій видобування ядерного палива з руди, виготовлення ТВЕЛів, використання ТВЕЛів на атомних електростанціях і подальшого перероблення радіоактивних відходів називають ядерним циклом.

? Контрольні запитання

1. Що відбувається під час взаємодії ядра Урану та нейтрона?
2. Опишіть механізм ланцюгової ядерної реакції.
3. Які перетворення енергії відбуваються в ядерних реакторах?
4. Перелічіть переваги й недоліки використання ядерного палива.
5. Яка послідовність операцій ядерного циклу?
6. Як утилізують радіоактивні відходи атомних електростанцій?

§ 37. ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ. ПРИРОДНИЙ РАДІАЦІЙНИЙ ФОН

?! Вивчивши § 34, ви здобули теоретичні знання про механізми впливу радіації на організми, способи вимірювання радіації та прилади, призначені для цього. Озброївшись знаннями, деякі з вас, не дочекавшись лабораторної роботи, візьмуть в руки дозиметри і почнуть дослідження. Не сумнівайтеся: дозиметри покажуть наявність радіації. А це добре чи погано? Якого рівня радіації слід боятися, а за якого можна «спати спокійно»? Відповіді ви знайдете в цьому параграфі.

1 Дізнаємося про атомну енергетику України

Україна належить до тих країн світу, в яких завдяки наявності високих технологій і висококваліфікованих інженерів та вчених створена й успішно розвивається атомна енергетика. На сьогодні в країні працюють чотири атомні електростанції: Південноукраїнська, Хмельницька, Рівненська (рис. 37.1), Запорізька. На цих АЕС діють 15 атомних енергоблоків, загальна потужність яких становить 13 580 МВт. На атомні електростанції припадає близько половини електроенергії, що виробляється в країні.

Обслуговуються АЕС багатотисячними колективами висококваліфікованих фахівців. Фактично навколо кожної з українських АЕС виросло невелике місто.

Наявність в Україні джерел електроенергії, які працюють на ядерному паливі, безперечно, пом'якшує дедалі більший дефіцит «звичних» енергоносіїв: газу, нафти, кам'яного вугілля.

2 Згадуємо історію Чорнобильської трагедії

26 квітня 1986 р. позначене чорними барвами в історії України. Саме того дня стався вибух на 4-му енергоблоці Чорнобильської атомної електростанції (рис. 37.2). Про технічні причини цієї трагедії ви дізнаєтеся з курсу фізики 11-го класу, коли докладніше вивчите конструкцію ядерного реактора.

Вибух призвів до пожежі на 4-му енергоблоці й до катастрофічного викиду радіоактивних речовин. Корпус реактора почав працювати як величезна піч, виносячи радіоактивний дим в атмосферу. Вітри рознесли цей дим на багато сотень і тисяч кілометрів. Наприклад, навіть у Швеції зафіксували підвищення рівня радіації. Фахівці всіх республік Радянського Союзу кинулися рятувати ситуацію. Особливу роль у зменшенні масштабів трагедії відіграли пожежники. Ціною свого життя вони запобігли поширенню пожежі на інші реактори Чорнобильської АЕС.



Рис. 37.1. Рівненська АЕС



Рис. 37.2. Четвертий блок Чорнобильської атомної електростанції до вибуху (а) і після вибуху (б)

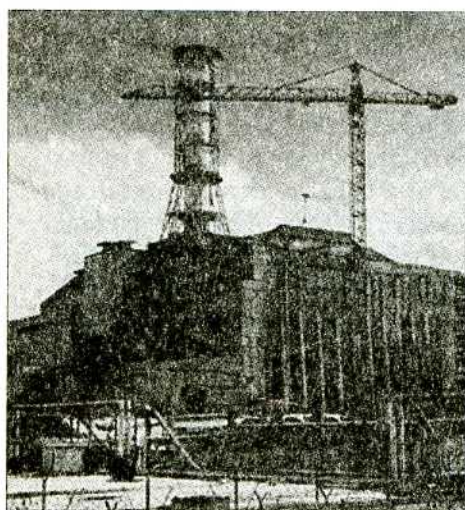


Рис. 37.3. Саркофаг над 4-м блоком Чорнобильської АЕС

З катастрофою таких масштабів людство раніше не стикалося, тому пожежу не вдалося зупинити швидко. У результаті цілі регіони в Росії, Україні, Білорусі виявилися радіаційно забрудненими, а з 30-кілометрової зони навколо станції було евакуйовано все населення.

Героїчними зусиллями вдалося локалізувати пожежу, а потім побудувати над зруйнованим реактором так званий *саркофаг* — бетонну конструкцію, яка захищає від подальшого поширення радіаційного забруднення (рис. 37.3).

Сьогодні всі енергоблоки Чорнобильської АЕС виведені з експлуатації; разом із міжнародними організаціями Україна розробляє і планує побудувати ще один саркофаг, досконаліший. Після

трагедії минуло понад 20 років, проте наслідки радіаційного забруднення, особливо в зоні Чорнобильської АЕС, усе ще відчутні.

3 Дізнаємося про радіаційний фон

Незалежно від того, у якому куточку Землі живе людина, вона постійно зазнає впливу радіації, тому що в будь-якій місцевості завжди є певний *радіаційний фон*.

Радіаційний фон — йонізуюче випромінювання земного та космічного походження.

Радіаційний фон Землі складається з кількох компонентів. Це космічне випромінювання; випромінювання природних радіонуклідів, які містяться у земній корі, повітрі та інших об'єктах зовнішнього

середовища; випромінювання штучних радіоактивних ізотопів. Випромінювання природних радіонуклідів та космічне випромінювання створюють *природний радіаційний фон*.

У результаті діяльності людини природний радіаційний фон значно збільшився — відбулося *техногенне підвищення природного радіаційного фону*. Приклад такої діяльності людини — видобування корисних копалин (вугілля, мінеральних добрив, сировини для будівельних матеріалів тощо), які містять підвищену кількість радіонуклідів уранового й торієвого рядів. Так, підвищений вміст природних радіоактивних ізотопів є в граніті. А далі будуємо ланцюжок. Гранітний щебінь є складником бетону, з якого споруджують будинки. Отже, підвищений радіаційний фон слід шукати насамперед усередині будинків з бетону, особливо в зачинених приміщеннях, які не провітрюються (наприклад, концентрація радону в закритих приміщеннях в середньому у вісім разів вища, ніж ззовні).

З табл. 1 бачимо, що для основної маси населення найбільш небезпечні джерела радіації — це зовсім не ті, про які зазвичай говорять. Найбільшу дозу людина отримує від природних джерел радіації та під час медичних досліджень. Радіація, пов'язана з розвитком атомної енергетики, становить лише малу частину радіації, що спричинена діяльністю людини.

Таблиця 1

Середні еквівалентні дози йонізуючого випромінювання, що отримує людина протягом року від деяких джерел радіації

Джерела радіації	Середня еквівалентна доза H, мбер
Космічне випромінювання	35
Зовнішнє природне опромінення	35
Внутрішнє природне опромінення	135
Будівельні матеріали	140
Медичні дослідження	140
Телевізори та монітори	0,1
Ядерні випробування	2,5
Атомна енергетика	0,2

4 Вивчаємо вплив радіаційного фону на здоров'я людини

Життя на Землі виникло і розвивається в умовах постійної дії радіації. Тому, скоріш за все, природний радіаційний фон не може суттєво впливати на життя та здоров'я людини. Сучасні дослідження в галузі радіобіології довели, що при дозах, які відповідають природному радіаційному фону 1–2 мЗв на рік, дія радіації безпечна для людини. Але навіть невелике підвищення рівня радіації може визвати генетичні дефекти, які, можливо, виявляться у дітей та онуків людини, що була опромінена. При великих дозах радіація спричиняє серйозне ураження тканин.

Наприклад, отримана протягом кількох годин поглинута доза йонізуючого опромінення 1 Зв викликає небезпечні зміни в крові, а доза 3–5 Зв у 50 % випадків спричиняє смерть.

Учені вважають, що рівень природного радіаційного фону має бути не вищим за $25 \frac{\text{мкР}}{\text{год}}$. Якщо він нижчий за цю величину — чудово, якщо ж вищий — треба бити на сполох і шукати причину.

Варто звернути увагу й на їжу. Для захисту населення від внутрішнього опромінення радіоактивними речовинами в Україні введено норму активності радіонуклідів Цезію-137 і Стронцію-90, що містяться в продуктах харчування та питній воді (табл. 2).

Таблиця 2
Значення допустимої питомої активності радіонуклідів Цезію-137, Стронцію-90 у харчових продуктах і питній воді

Назва продукту	Допустима питома активність,	
	$\frac{\text{Бк}}{\text{кг}}$	$\frac{\text{Бк}}{\text{л}}$
	Цезій-137	Стронцій-90
Хліб, хлібопродукти	20	5
Овочі (листяні, коренеплоди)	40	20
Фрукти	70	10
М'ясо й м'ясні продукти	220	20
Риба й рибні продукти	150	35
Молоко й молочні продукти	100	20
Яйця (шт.)	6	2
Вода питна	2	2
Дитяче харчування	40	5

! Підбиваємо підсумки

Зараз в Україні працюють чотири атомні електростанції загальною потужністю 13580 МВт. На АЕС припадає близько половини електроенергії, що виробляється в країні.

26 квітня 1986 р. сталася Чорнобильська катастрофа — вибух на 4-му енергоблоці Чорнобильської АЕС. Вибух спричинив найбільше у світі радіаційне зараження місцевості, зокрема великих територій у Росії, Україні й Білорусі. Наслідки цього зараження відчутні дотепер.

На всій поверхні Землі реєструється певний рівень радіації — природний радіаційний фон. Радіаційний фон — це йонізуюче випромінювання земного та космічного походження.

Радіаційний фон Землі складається з таких компонентів: космічне випромінювання; випромінювання природних радіонуклідів; випромінювання штучних радіоактивних ізотопів. Випромінювання природних радіонуклідів та космічне випромінювання створюють природний радіаційний фон.

У результаті діяльності людини природний радіаційний фон щорічно збільшується — відбувається техногенне підвищення природного радіаційного фону. Допустимий рівень природного радіаційного фону становить $25 \frac{\text{мкР}}{\text{год}}$.

У зв'язку з можливістю проникнення радіоактивних речовин, зокрема Цезію-137 і Стронцію-90, в організм людини через їжу в Україні нормативно встановлено граничний уміст цих елементів у харчових продуктах і питній воді.



Контрольні запитання

1. Перелічіть атомні електростанції, які на сьогодні працюють в Україні. Якою є загальна потужність цих електростанцій? 2. Чому вибух на ЧАЕС спричинив найбільше у світі радіаційне зараження місцевості? 3. Назвіть причини, через які, незалежно від того, де ви живете, ви постійно зазнаєте впливу радіації. 4. Що таке радіаційний фон? З яких компонентів він складається? 5. Як уникнути додаткового впливу радіації? 6. Який техногенний фактор найбільшою мірою впливає на підвищення радіаційного фону?

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 11



Тема. Вивчення будови побутового дозиметра й проведення дозиметричних вимірювань.

Мета: вивчити будову побутового дозиметра; навчитися проводити дозиметричні вимірювання.

Обладнання: дозиметр.

ВКАЗІВКИ ДО РОБОТИ



Підготовка до експерименту

Перш ніж виконувати роботу, згадайте:

- 1) властивості радіоактивного випромінювання;
- 2) будову та принцип дії лічильника Гейгера – Мюллера.



Теоретичні відомості

1. **Дозиметр** — прилад для вимірювання дози та потужності дози йонізуючого випромінювання, отриманого приладом (і тим, хто ним користується) за деякий проміжок часу, наприклад за період перебування на деякій території або протягом робочої зміни.

Радіометр — прилад для вимірювання активності радіонукліда у джерелі випромінювання або в зразку (в об'ємі рідини, газу, аерозолі, на забруднених поверхнях).

Основною складовою дозиметра (і радіометра) є *детектор* — пристрій, що слугує для реєстрації йонізуючого випромінювання. У разі потрапляння йонізуючого випромінювання на детектор виникають електричні сигнали (імпульси струму або напруги), які зчитуються вимірювальним пристроєм. Дані про дозу випромінювання реєструються вихідним пристроєм (електромеханічним лічильником, звуковим або світловим сигналізатором тощо). Зазвичай побутові дозиметри працюють й у режимі радіометра. Типову блок-схему дозиметра (радіометра) наведено на рис. 1.

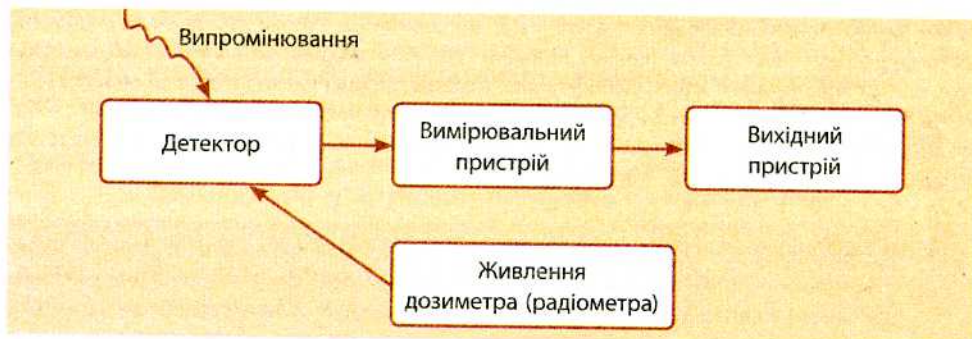


Рис. 1

Маса побутових дозиметрів — від кількох десятків грамів до 400 г, а розмір дозволяє покласти їх до кишені. Деякі сучасні моделі можна носити на зап'ястку, як годинник. Час безперервної роботи від однієї батареї — від кількох діб до кількох місяців.

Діапазон вимірювання побутових дозиметрів, як правило, становить 0,1–99,99 $\frac{\text{мкЗв}}{\text{год}}$.

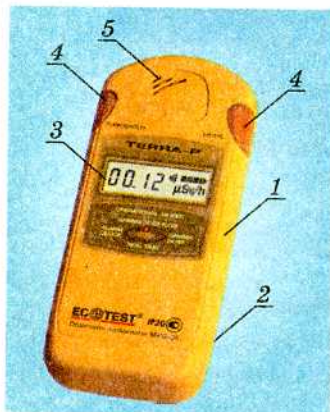


Рис. 2

2. Будову сучасного дозиметра розглянемо на прикладі побутового дозиметра-радіометра МКС-05 ТЕРРА-П (рис. 2).

Прилад призначено для вимірювання еквівалентної дози та потужності еквівалентної дози γ -випромінювання, а також для оцінки поверхневого забруднення β -радіонуклідами.

Прилад містить детектор γ - і β -випромінювань (лічильник Гейгера–Мюллера), друковану плату з електронними компонентами та елементи живлення.

Корпус приладу складається з верхньої (1) та нижньої (2) кришок. На верхній кришці розташовано панель індикації (3), дві кнопки управління роботою дозиметра (4), гучномовець (5). На нижній кришці приладу розміщено відсік для елементів живлення, а також вікно з позначкою «+» для реєстрації поверхневої забрудненості β -радіонуклідами. Там же подано інформаційну таблицю.

Порядок роботи з дозиметром

1. Увімкнення дозиметра. Для увімкнення дозиметра слід натиснути і протягом секунди утримувати клавішу РЕЖИМ. Після увімкнення дозиметр автоматично переходить у режим вимірювання γ -випромінювання.

2. Вимірювання потужності еквівалентної дози γ -випромінювання. Дозиметр слід розташувати так, щоб позначка «+» на зворотному боці корпусу була над об'єктом, що обстежується. Про рівень радіації свідчить частота звукових сигналів (кожний звуковий сигнал — це зафіксований квант γ -випромінювання).

Числові результати вимірювання з'являються на цифровому дисплеї. Якщо раптово радіаційний рівень різко зміниться, цифри на дисплеї деякий час мигатимуть. Це означає, що дозиметр визначає середнє значення дози випромінювання.

3. Оцінка поверхневого забруднення β -радіонуклідами. Дозиметр має перебувати в режимі вимірювання γ -випромінювання. Для оцінки забруднення β -радіонуклідами слід зробити два вимірювання: перше — із закритим вікном на нижній кришці дозиметра; друге — з відкритим вікном. Різниця результатів і є показником забруднення β -радіонуклідами. Якщо різниця дорівнює нулю, то це означає, що поверхня не забруднена β -радіонуклідами.

4. Вимірювання еквівалентної дози γ -випромінювання. Щоб дізнатися про загальну дозу γ -випромінювання, накопичену дослідником з моменту ввімкнення дозиметра, необхідно натиснути клавішу РЕЖИМ. Щоб покази були точними, дозиметр слід тримати при собі весь час. Щоб обнулити покази, дозиметр необхідно вимкнути.

5. Вимкнення дозиметра. Для вимкнення дозиметра слід натиснути і протягом 4 с утримувати клавішу РЕЖИМ.



Експеримент

1. Ознайомтеся з будовою та принципом дії побутового дозиметра-радіометра МКС-05 ТЕРРА-П. Якщо проводитимете вимірювання за допомогою дозиметра іншого типу, то опишіть його будову й принцип дії.
2. Проведіть вимірювання в кабінетах фізики та інформатики. Заповніть таблицю.

Місце проведення дослідження	Вимірювана величина	
	Назва	Значення



Аналіз результатів експерименту

Зробіть висновок, у якому зазначте, що вимірюють побутовими дозиметрами; проаналізуйте результати проведених вами дозиметричних вимірювань.

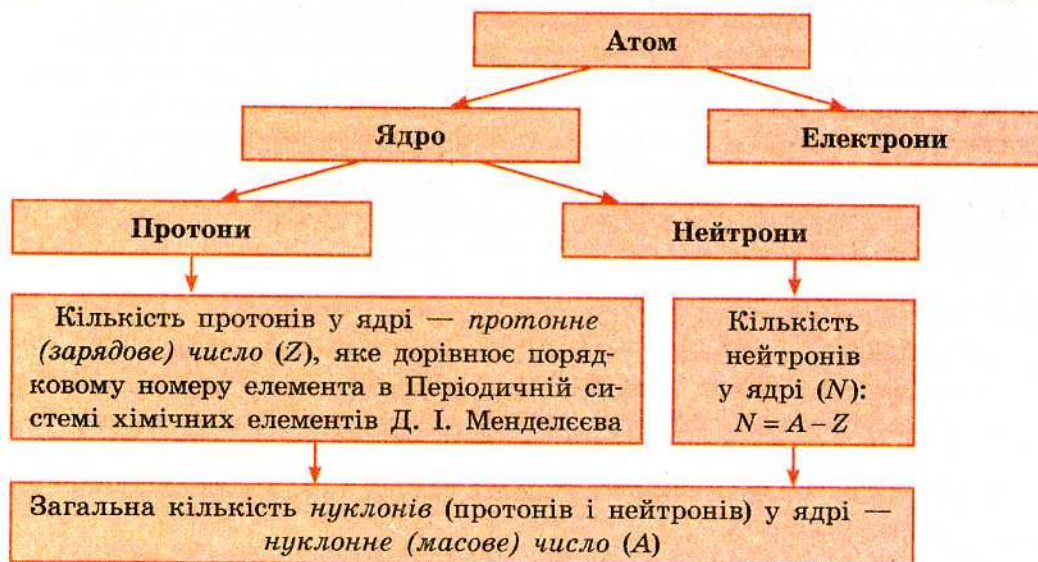


Додаткові завдання

1. Які дози опромінення спричиняють ушкодження організму людини?
2. Назвіть шляхи проникнення радіації в організм людини. Як захиститися від негативного впливу радіації?

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ РОЗДІЛУ 4 «АТОМНЕ ЯДРО. ЯДЕРНА ЕНЕРГЕТИКА»

1. У процесі вивчення розділу 4 ви згадали будову атома й атомного ядра.



2. Ви дізналися, як було відкрито явище радіоактивності, та з'ясували, що *радіоактивністю називають здатність деяких хімічних елементів довільно перетворюватися на ядра інших елементів з випромінюванням мікрочастинок.*
3. Ви познайомилися з *трьома видами радіоактивного випромінювання* й з'ясували природу кожного з них.

Радіоактивне випромінювання			
Вид	Природа	Заряд частинки	Швидкість
α -випромінювання	Ядра атомів Гелію	$2 e $	Близько $10\,000 \frac{\text{км}}{\text{с}}$
β -випромінювання	Електрони	e	Близько $300\,000 \frac{\text{км}}{\text{с}}$
γ -випромінювання	Електромагнітне випромінювання	Відсутній	Дорівнює швидкості світла $300\,000 \frac{\text{км}}{\text{с}}$

4. Ви довідалися, що елементи, у ядрах яких відбуваються радіоактивні перетворення, називають *радіоактивними елементами* й що всі природні радіоактивні елементи можна розподілити в *чотири радіоактивні ради.*

5. Ви з'ясували, що в процесі радіоактивного розпаду елемента з'являється новий елемент, і познайомилися з *правилами зміщення*.

ПРАВИЛА ЗМІЩЕННЯ

Під час випромінювання ядром елемента α -частинки утворюється ядро іншого елемента, порядковий номер якого в періодичній таблиці на 2 одиниці менший, ніж порядковий номер вихідного елемента

Під час випромінювання ядром елемента β -частинки утворюється ядро іншого елемента, порядковий номер якого в періодичній таблиці на 1 одиницю більший, ніж порядковий номер вихідного елемента

6. Ви познайомилися з фізичними величинами, які характеризують радіаційне випромінювання, радіонукліди та радіонуклідні зразки.

Фізичні величини	Формула для обчислення	Одиниця		Співвідношення між одиницями
		у СІ	позасистемна	
Стала радіоактивного розпаду	$\lambda = \frac{0,69}{T}$	$\frac{1}{\text{с}}$	—	—
Активність зразка	$A = \lambda N$	бекерель (Бк)	кюри (Ки)	$1 \text{ Ки} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Бк}$
Доза йонізуючого випромінювання: поглинута	$D = \frac{W}{m}$	грей (Гр)	рад (рад)	$1 \text{ Гр} = 100 \text{ рад}$
експозиційна	$D_{\text{експ}} = \frac{q}{m}$	$\frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$	рентген (Р)	$1 \text{ Р} = 2,58 \cdot 10^{-4} \frac{\text{Кл}}{\text{кг}}$
еквівалентна	$D_{\text{екв}} = K \cdot D$	зиверт (Зв)	бер (бер)	$1 \text{ Зв} = 100 \text{ бер}$
Потужність експозиційної дози йонізуючого випромінювання	$P_{\text{експ}} = \frac{D_{\text{експ}}}{t}$	$\frac{\text{Кл}}{\text{кг} \cdot \text{с}}$	$\frac{\text{Р}}{\text{год}}$	$1 \frac{\text{Р}}{\text{год}} = 7,2 \cdot 10^{-8} \frac{\text{Кл}}{\text{кг} \cdot \text{с}}$

7. Ви оцінили переваги використання ядерного палива та довідалися про розвиток ядерної енергетики в Україні.

8. Ви переконалися, що радіоактивне випромінювання впливає на організм людини, дізналися про *природний радіаційний фон* та *техногенні фактори*, що спричиняють його підвищення.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ ЗА РОЗДІЛОМ 4 «АТОМНЕ ЯДРО. ЯДЕРНА ЕНЕРГЕТИКА»

Завдання 1–7 містять тільки одну правильну відповідь.

1. (1 бал) У ядрі атома Берилію 4 протони і 5 нейтронів. Скільки електронів у цьому атомі?
а) 1 електрон; **б)** 4 електрони; **в)** 5 електронів; **г)** 9 електронів.
2. (1 бал) У ядрі хімічного елемента 33 протони і 43 нейтрони. Визначте цей елемент.
а) Технецій; **б)** Арсен; **в)** Уран; **г)** Аурум.
3. (1 бал) Скільки протонів і скільки нейтронів утримується в ядрі атома Полонію ($^{210}_{84}\text{Po}$)?
а) 84 протони і 84 нейтрони;
б) 84 протони і 210 нейтронів;
в) 210 протонів і 84 нейтрони;
г) 84 протони і 126 нейтронів.
4. (1 бал) На підставі дослідів з α -частинками Е. Резерфорд:
а) запропонував нейтронно-протонну модель будови атомного ядра;
б) пояснив явище радіоактивності;
в) пояснив механізм ланцюгової ядерної реакції;
г) запропонував ядерну модель будови атома.
5. (1 бал) β -частинки — це:
а) ядра Гелію;
б) швидкі електрони;
в) повільні нейтрони;
г) частинки електромагнітного випромінювання.
6. (1 бал) При α -розпаді ядра атома деякого елемента одержують ядро атома елемента, який у періодичній таблиці розташований від вихідного елемента:
а) на дві клітинки ліворуч;
б) на дві клітинки праворуч;
в) на одну клітинку праворуч;
г) на одну клітинку ліворуч.
7. (1 бал) При β -розпаді ядра атома деякого елемента одержують ядро атома елемента, який у періодичній таблиці розташований від вихідного елемента:
а) на дві клітинки ліворуч;
б) на дві клітинки праворуч;
в) на одну клітинку праворуч;
г) на одну клітинку ліворуч.

8. (2 бали) Яку експозиційну дозу йонізуючого випромінювання отримає людина протягом доби, якщо природний радіаційний фон становить $25 \frac{\text{мкР}}{\text{год}}$?
9. (2 бали) Визначте активність радіоактивного зразка, якщо щогодини в ньому розпадається $7,2 \cdot 10^{10}$ ядер. Активність зразка вважати незмінною.
10. (2 бали) Якщо перебувати на відстані 2,5 м від працюючого кольорового телевізора протягом 4 год, можна отримати еквівалентну дозу йонізуючого випромінювання 0,01 мкЗв. Обчисліть потужність йонізуючого випромінювання на такій відстані.
11. (2 бали) Під час природного радіоактивного розпаду Нептунію-237 з його ядра випускається α -частинка. На ядро якого елемента перетворюється при цьому ядро атома Нептунію-237? Запишіть рівняння реакції.
12. (2 бали) Під час природного радіоактивного розпаду Плюмбуму-210 з його ядра випускається β -частинка. На ядро якого елемента перетворюється при цьому ядро атома Плюмбуму-210? Запишіть рівняння реакції.
13. (3 бали) Середня доза випромінювання, поглинута робітником, що працює з рентгенівською установкою, дорівнює 7 мкГр на 1 год. Чи безпечно йому працювати протягом 200 днів на рік по 6 год, якщо гранично допустима доза опромінення дорівнює 50 мГр на рік? Відомо, що від природного радіаційного фону робітник отримує 2 мГр на рік.
14. (4 бали) На даний момент часу в радіоактивному зразку міститься $2 \cdot 10^{-10}$ моль радію. Скільки ядер Радію розпадеться за наступну секунду? Стала радіоактивного розпаду для Радію $\lambda = 1,37 \cdot 10^{-11} \frac{1}{\text{с}}$.

Зверте ваші відповіді на запитання з наведеними в кінці підручника. Позначте запитання, на які ви відповіли правильно, і полічіть суму балів. Потім цю суму поділіть на два. Одержане число відповідатиме рівню ваших навчальних досягнень.



Рис. 1. Обладнання для радіаційної терапії

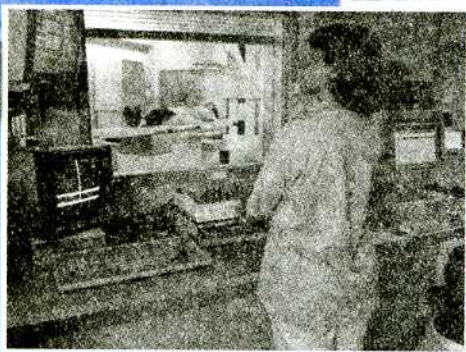


Рис. 2. Під час процедур медичний персонал розміщується у приміщеннях, захищених від радіації

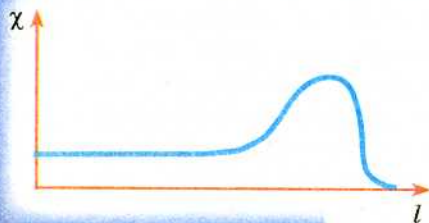


Рис. 3. Схематичне зображення залежності ступеня ушкодження тканин (χ) від глибини пробігу (l) протонів

ВІД ЕКСПЕРИМЕНТІВ РЕЗЕРФОРДА ДО ЛІКУВАННЯ ХВОРОБ

Більшість жителів нашої країни, пам'ятаючи про аварію на Чорнобильській АЕС, з великою підозрою ставляться до слова «радіація». Завершивши вивчення розділу 4, ви дізналися, що радіаційне випромінювання — це, звичайно, небезпечно. Але, якщо дотримуватися правил безпеки, контролювати рівень радіаційного фону, вчасно вживати необхідних заходів, то небезпеку можна зменшити.

А чи може бути радіація корисною для живого організму? Виявляється, при певних захворюваннях для збереження життя пацієнта медики змушені фактично завдавати йому шкоди. Так, найпоширенішою формою радіаційної терапії є опромінення пацієнта γ -променями, проникаюча здатність яких є досить великою (рис. 1, 2). Однак під час опромінення хворого внутрішнього органа опромінюються й прилеглі до нього здорові частини тіла.

Природним було прагнення фізиків вирішити цю проблему. Перше рішення — застосування іншого типу випромінювання. Виявилось, що прискорені до великих швидкостей протони мають певні переваги як перед γ -, так і перед α -випромінюванням. Відомо, що протони максимально ушкоджують місця поблизу своєї зупинки, а на інших ділянках траєкторії рівень ушкоджень є значно нижчим (рис. 3). Змінюючи енергію протонів, можна змінювати місця їхньої зупинки так, щоб вони припадали на хворі клітини. Тоді, як видно з рис. 3, рівень ушкодження здорових тканин буде істотно нижчим, ніж хворих. Причому доза опромінення ділянки «до горба» у десятки разів нижча, а «після горба» взагалі дорівнює нулю. На жаль, висока

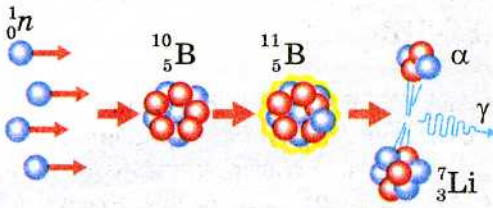


Рис. 4. Схема ядерних реакцій у разі потрапляння нейтрона в ядро Бору

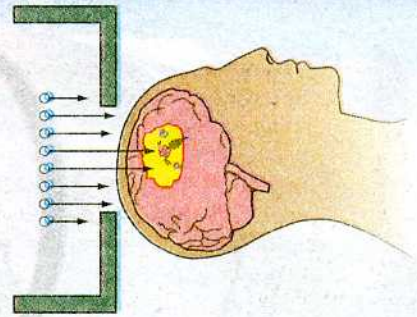


Рис. 5. Схема проведення БНЗТ при онкозахворюванні мозку

вартість використання прискорювача протонів не дозволила зробити цей метод масовим.

Ще один спосіб опромінення хворих тканин — *бор-нейтрон-захлопювальна терапія (БНЗТ)* — був запропонований порівняно недавно. Якщо скористатися «військовою» термінологією, то опромінення γ -променями можна порівняти з бомбардуванням великих районів, а опромінення протонами — з обстрілом супротивника ракетами, коли точність влучення істотно підвищується. Нарешті БНЗТ варто порівняти з «агентом 007», що безпомилково знищує тільки супротивника.

Ідея БНЗТ полягає ось у чому. Ключовим у терапії є ядро атома Бору. Саме воно, як геніальний воратар, уміє «ловити» нейтрони набагато

краще, ніж будь-які інші ядра. Тому при опроміненні тканин нейтронами ядро Бору зуміє «впіймати» нейтрон, навіть якщо їх буде пролітати дуже мало. Ядра ж інших елементів практично не помітять цього опромінення, тобто шкідливу дозу опромінення нейтронами буде зведено до мінімуму.

Після того як ядро Бору «впіймає» нейтрон, воно зазнає радіоактивного перетворення й розпадається на ядро Літію та α -частинку (рис. 4), які мають кінетичну енергію, що може зруйнувати лише одну клітину. Отже, якщо доправити ядро Бору безпосередньо у хвору клітину, то після «вибуху» тільки її й буде зруйновано (рис. 5). Доставку ядер Бору здійснюють спеціальні типи лікарських препаратів.

Ви вивчаєте фізику три роки і вже познайомилися з основними розділами цієї науки — механікою, оптикою, електрикою та ін., довідалися про те, що у фізиці називають законами; дізналися, як відбувається дослідження фізичних явищ. Ми постійно нагадували вам про те, яким чином досягнення вчених-фізиків втілювалися у приладах, машинах, обладнанні, що значно підвищили якість життя людини.

Проте бурхливий розвиток техніки має й негативні наслідки. Це і глобальне потепління, яке викликане наявністю в атмосфері надмірної кількості двоокису вуглецю, і використання досягнень науки проти людства (тероризм), і великі техногенні аварії, наприклад Чорнобильська катастрофа.

На завершальному занятті курсу ми обговоримо питання взаємозв'язку фізики й суспільного розвитку.

1 Узагальнюємо знання про фізичну картину світу

Фізична наука весь період свого існування — від часів давньогрецького філософа Арістотеля до наших днів — була нерозривно пов'язана не тільки з вивченням конкретних явищ, а й зі створенням цілісної картини світу. Про такий взаємозв'язок уже йшлося, коли ви тільки-но починали вивчати фізику. Сьогодні продовжимо розповідь.

Рис. 1 дає уявлення про еволюцію знань про навколишній світ. У лівій частині рисунка (зверху вниз) показана еволюція знань про макро- і мегасвіт. Спочатку вчені вважали Землю плоскою й оточеною гігантською кришталевою сферою (рис. 1.1). У середні віки завдяки зусиллям Галілео Галілея і Миколи Коперника була сформована геліоцентрична картина світу (рис. 1.2). На початку XX ст. учені стали вивчати фізичні процеси, що відбуваються в зорях. Виявилось, що «світіння» цих гігантських скупчень пов'язане зі структурою й властивостями найменших із відомих на той час об'єктів — атомних ядер (рис. 1.3). За допомогою надпотужних телескопів удалось «побачити» процеси в далеких галактиках (рис. 1.4). Найбільша таємниця Всесвіту сьогодні — це природа так званої «темної матерії». Саме з метою її вивчення вчені створили прилад для дослідження елементарних частинок (див. рис. 1.9).

Права частина рис. 1 дає можливість зрозуміти, як змінювалися погляди вчених на мікросвіт. Первісні уявлення про будову атомів були умоглядними та ґрунтувалися тільки на логічних міркуваннях філософів (рис. 1.5). У XIX ст. з'явилися непрямі докази атомарної будови матерії, які базувалися, зокрема, на унікальних (але непрямих) експериментах (рис. 1.6). Тільки наприкінці

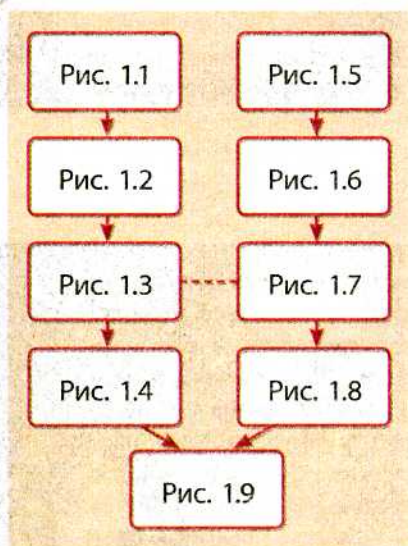


Рис. 1. Етапи пізнання макро- і мегасвіту (ліворуч) та мікросвіту (праворуч)

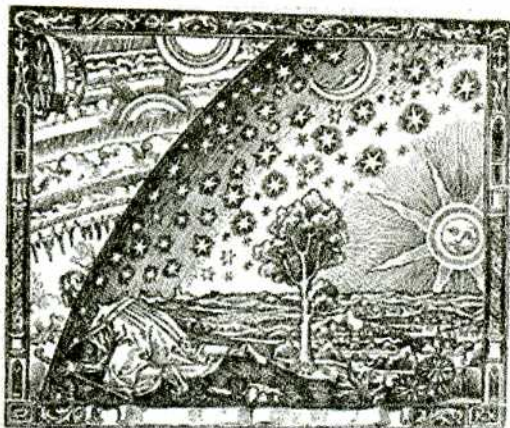


Рис. 1.1. Давні уявлення про будову світу (гравюра)



Рис. 1.2. Структура Сонячної системи

XIX — на початку XX ст. з'явилися незаперечні докази атомно-ядерної структури матерії (рис. 1.7). Наприкінці минулого століття були створені надчутливі мікроскопи (тонельний, автоелектронний, автойонний, електронний), завдяки яким удалося сфотографувати окремі атоми (рис. 1.8). Для вивчення більш «тонкої» структури матерії — елементарних частинок — були створені гігантські прискорювачі, що являють собою кільце діаметром у кілька кілометрів. Найпотужніший із прискорювачів — адронний колайдер — був запущений у 2008 р. зусиллями вчених багатьох країн (рис. 1.9).

Зверніть увагу, що вже на третьому рівні (див. рис. 1) учені побачили зв'язок між мега- і мікросвітами (він позначений штриховою лінією між блоками схеми). Сьогодні вчені впевнені, що багато загадок Всесвіту будуть розгадані після одержання відомостей про властивості елементарних частинок. Отже, врешті-решт дві незалежні галузі вивчення навколишнього світу зішлись в одній точці.

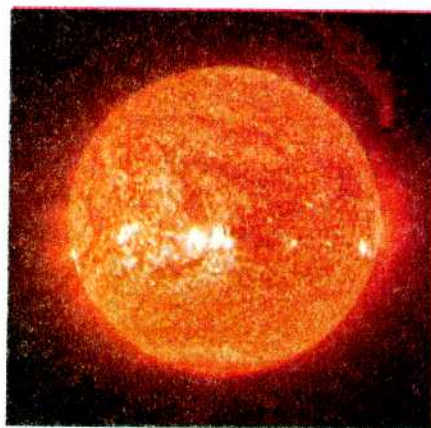


Рис. 1.3. Процеси, що забезпечують «світіння» Сонця, обумовлені ядерними реакціями



Рис. 1.4. За допомогою космічного телескопа вдалося сфотографувати Туманність Орла — скупчення, що перебуває на відстані 7000 світлових років від Землі

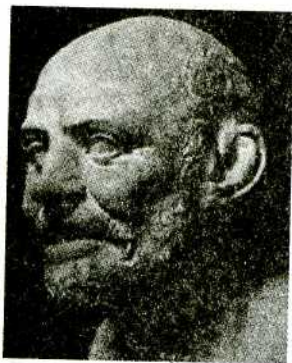


Рис. 1.5. Демокріт (народ. бл. 460–470 рр. до н. е.) — давньогрецький філософ, головним досягненням якого вважають розвиток вчення про атом як неподільну частинку речовини. Демокріт описував світ як систему атомів у порожнечі

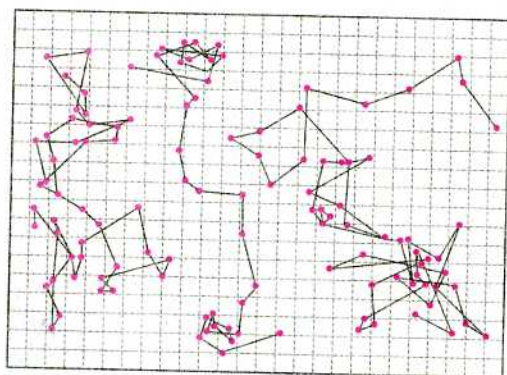


Рис. 1.6. Копія малюнка французького фізика Жана Батиста Перрена (1870–1942), на якому відтворені результати спостереження у мікроскоп броунівської частинки — дрібної частинки речовини, завислій у рідині. Броунівський рух частинок, викликаний хаотичними ударами молекул по них, підтверджує атомарну будову матерії

2 Підсумовуємо роль фізики в науково-технічному прогресі

Науково-технічний прогрес — це єдиний, взаємообумовлений, поступовий розвиток науки та техніки.

У курсі фізики 9-го класу, як і раніше, ми неодноразово звертали вашу увагу на тісний зв'язок між фізикою та технікою. Протягом майже 25-вікового існування фізичної науки результати її досліджень були спрямовані не тільки на пояснення природи світобудови. У своїх працях учені-фізики (наприклад, давні греки, насамперед *Архімед*) постійно намагалися науково обґрунтувати застосування тих чи інших технічних пристроїв та прийомів.

У XIX ст. з'явилася нова тенденція — фізичні закони почали не тільки використовуватися для пояснення (і поліпшення) вже придуманих інженерами конструкцій, але й бути «поживою для розуму» при створенні нових напрямків розвитку техніки. Наведемо лише кілька прикладів.

До XIX ст. електрика слугувала в основному для салонних розваг (рис. 2). Приблизно в середині XIX ст., після встановлення фізичних законів, пов'язаних з поширенням і дією електричного струму (закону Ома, закону електромагнітної індукції та ін.), починають інтенсивно розвиватися провідний телеграфний зв'язок, а потім і телефонний. Винахід і широке поширення радіо стали можливими після створення теорії електромагнітного поля Максвелла.



Рис. 1.7. Сліди α -частинок у пристрої для реєстрації заряджених частинок (камери Вільсона)

У XIX ст. установлення нових фізичних законів відбувалося здебільшого випадково. Відповідно поява пов'язаних із цими законами нових технічних винаходів ішла самопливом, і лише у XX ст. цей процес було певним чином впорядковано. Ціла низка проектів (найвідоміший із них — так званий «Урановий проект» — програма робіт зі створення атомної зброї) здійснювалася на пряме замовлення урядів країн. У рамках кожного проекту виконувалися інженерні розробки (розрахунки, виготовлення конструкцій), проводилися наукові дослідження, за результатами яких потім працювали інженери.

Зверніть увагу: з одного боку, наукові дослідження — це завжди невідомий заздалегідь результат, а з другого — власне проект передбачає певні терміни виконання. І саме успішне поєднання творчих наукових досліджень і прогнозованих за термінами й витратами інженерних робіт стало організаційною основою того, що згодом назвали науково-технічною революцією.

Сучасний етап розвитку фізичної науки характеризується її тісним співробітництвом з виробництвом і бізнесом. Для вирішення кожного нового технічного завдання залучаються не тільки інженери, технологи, а й учені. Наприклад, один із результатів такого співробітництва — мініатюризація мобільних телефонів.

Фізика вплинула також на розвиток інших наук. Насамперед це пов'язане із глибоким розумінням структури матерії, що засноване на теоретичному описі мікросвіту за допомогою квантової механіки. Застосування цієї теорії для вирішення завдань хімії й біології дозволило за короткий термін досягти суттєвого прогресу в розвитку цих галузей знань.

Практично всі сучасні вимірювальні прилади й методи вимірювання, застосовувані в астрономії, медицині, археології і т. д., «виросли» з відповідних законів фізики.

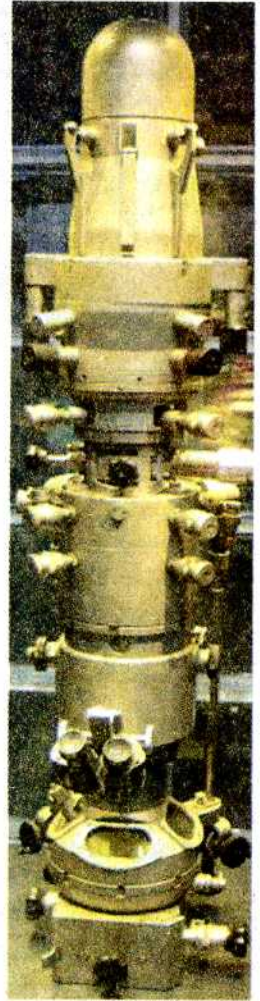


Рис. 1.8. Електронний мікроскоп, який застосовують для дослідження мікроструктури матерії

Рис. 1.9. Великий адронний колайдер побудовано із залученням фахівців 80 країн світу. Частинки розганяють у вакуумі всередині труби, яка має вигляд тора («бублика») завдовжки 26 км і розташовується на території двох країн на глибині 100 м



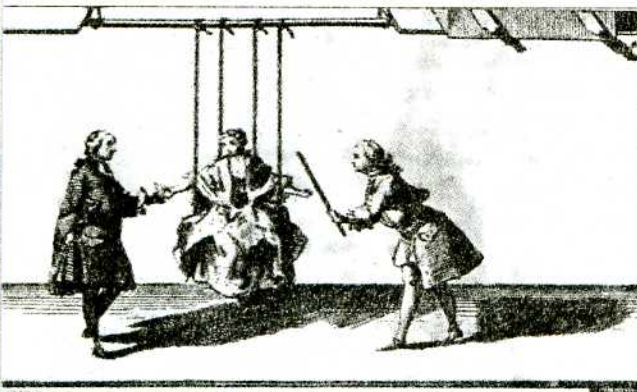


Рис. 2. Дослід, що демонструє існування провідників і діелектриків (гравюра середини XVIII ст.). Жінка сидить на гойдалці, підвішеній на шовкових нитках. Чоловік, який стоїть праворуч, наближає наелектризовану скляну паличку до руки жінки, а той, що стоїть ліворуч, торкається до її другої руки — з'являється іскра

3 Вивчаємо вплив результатів фізичних досліджень на навколишній світ

Відмінною рисою останніх років є створення за короткий термін матеріальних продуктів, застосування яких впливає на життя та здоров'я цілих націй. Прикладом може бути вищезгаданий «Урановий проект»: уряди кількох країн (Радянського Союзу, Франції, Китаю, Великої Британії) зосередили гігантські ресурси, щоб здійснити його в короткий термін. Утім у процесі виконання поставленого завдання спочатку провідні вчені (*Р. Опенгеймер, О. Д. Сахаров*), а згодом й все людство замислилися про наслідки створення смертоносної зброї. У результаті були підписані міжнародні угоди про обмеження подібних досліджень і створена міжнародна організація МАГАТЕ, одним із завдань якої є контроль за поширенням ядерних технологій.

Мирне використання атомної енергії — це насамперед створення АЕС й забезпечення їх роботи. Формальні показники впливу АЕС на навколишнє середовище незначні: при нормальній роботі радіаційні викиди на них є навіть нижчими, ніж на теплових електростанціях, що працюють на кам'яному вугіллі. Але все змінюється, якщо трапляється позаштатна ситуація. Чорнобильська катастрофа показала, якими серйозними можуть бути наслідки аварії на АЕС. Небезпечні за конструкцією реактори Чорнобильської станції зупинили, незважаючи на великі економічні збитки.

Чимало хто, напевне, вважає, що такі глобальні проблеми його мало стосуються: на АЕС працюють фахівці, а Чорнобильська аварія — це справа давньої давнини. Проте наведемо один приклад. Сьогодні дуже розповсюджені мобільні телефони. І всі ви чули, що випромінювання, яке йде від них, може бути небезпечним*. Вашому поколінню, без сумніву, доведеться розв'язати цю проблему.

* У розділі 1 ми обговорювали питання шкідливого впливу електричних полів. Електромагнітні хвилі, які випромінює мобільний телефон, за певних умов також можуть негативно впливати на живі організми.

4 Підводимо підсумки

За майже 2500 років свого існування фізична наука змогла розвинути загальне уявлення про природу, що поєднує знання людей про мега-, макро- і мікросвіти. Значні зусилля вчених-фізиків були спрямовані на практичне втілення результатів своїх досліджень.

Починаючи з XIX ст. фізики стали не тільки пояснювати відомі факти, але й установлювати нові закони і, спираючись на них, розвивати нові галузі техніки.

Особливістю сьогодення є «замовлення на розробку»: наукові дослідження здійснюються спеціально для розв'язання конкретного практичного завдання.

Результати, отримані вченими-фізиками, застосовуються в інших науках, зокрема в біології та хімії. Фізичні прилади й методи досліджень широко використовуються в науці, промисловості, сільському господарстві.

Відмінною рисою останніх років є створення в короткий термін матеріальних продуктів, застосування яких впливає на життя і здоров'я цілих націй. Поряд із безсумнівними перевагами ці продукти, як правило, не позбавлені недоліків. Наприклад, легкість спілкування за допомогою мініатюрного мобільного телефону поєднується з можливими небезпечними наслідками від його випромінювання.

? Контрольні запитання

1. За допомогою яких приладів відбувається вивчення мегасвіту? 2. Які методи й прилади використовують фізики для вивчення властивостей атомів? 3. Наведіть докази того, що знання закону Ома необхідне інженерам. 4. Наведіть «плюси» і «мінуси» втілення великих наукових проєктів.

Список рекомендованих рефератів

1. Нові конструкційні матеріали: надміцні, надлегкі, корозійностійкі.
2. Напівпровідникові матеріали для сонячних батарей.
3. Оптиковолоконні лінії зв'язку: принцип дії й використовувані матеріали.
4. Принцип роботи плазменного екрана.
5. Термоядерні установки для виробництва енергії: принцип дії та перспективи використання.
6. Чорнобильська катастрофа. Хроніка трагедії та героїзму.
7. Безпечність атомних реакторів.
8. Історія створення атомної енергетики.
9. Драма ідей: історія створення атомної бомби.
10. Зондування поверхні Землі з космосу. Застосування результатів в екології, сільському господарстві, метеорології.
11. Міжнародний космічний проєкт «Галілео».
12. Активаційний аналіз складу речовини.
13. Ядерно-фізичні методи визначення віку археологічних знахідок.
14. Практичні застосування явища надпровідності.
15. Відповідальність ученого в сучасному світі.

ВІДПОВІДІ ДО ВПРАВ І ЗАВДАНЬ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

Розділ 1 «Електричне поле»

№ 1. 1. Куляка 1 заряджена позитивно, куляка 2 — негативно. 3. $N = 10$. 4. Атом міг втратити від одного до трьох електронів. **№ 2.** 1. Може; не може; може. 2. $6,25 \cdot 10^8$. 3. $3 \cdot 10^{-6}$ Н. **№ 3.** 1. Маса позитивно зарядженої палички менша. 2. Так. 3. Позитивний. 5. $3 \cdot 10^{-9}$ Кл. 7. Спочатку притягнеться, а потім відштовхнеться. **№ 4.** 1. 90 Н. 2. Зменшиться в 4 рази. 3. Зменшилася в 3 рази. 4. $2,3 \cdot 10^{-4}$ Н. 5*. Збільшиться в 1,8 разу; зменшиться в 1,25 разу.

Завдання для самоперевірки за розділом 1

1. а. 2. г. 3. а. 4. а. 5. в. 6. Відбувається електризація тертям. 7. Рука людини — провідник. 8. Не можна. 9. Заряджена гільза притягнеться до руки. 10. Треба заземлити незаряджену кульку та наблизити до неї заряджену. 11. Збільшилася в 4 рази. 12. Збільшиться в 9 разів. 13. 20 мкКл. 14. $1 \cdot 10^{12}$ електронів. 15. $0,5 \cdot 10^{-8}$ Кл; 90 мкН.

Розділ 2 «Електричний струм»

№ 5. 3. Так, рухаються, але хаотично. 4. Вологе повітря є провідником. 5. Матеріал має бути діелектриком. **№ 7.** 3. Гальванометр не працюватиме. **№ 9.** 1. а) 0,1 А, 0,2 А; б) 0,5 мА, 4,5 мА; в) 0,1 А, 1,8 А. 3. 2 хв. 4. 2,7 кКл. 5. 180 Кл. 6. 3,2 А. **№ 10.** 1. а) 1 В, 4 В; б) 0,5 В, 6 В; в) 1 В, 7 В. 3. 40 В. 4. 48 Дж. 5. 12 В. **№ 11.** 1. 2,7 Ом; 3,3 Ом; 4 Ом; 8 Ом. 2. 225 В. 3. 0,3 А; 1 А; 0,05 А. 4. 8 кОм. 6. 60 Ом. 7. 15 Ом. 8. 0,25 А. 9. Ні. **№ 12.** 1. 1 — із міді; 2 — із заліза; 3 — зі свинцю. 3. 0,25 Ом. 4. Зменшився в 4 рази. 5. 3 Ом; показання амперметра збільшаться, вольтметра — не зміняться. 6. 2 м. 7. ≈ 2 мм. 8*. 11,34 кг. **№ 13.** 1. 35 Ом. 2. 60 В. 3. Можна. 4. 250 Ом. 5. 0,2 А; 5,6 В. **№ 14.** 2. 144 В. 3. 0,6 А; 0,4 А; 1 А. 4. У виготовленому зі срібла. 5. 4 Ом; 1 А. 6. 2,3 В. 7. К; 0,4 А. **№ 15.** 1. 8,76 кВт·год; 213 грн 39 к. 3. $\approx 2,4$ кДж. 4. а) 300 кДж; 120 кДж; б) ≈ 24 кДж; ≈ 61 кДж. 5. 0,41 А, 0,18 А; 537,8 Ом, 1210 Ом. 6. 12,5 А. 7*. 236 Ом. 8*. При паралельному з'єднанні потужність у 4 рази більша. **№ 16.** 2. 288 кДж. 3. 5 кДж; 2,5 кДж. 4. 17,5 хв. 5. 120,4 В. 6*. 9,25 м. **№ 17.** 4. 1,32 кВт. **№ 18.** 1. Через гальванометр справа наліво. 2. Збільшити. **№ 19.** 4. 12 год 24 хв. 5. 40,32 г. 6. 0,32 Вт. **№ 20.** 1. 26 мин 47 с; 24,8 кДж. 2. 2 мкм. 3. 5 год.

Завдання для самоперевірки за розділом 2

Частина 1

1. б. 2. г. 3. б. 4. б. 5. в. 6. а. 7. г. 8. в. 9. б. 10. а. 11. в. 12. 6 А. 13. 3,6 В. 14. 4 А. 15. 6 В; 9 В. 16. V_1 — не зміняться; V_2 — збільшаться; V_3 — зменшаться; А — збільшаться.

Частина 2

1. а. 2. в. 3. г. 4. б. 5. в. 6. г. 7. в. 8. а. 9. в. 10. в. 11. 24 Вт; 48 Вт; 72 Вт. 12. 1,75 А. 13. 1,1 °C. 14. 12 Вт; 12 Вт; 24 Вт. 15. 4,5 мкм.

Розділ 3 «Магнітне поле»

№ 23. 2. Від В до А. 4. Магніт притягнеться до котушки. 5. Справа — негативний, зліва — позитивний. 6. а) котушка притягнеться до магніту; б) відштовхнеться. **№ 24.** 1. Зліва — північний; справа — південний. 2. До затискачів В і С. 4. Збільшиться. **№ 25.** 1. Унизу — північний, уверху — південний. 2. Від нас. 3. Вправо. 4. По лівій стороні рамки — вгору; по правій — вниз. 7. Цвях коливатиметься. **№ 27.** 1. Не виникає. 2. За умови зміни сили струму в іншій котушці.

Завдання для самоперевірки за розділом 3

1. а. 2. б. 3. в. 4. в. 5. в. 6. в. 7. б. 8. Для звільнення зерна від металевих предметів. 9. Зліва — негативний, справа — позитивний. 10. Зліва — негативний, справа — позитивний. 11. Так; ні. 12. Уверху — північний, унизу — південний. 13. Уверху — південний; унизу — північний; зменшиться. 14. Зменшиться в 3 рази.

Розділ 4 «Атомне ядро. Ядерна енергетика»

№ 28. 1. 5 електронів. 2. Галій. 3. 18 протонів; 22 нейтрони. 4. Стибій (Sb). 5. Кількістю нейтронів у ядрах. **№ 29.** 1. $^{222}_{86}\text{Rn}$. 2. $^{234}_{92}\text{U}$. 4. Найбільшою є активність Радону. 5. $\approx 7,1 \cdot 10^{17}$ ядер. 6. $2,7 \cdot 10^{10}$ Бк. 7. $16 \cdot 10^3$ Бк. **№ 30.** 1. $7,2 \cdot 10^{-6}$ Гр. 2. 1,66 мЗв. 3. $D_e = 90$ мкЗв.

Завдання для самоперевірки за розділом 4

1. б. 2. б. 3. г. 4. г. 5. б. 6. а. 7. в. 8. 600 мкР. 9. $2 \cdot 10^7$ Бк. 10. 0,0025 мкЗв/год. 11. $^{233}_{91}\text{Pa}$. 12. $^{210}_{83}\text{Bi}$. 13. Безпечно (10,4 мГр). 14. 1650 ядер.

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

- А** Активність зразка 186
Акумулятори 38
Альфа (α)-випромінювання 177, 181
Ампер 46
Амперметр 48
- Б** Батарея гальванічних елементів 39
Бекерель 186
Бета (β)-випромінювання 182
- В** Вимірювальні прилади 160–162
Вольт 52, 53
Вольт-амперна характеристика 58
Вольтметр 53
- Г** Газовий розряд 117, 118
Гальванічний елемент 37
Гамма (γ)-випромінювання 182
Генератор електричної енергії 165
Гіпотеза Ампера 146
Грей 190
Гучномовець 162
- Д** Джерело електричного струму 36, 41
Дисоціація електролітична 105
Діелектрики 14, 31
Дільник напруги (потенціометр) 74
Доза йонізуючого випромінювання
— еквівалентна 190
— експозиційна 190
— поглинута 189
- Е** Електризація тіл 5, 6, 12, 14
Електрична напруга 52
Електрична схема 43
Електричне коло 41
Електричне поле 9
Електричний заряд 5, 6
Електричний опір 58
Електричний струм 30
— у газах 117
— електролітах 106
— металах 102
— напівпровідниках 126
Електродвигун 156, 157
Електроліз 107
Електроліт 106, 107
Електролітичний 87
Електромагніт 150
Електромагнітна індукція 165
Електрометр 16
Електростатична індукція 14
Електрохімічний еквівалент 108
- З** Закон: Джоуля–Ленца 95
— електролізу (перший закон Фарадея) 108
— збереження електричного заряду 13
— Кулона 22
— Ома 59
З'єднання провідників
— паралельне 41, 79
— послідовне 41, 71
- Зиверт 190
- Й** Йонізація 117
- К** Коефіцієнт якості 190
Крутильні терези 21
Кулон 6, 47
- Л** Ланцюгова ядерна реакція 202
Лінії магнітного поля 140, 146
Лічильник Гейгера–Мюллера 196
- М** Магнітне поле 139, 146
Магнітні аномалії 144
Магнітні бури 143
Магнітні матеріали 139
- Н** Надпровідність 103
Напівпровідники 31, 125
Напрямок ліній магнітного поля 140, 146
Напрямок струму 43
Нейтрони 7, 175
Нуклони 175
Нуклонне (масове) число 175
- П** Період піврозпаду 185
Питомий опір речовини 62
Полюси магніту 138
Потужність: електричного струму 88
— дози випромінювання 191
Правила зміщення 184
Правило: свердлика 146
— лівої руки 155
— правої руки 146
Провідники 13, 31
Протони 175
Протонне (зарядове) число 175
- Р** Радіоактивні елементи (радіонукліди)
— природні 180
— штучні 180
Радіоактивні ряди 186
Радіоактивність 180, 184
Рекомбінація 118
Рентген 191
Реостат 63
Робота струму 52, 87
- С** Сила: Ампера 155
— Кулона 22
— струму 46
Сильна взаємодія 178
Споживач електричної енергії 41
Стає радіоактивного розпаду радіонукліда 185
- Т** Тепловідільний елемент 203
Термістор 129
Термометр опору 103
Терморезистор 129
- Ф** Фоторезистор 129
- Я** Ядерна фізика 174
Ядерний реактор 203
Ядерний цикл 204

Розділ 1. Електричне поле

§ 1. Заряд і електромагнітна взаємодія	4
§ 2. Електричне поле. Взаємодія заряджених тіл.	8
§ 3. Механізм електризації. Електроскоп	12
<i>Лабораторна робота № 1</i>	18
§ 4. Закон Кулона	20
Підбиваємо підсумки розділу 1 «Електричне поле»	24
Завдання для самоперевірки за розділом 1 «Електричне поле»	26
Енциклопедична сторінка.	28

Розділ 2. Електричний струм

§ 5. Електричний струм. Електрична провідність матеріалів	30
§ 6. Дії електричного струму	33
§ 7. Джерела електричного струму. Гальванічні елементи й акумулятори.	36
§ 8. Електричне коло та його елементи	40
§ 9. Сила струму. Одиниця сили струму. Амперметр.	46
<i>Лабораторна робота № 2</i>	51
§ 10. Електрична напруга. Одиниця напруги. Вольтметр	52
<i>Лабораторна робота № 3</i>	56
§ 11. Електричний опір. Закон Ома	57
§ 12. Питомий опір речовини. Розрахунок опору провідника. Реостати . . .	61
<i>Лабораторна робота № 4</i>	67
<i>Лабораторна робота № 5</i>	69
§ 13. Послідовне з'єднання провідників	71
<i>Лабораторна робота № 6</i>	77
§ 14. Паралельне з'єднання провідників	79
<i>Лабораторна робота № 7</i>	85
§ 15. Робота й потужність електричного струму.	87
<i>Лабораторна робота № 8</i>	93
§ 16. Теплова дія струму. Закон Джоуля – Ленца	94
§ 17. Електричні нагрівальні пристрої. Запобіжники	98
§ 18. Електричний струм у металах.	102
§ 19. Електричний струм у рідинах	105
§ 20. Застосування електролізу	110
<i>Лабораторна робота № 9</i>	114
§ 21. Електричний струм у газах	116
§ 22. Види самостійних газових розрядів	120
§ 23. Електричний струм у напівпровідниках	125
Підбиваємо підсумки розділу 2 «Електричний струм»	130
Завдання для самоперевірки за розділом 2 «Електричний струм.	132
Енциклопедична сторінка.	136

Розділ 3. Магнітне поле

§ 24. Постійні магніти. Магнітне поле. Лінії магнітної індукції	138
§ 25. Магнітне поле Землі	142
§ 26. Магнітна дія струму. Магнітне поле провідника зі струмом	145
§ 27. Електромагніти та їх застосування	149
<i>Лабораторна робота № 10</i>	153
§ 28. Дія магнітного поля на провідник зі струмом. Правило лівої руки. Електричні двигуни.	154
§ 29. Електровимірювальні прилади. Гучномовець	160
§ 30. Досліди Фарадея. Явище електромагнітної індукції.	164
Підбиваємо підсумки розділу 3 «Магнітне поле»	168
Завдання для самоперевірки за розділом 3 «Магнітне поле»	170
Енциклопедична сторінка.	172

Розділ 4. Атомне ядро. Ядерна енергетика

§ 31. Атом і атомне ядро	174
§ 32. Радіоактивне випромінювання	179
§ 33. Активність радіонукліда. Правила зміщення	184
§ 34. Поглинута та еквівалентна дози йонізуючого випромінювання	189
§ 35*. Отримання та використання радіоактивних ізотопів	194
§ 36*. Ланцюгова ядерна реакція. Ядерний реактор	198
§ 37. Екологічні проблеми атомної енергетики	201
<i>Лабораторна робота № 11</i>	205
Підбиваємо підсумки розділу 4 «Атомне ядро. Ядерна енергетика»	208
Завдання для самоперевірки за розділом 4 «Атомне ядро. Ядерна енергетика».	210
Енциклопедична сторінка.	212
Фізика та науково-технічний прогрес.	214
Відповіді до вправ і завдань для самоперевірки	220
Алфавітний покажчик	221

Навчальне видання

*БОЖИНОВА Файна Яківна,
КІРЮХІН Микола Михайлович,
КІРЮХІНА Олена Олександрівна*

ФІЗИКА. 9 клас

Підручник для загальноосвітніх навчальних закладів

Фаховий редактор *Г. Ю. Венрік*

Редактор *І. Л. Морєва*

Технічний редактор *А. П. Твердохліб*

Художник *В. В. Зюзюкін*

Фотографії *В. В. Хлистун*

Коректор *Н. В. Красна*

Підписано до друку 19.06.09. Формат 70×100/16.

Папір офсетний. Гарнітура Шкільна.

Друк офсетний. Ум. друк. арк. 18,2. Обл.-вид. арк. 21,84.

Наклад 118 542 прим. (1-й завод 1—50 000 прим.)

ТОВ Видавництво «Ранок». Свідоцтво ДК № 3322 від 26.11.2008.

61071 Харків, вул. Кібальчича, 27, к. 135.

Адреса редакції: 61145 Харків, вул. Космічна, 21а.

Тел. (057) 719-48-65, тел./факс (057) 719-58-67.

Для листів: 61045 Харків, а/с 3355.

E-mail: office@ranok.kharkov.ua

www.ranok.com.ua

Надруковано в друкарні ім. Фрунзе, м. Харків, вул. Донець-Захаржевського, 6/8.

Тел. 731-36-96. Зам. 5707-09